

ISSN 2500-2961

УДК 55:57:58:59:61:91

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ

2020. Т. 10. № 1

**Природа и человек:
экологические исследования****Учредитель
и издатель:**Московский
педагогический
государственный
университетСвидетельство
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:**

www.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**

ISSN 2500-2961

ENVIRONMENT AND HUMAN:
ECOLOGICAL STUDIES

2020. Vol. 10. No. 1

**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: www.soc-ecol.ru

Редакционная коллегия

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора

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

Ответственный секретарь

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

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

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

Наталья 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

Б.В. Прошкин, А.В. Климов

Систематическое положение <i>Populus ciliata</i> Wall. ex Royle по результатам изучения морфологии побегов и петиолярной анатомии	9
--	---

ИССЛЕДОВАНИЯ АНТРОПОГЕННО-ИЗМЕНЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ И УРБОЭКОЛОГИЯ

Ю.М. Каниболоцкая

Возможность использования <i>Artemisia austriaca</i> Jacq. в качестве индикатора загрязнения окружающей среды некоторыми тяжелыми металлами	24
--	----

Т.И. Панкова

Динамика агроэкологического состояния чернозема типичного под лесополосами в зависимости от местоположения в рельефе (Курская область, Россия).	40
--	----

*Н.С. Прибыловская, Т.П. Марчик,
Е.А. Таранова*

Фитопланктонные сообщества малых водотоков урбанизированных экосистем (на примере реки Лососна, г. Гродно, Беларусь)	63
--	----

А.Н. Чащин, В.П. Жижилев

Оценка сельскохозяйственного использования почв по данным дистанционного зондирования (Пермский край, на примере ООО «Крона-Агро»)	76
--	----

АНТРОПОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Н.Ю. Власенко

Исследование личностного адаптационного потенциала и его физиологических коррелятов у пожарных-спасателей	97
---	----

Contents

STUDY AND CONSERVATION OF BIOLOGICAL DIVERSITY

B.V. Proshkin, A.V. Klimov

Systematic position of *Populus ciliata* Wall. ex Royle
on the study of shoot morphology
and petiolar anatomy 9

ANTHROPOGENICALLY MODIFIED ECOSYSTEMS AND URBAN ECOLOGY

Yu.M. Kanibolotskaya

Possibility of use *Artemisia austriaca* Jacq.
as an indicator of environmental pollution
by certain heavy metals 24

T.I. Pankova

Dynamics of the agroecological state
of typical chernozem under forest belts depending
on the location in the relief (Kursk region, Russia) 40

N.S. Pribylovskaya, T.P. Marchik, E.A. Taranova

Phytoplankton communities of small watercourses
of urbanized ecosystems (on the example
of the Lososna river, Grodno, Belarus) 63

A.N. Chashchin, V.P. Zhizhilev

Assessment of the agricultural soil use by remote sensing
(Perm Region, on the example of LLC “Krona-Agro”) 76

ANTHROPOECOLOGICAL RESEARCH

N.Yu. Vlasenko

Study of individual adaptive potential
and its physiological correlates inrescue firefighters 97

DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-1-9-23

Б.В. Прошкин¹, А.В. Климов^{2, 3}

¹ Кузбасский институт Федеральной службы исполнения наказаний,
654066, г. Новокузнецк, Кемеровская обл., Российская Федерация

² ООО «ИнЭКА-консалтинг»,
654027 г. Новокузнецк, Кемеровская обл., Российская Федерация

³ Западно-Сибирское отделение Института леса им. В.Н. Сукачева
Сибирского отделения Российской Академии наук –
филиал Федерального исследовательского центра
«Красноярский научный центр Сибирского отделения
Российской академии наук»,
630082 г. Новосибирск, Российская Федерация

Систематическое положение *Populus ciliata* Wall. ex Royle по результатам изучения морфологии побегов и петиолярной анатомии

Populus ciliata (тополь реснитчатый) распространен в Гималаях на высотах от 1300 до 3400 м над уровнем моря, по берегам рек и влажным склонам. Систематическое положение таксона остается неясным, хотя в большинстве современных работ его относят к секции *Tacamahaca*. Цель настоящего исследования – изучение морфологических признаков побегов кроны и анатомического строения черешков листьев *Populus ciliata* для уточнения его систематического положения. Проведенные исследования морфологии *P. ciliata* показали отсутствие у него специализированных укороченных побегов, маркирующих секцию бальзамических тополей – дискобластов. Важнейшими признаками петиолярной анатомии, позволяющими осуществлять идентификацию таксонов тополя на уровне секций, являются: форма поперечного сечения черешка, контуры его адаксиальной и абаксиальной сторон, форма колец закрытых коллатеральных

© Прошкин Б.В., Климов А.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



пучков, форма проводящей системы. Сравнение полученных срезов *P. ciliata* с представителями секции *Tacamahaca* свидетельствуют о том, что исследованные растения не относятся к бальзамическим тополям, поскольку отличаются отсутствием выраженного на адаксиальной стороне желобка. Последний в виде небольшой выемки на срезе фиксируется только в месте его перехода в листовую пластинку. Контуры абаксиальной и адаксиальной сторон округлые, форма проводящей системы черешка не высокоаркообразная, как у бальзамических тополей, а линейная, образованная эллиптическими кольцами закрытых коллатеральных пучков.

Ключевые слова: *Populus*, *Leucoides*, *Tacamahaca*, морфологические признаки, петиолярная анатомия

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Прошкин Б.В., Климов А.В. Систематическое положение *Populus ciliata* Wall. ex Royle по результатам изучения морфологии побегов и петиолярной анатомии // Социально-экологические технологии. 2020. Т. 10. № 1. С. 9–23. DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-1-9-23

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-1-9-23

B.V. Proshkin¹, A.V. Klimov^{2,3}

¹ KI of the FPS of Russia,
Novokuznetsk, Kemerovo region, 654066, Russian Federation

² InEca-Consulting LLC,
Novokuznetsk, Kemerovo region, 654027, Russian Federation

³ West Siberian Branch of the Sukachev Institute of Forest SB RAS –
Branch of the Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center”,
Novosibirsk, 630082, Russian Federation

Systematic position of *Populus ciliata* Wall. ex Royle on the study of shoot morphology and petiolar anatomy

Populus ciliate – ciliated poplar is distributed in the Himalayas at altitudes from 1300 to 3400 m above sea level, along river banks and wet slopes. The systematic position of the taxon remains unclear, although in most modern works it is attributed

to the *Tacamahaca* section. The purpose of this study is to study the morphological features of crown shoots and the anatomical structure of petioles of *Populus ciliata* leaves to clarify its systematic position. Studies of the morphology of *P. ciliata* showed that it did not have specialized shortened shoots marking a section of balsamic poplars – diskoblasts. The most important signs of petiolar anatomy allowing the identification of poplar taxa at the section level are: the shape of the petiole cross section, the contours of its adaxial and abaxial sides, the shape of the rings of closed collateral bundles, the shape of the vascular system. A comparison of the obtained sections of *P. ciliata* with representatives of the *Tacamahaca* section indicates that the plants studied do not belong to balsamic poplars, since they differ in the absence of a groove pronounced on the adaxial side. The latter in the form of a small recess in the slice is fixed only at the place of its transition into the leaf blade. The contours of the abaxial and adaxial sides are round, the shape of the vascular system of the petiole is not highly arched like that of balsamic poplars, but linear, formed by elliptical rings of closed collateral bundles.

Key words: *Populus*, *Leucoides*, *Tacamahaca*, morphological characters, petiolar anatomy

FOR CITATION: Proshkin B.V., Klimov A.V. Systematic position of *Populus ciliata* Wall. ex Royle on the study of shoot morphology and petiolar anatomy. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2020. Vol. 10. № 1. Pp. 9–23. (In Russ.) DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-1-9-23

Populus ciliata – тополь реснитчатый, или гималайский, таксон, распространённый в Гималаях от восточного Пакистана до провинции Юньнань Китая [Fang et al., 1999]. Дерево 18–20 м высотой и до 80 см в диаметре. Характерной особенностью являются широкояйцевидные листовые пластинки кроны с сердцевидным основанием и постепенно оттянутой заостренной верхушкой, длиной от 7,5 до 17,5 см с ресничками до 0,3 мм длиной по краю [Sheikh, 1993; Orwa et al., 2009] (рис. 1). Произрастает *P. ciliata* на высотах от 1300 до 3400 м над уровнем моря по берегам рек и на влажных горных склонах, образуя иногда небольшие насаждения [Naithani, Nautiyal, 2012]. Он довольно широко культивируется, поскольку хорошо укореняется черенками, и адаптирован к горным условиям [Скворцов, 2008; Isebrands, Richardson, 2014]. В Северной Индии, где тополи стали важным ресурсом для деревообрабатывающей промышленности, *P. ciliata* – один из немногих видов аборигенных тополей, который нашел широкое применение не только в плантационном лесоразведении, но и в программах селекции тополя по улучшению ассортимента применяемых сортов и клонов [Khurana, 2012; Naithani, Nautiyal, 2012].



Рис. 1. Листья кроны (a) и побеги (b) *Populus ciliata*

Fig. 1. Crown leaves (a) and shoots (b) of *Populus ciliata*

Систематическое положение *Populus ciliata* в настоящее время остается спорным [Скворцов, 2008]. Большинство исследователей относят его к секции *Tacamahaca* Mill. – бальзамические тополи [Eckenwalder, 1996; OECD, 2000; Isebrands, Richardson, 2014]. Преимущественно такое положение определяют контрастностью окраски листовой пластинки – зеленой сверху и сероватой на нижней стороне, цилиндрическим черешком со слабовыраженным желобком сверху. К.К. Лха, Y. Kumar (2000) в качестве основного довода, обосновывающего отнесение *Populus ciliata* к бальзамическим тополям, считают его способность скрещиваться с *P. deltoides* Bartr. ex Marsh. В то же время, особенно в отечественной литературе, его нередко относят к секции *Leucoides* Sprach – крупнолистные тополи [Камелин, 1973; Паутов, 2002; Скворцов, 2008, 2010]. А.К. Скворцов (2008), отмечает, что «*P. ciliata* стоит как бы посередине между секциями *Leucoides* и *Tacamahaca*» [Скворцов, 2008]. От последней группы он отличается отсутствием розеточных побегов (дискобластов) и малой смолистостью почек [Там же]. Как показали исследования, проведенные авторами [Климов, Прошкин, 2018а; Proshkin, Klimov, 2019], анатомическое строение черешков в роде

Populus позволяет диагностировать принадлежность таксона к секции и выявлять межсекционные гибриды. Важнейшими признаками, позволяющими осуществлять идентификацию на уровне секций, являются: форма поперечного сечения черешка, контуры его адаксиальной и абаксиальной сторон, форма колец закрытых коллатеральных пучков, форма проводящей системы. К сожалению, нам не удалось обнаружить в литературе описания петиолярной анатомии видов, систематическая принадлежность которых к секции *Leucoides* не вызывает сомнений, например *Populus heterophylla* L. или *P. lasiocarpa* Oliver. В то же время авторами выполнены исследования анатомического строения черешков многих представителей секции *Tacamahaca* [Климов, Прошкин, 2018a].

Цель настоящего исследования – изучение морфологических признаков побегов кроны и анатомического строения черешков листьев *P. ciliata* для уточнения его систематического положения.

Материалы, методы и район проведения исследования

Морфологические признаки *Populus ciliata* исследовали у группы деревьев, произрастающих на высоте 2500 м над уровнем моря в окрестностях столицы Бутана г. Тхимпху (27°27'13.795199" с.ш., 89°38'38.165999" в.д.) с помощью сравнительно-морфологического метода. Для анализа были также привлечены материалы электронных ресурсов: цифровой гербарий МГУ (<https://plant.depo.msu.ru/>) и iNaturalist (https://www.inaturalist.org/observations?taxon_id=542553).

Поскольку для тополя характерно отсутствие изменчивости петиолярных признаков на эндогенном уровне [Прошкин, 2019], листья *P. ciliata* для изучения анатомии черешка были отобраны с укороченных побегов трех деревьев. Черешки отделялись от пластинок и фиксировались в смеси 96-процентного спирта этилового, глицерина и воды в соотношении 1 : 1 : 1. Поперечные срезы делали в верхней части черешка. Препараты окрашивали 2-процентным водным раствором сафранина. Для выявления анатомических особенностей использовали микроскоп «Микромед-1» (ООО «Наблюдательные приборы», Россия) при увеличении 40× и 100×.

При анализе срезов определяли: форму поперечного сечения черешка, контуры его адаксиальной и абаксиальной сторон, форму колец закрытых коллатеральных пучков, форму проводящей системы. На каждом срезе с помощью программы «AxioVision 4.8.2»¹ измеряли: Н – длина

¹ ZEISS AxioVision – Microscope software for materials microscopy & industrial applications. Carl Zeiss Microscopy, Jena, Germany, 2018. URL: <https://www.zeiss.com/microscopy/int/products/microscope-software/axiovision.html>

поперечного среза (мкм) и B – расстояние между самой широкой частью среза и его основанием (мкм). Для определения формы поперечного сечения и колец использовали диапазоны B/H : $< 0,25$ – треугольная; $0,25–0,35$ – яйцевидно-треугольная; $0,35–0,45$ – яйцевидная; $0,45–0,65$ – эллиптическая; $> 0,65$ – обратнойяйцевидная [Климов, Прошкин, 2018б].

Результаты

Изучение морфологии побегов обследованных деревьев, гербария и материалов iNaturalist показало, что у *Populus ciliata* в кроне имеются удлиненные побеги – ауксибласты, а укороченные представлены только лептобластами.

Форма поперечного среза черешка *P. ciliata* яйцевидная, адаксиальная и абаксиальная, стороны округлые (рис. 2, *a–c*). Небольшой желобок на верхней стороне выражен только непосредственно в месте перехода листовой пластинки в черешок, в этом месте черешок повернут (рис. 2, *d*).

Обычно у покрытосеменных древесных растений в верхней части черешка происходит интеграция проводящих пучков [Киндякова, Шамров, 1976]. У *P. ciliata* листовые пластинки укороченных побегов с сердцевидным основанием, и в месте перехода черешка в пластинку у них наблюдается отхождение нижних боковых жилок (рис. 3, *a*). Интеграция проводящих пучков наблюдается на расстоянии 2–3 мм от основания пластинки (рис. 3, *b*). У листьев укороченных побегов с округлым или округло-клиновидным основанием боковые жилки отходят уже в листовой пластинке.

Снаружи черешок покрыт эпидермой, состоящей из очень мелких плотно расположенных клеток, покрытых слоем кутикулы толщиной 10–15 мкм. Трихомы могут быть развиты только в небольшом желобке. Под эпидермой по всему периметру залегает слой уголково-пластинчатой колленхимы из 4–6 клеток (см. рис. 2, *a, b*).

На адаксиальной стороне уголково-пластинчатая колленхима переходит в хлоренхиму с крупными межклетниками. Последние пронизывают ее до верхнего кольца проводящих пучков (см. рис. 2, *b*). Около проводящих пучков хлоренхима переходит в основную паренхиму. По бокам уголково-пластинчатая колленхима переходит в слой уголковой, под которой развита рыхлая колленхима, межклетники последней достигают верхней стороны нижнего кольца проводящих пучков. На абаксиальной стороне хлоренхима выражена слабо, и мощный слой уголковой колленхимы переходит в паренхиму обкладку проводящих пучков (см. рис. 2, *c*).

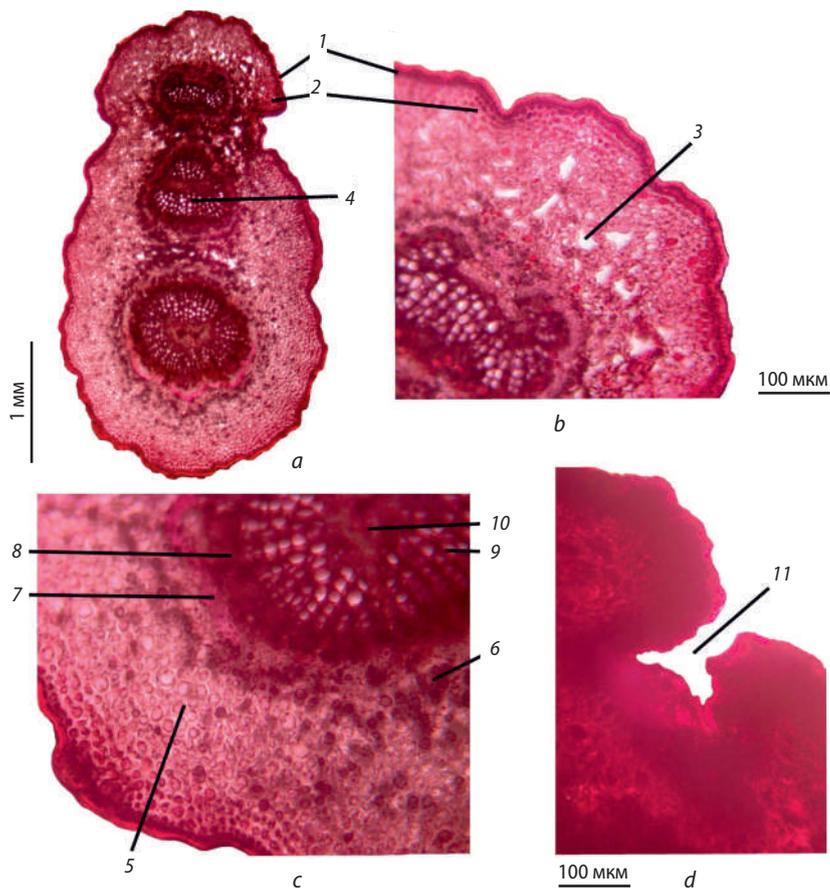


Рис. 2. Фрагменты поперечных срезов верхней части черешка *Populus ciliata*:

a – общий вид; *b* – типичная адаксиальная часть; *c* – абаксиальная сторона;

d – участок перехода черешка в листовую пластинку

1 – эпидерма; 2 – угловко-пластинчатая колленхима; 3 – хлоренхима;

4 – кольца проводящих пучков; 5 – угловая колленхима; 6 – друзы оксалата

кальция; 7 – склеренхима; 8 – флоэма; 9 – ксилема; 10 – сердцевидная паренхима;

11 – желобок

Fig. 2. Fragments of transverse sections of the upper part of the petiole *Populus ciliata*:

a – general view; *b* – adaxial side; *c* – abaxial side; *d* – leaf petiole transition portion

1 – epidermis; 2 – angular-lamellar collenchyma; 3 – chlorenchyma; 4 – vascular ring;

5 – angular collenchyma; 6 – druses of calcium oxalate; 7 – sclerenchyma; 8 – phloem;

9 – xylem; 10 – intercellular spaces; 11 – groove

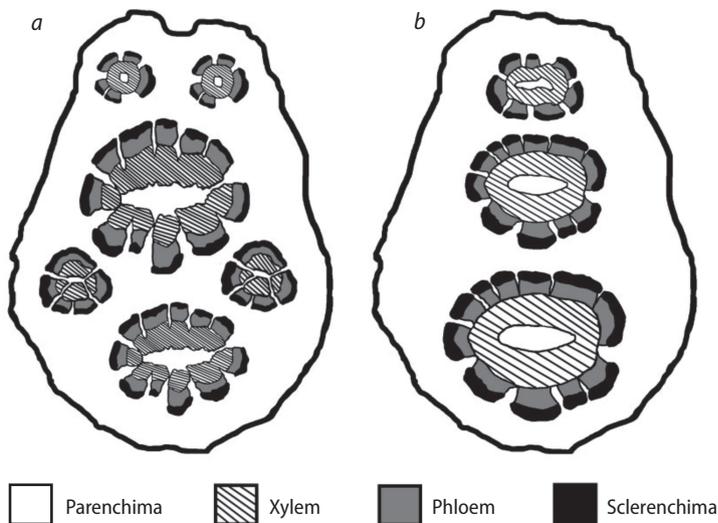


Рис. 3. Поперечный срез черешка *Populus ciliata*:

a – в основании листовой пластинки; *b* – на расстоянии 2–3 мм от основания листовой пластинки

Fig. 3. Cross section of petiole *Populus ciliata*:

a – at the base of the leaf blade; *b* – at a distance of 2–3 mm from the base of the leaf blade

Проводящая система 3-ярусная, вертикально-линейная, представлена расположенными друг над другом кольцами закрытых коллатеральных пучков (см. рис. 2, *a*). На абаксиальной стороне располагается крупное эллиптическое кольцо шириной 700–800 мкм, высотой 600–700 мкм. В центре абаксиального кольца хорошо просматривается сердцевидная паренхима. На адаксиальной стороне располагается одно эллиптическое кольцо шириной 300–400 мкм, высотой 450–500 мкм.

Медиальная проводящая структура преимущественно представлена эллиптическим кольцом шириной 400–500 мкм, высотой 500–600 мкм. Расположение проводящих элементов ксилемы радиальное (см. рис. 2, *c*), диаметр сосудов варьирует от 20 до 30 мкм. Клетки флоэмы 10–15 мкм. Снаружи от флоэмы располагается слой лубяных волокон, большинство которых одревесневают. Кольца окружены обкладкой из паренхимных клеток, в которых в большом количестве встречаются друзы оксалата кальция. Последние располагаются и в угловой колленхиме, и в хлоренхиме.

Обсуждение результатов

Проведенные исследования морфологии *Populus ciliata* показали, что у этого таксона отсутствуют характерные для представителей секции *Tacamahaca* специализированные укороченные побеги – дискобласты [Паутов, 2002; Климов и др., 2018]. Дискобласты не только маркируют секцию бальзамических тополей, но и наследуются при их гибридизации с видами секции *Aigeiros* [Прошкин, Климов, 2017; Климов и др., 2018]. Отсутствие дискобластов у *Populus ciliata* и их появление у его гибридов с *P. maximowiczii* A. Henry, чья принадлежность к *Tacamahaca* не вызывает сомнений, подтверждается и работами индийских исследователей [Khurana, 2012; Naithani, Nautiyal, 2012].

Как мы уже отмечали, данных о петиолярной анатомии представителей секции *Leucoides* обнаружить в литературе не удалось. Однако сравнение полученных срезов *Populus ciliata* с представителями секции *Tacamahaca* свидетельствуют о том, что исследованные растения не относятся к бальзамическим тополям. Форма поперечного сечения черешка у представителей последней группы варьирует от округлой до эллиптической. Контур адаксиальной стороны на большей части длины черешка сердцевидный (желобчатый) благодаря хорошо выраженному желобку (рис. 4, *a*), наличие которого является важнейшим признаком, маркирующим представителей секции *Tacamahaca* [Майоров и др., 2012; Молганова, Овеснов, 2016; Костина и др., 2016].

У исследованных растений *Populus ciliata* форма поперечного сечения черешка исключительно яйцевидная, желобок в виде небольшой выемки на срезе фиксируется только в месте его перехода в листовую пластинку. Ниже черешок повернут, и абаксиальная сторона округлая (рис. 4, *b*). Желобок слабо в виде небольшой складки, выраженной на срезе только в угловато-пластинчатой колленхиме, спирально опускается от основания листовой пластинки к основанию черешка.

Важнейшим признаком петиолярной анатомии, маркирующим секции, является форма проводящей системы черешка [Proshkin, Klimov, 2019]. У видов секции *Tacamahaca* она представлена кольцами закрытых коллатеральных пучков, расположенных высокоаркообразно (рис. 4, *a*). При этом одно эллиптическое кольцо располагается на абаксиальной стороне и 2–6 параллельно расположенных округлых колец – на адаксиальной стороне. Проводящая система изученных особей *Populus ciliata* 3-ярусная (рис. 4, *b*), вертикально-линейная, образованная эллиптическими кольцами проводящих пучков. Линейная форма характерна также для представителей секции *Aigeiros*, но у последних она состоит из исключительно округлых колец проводящих пучков (рис. 4, *c*).

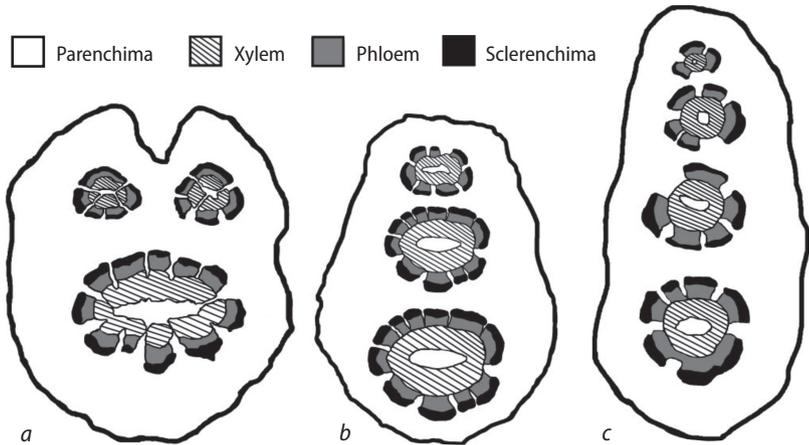


Рис. 4. Типы проводящих систем:

a – таксоны секции *Tacamahaca* (высокоаркообразная); *b* – *Populus ciliata* (линейная); *c* – таксоны секции *Aigeiros* (линейная)

Fig. 4. The types of vascular systems:

a – *Tacamahaca* section taxa (high-arched type); *b* – *Populus ciliata* (linear type); *c* – *Aigeiros* section taxa (linear type)

Естественная гибридизация между видами различных секций обычна в роде *Populus*. Наиболее широко распространено скрещивание видов секции *Aigeiros* и *Tacamahaca* [Климов и др., 2018]. Однако и представители секции *Leucoides* способны скрещиваться с черными и бальзамическими тополями. В частности, в Северной Америке наблюдается спонтанная гибридизация *Populus deltoides* (секция *Aigeiros*) и *P. heterophylla* (секция *Leucoides*) [Eckenwalder, 2010]. Искусственно были получены гибриды между *P. nigra* var. *Italica* Du Roi, *P. deltoides* и *P. lasiocarpa* [Скворцов, 2010]. Поэтому способность *Populus ciliata* скрещиваться с *P. deltoides* не стоит рассматривать как показатель определения его систематической принадлежности к секции *Tacamahaca*. Тем более что *P. deltoides*, происходящий из Северной Америки, в Индии получил распространение в культуре. И все наблюдаемые его скрещивания с *P. ciliata* получены преимущественно в лабораторных условиях [Khurana, 2012]. Филогенетическая близость таксонов секций *Leucoides*, *Aigeiros* и *Tacamahaca* подтверждают и современные молекулярно-генетические исследования [Wang et al., 2019].

Как показали проведенные авторами исследования, форма проводящей системы черешка на поперечном срезе является надежным

качественным признаком выявления и дифференцировки гибридов и беккроссов при скрещивании видов секций *Aigeiros* и *Tacamahaca* [Proshkin, Klimov, 2019]. В частности, линейная система с эллиптическими кольцами, характерная для *Populus ciliata*, наблюдается и у рекомбинантных гибридов в зонах естественного скрещивания *P. laurifolia* Ledeb. с *P. nigra* L. [Прошкин, 2019]. Как уже отмечалось, *P. ciliata* относительно легко скрещивается с видами секций *Aigeiros* и *Tacamahaca* [Khurana, 2012]. В частности, А.К. Скворцовым (2008) описан из Кашмира *Populus* × *kashmirica* А.К. Skvortsov – вероятный естественный гибрид *P. ciliata* и *P. nigra*. В Индии *P. ciliata* широко используется в программах селекции тополя, где с его участием получены перспективные гибриды в результате скрещиваний с *P. deltoides* и *P. maximowiczii* [Jha, Kumar, 2000; Khurana, 2012; Naithani, Nautiyal, 2012]. Полученные гибриды выращиваются на плантациях ниже пояса распространения *P. ciliata* [Khurana, 2012]. Однако данных о применении гибридов *P. ciliata* в районе настоящих исследований, в лесном хозяйстве Бутана нам обнаружить не удалось, как и тополей секций *Aigeiros* и *Tacamahaca* вблизи исследованных растений. Поэтому наблюдаемые у них особенности петиолярной анатомии нельзя связать с процессами гибридизации.

Заключение

Проведенные исследования *Populus ciliata* свидетельствуют о том, что его принадлежность к секции *Tacamahaca* является сомнительной. Изучение морфологии побегов показало отсутствие у него специализированных укороченных побегов – дискобластов, характерных для бальзамических тополей. Он также отличается отсутствием четко выраженного желобка на адаксиальной стороне черешка и линейной формой его проводящей системы. Полагаем, что следует согласиться с мнением А.К. Скворцова (2008, 2010) и перенести *Populus ciliata* в секцию *Leucoides*.

Выводы

1. Для *Populus ciliata* характерно отсутствие специализированных укороченных побегов дискобластов, маркирующих таксоны секции *Tacamahaca*.
2. Форма поперечного сечения черешка *Populus ciliata* яйцевидная, контуры абаксиальной и адаксиальной сторон округлые, форма проводящей системы черешка линейная, образована эллиптическими кольцами закрытых коллатеральных пучков. Желобок в виде небольшой

выемки на срезе фиксируется только в месте его перехода в листовую пластинку.

3. Проведенные исследования морфологии побегов и петиолярной анатомии *Populus ciliata* не соответствуют признакам, характерным для таксонов секции *Tacamahaca*;

4. Факторы свободного скрещивания *Populus ciliate* с видами секций *Aigeiros* и *Tacamahaca* нельзя рассматривать как определяющие его положение в секции бальзамических тополей. Тем более, что и таксоны секции *Leucoides* скрещиваются с черными и бальзамическими тополями.

5. Особенности петиолярной анатомии исследованных особей *Populus ciliata* не связаны с процессами гибридизации.

Библиографический список / References

Адвентивная флора Москвы и Московской области / Майоров С.Р., Бочкин В.Д., Насимович Ю.А., Щербачков А.В. М., 2012. [Mayorov S.R., Bochkin V.D., Nasimovich Yu.A., Shcherbakov A.V. Adventivnaya flora Moskvy i Moskovskoy oblasti [Adventive flora of Moscow and the Moscow region]. Moscow, 2012.]

Камелин Р.В. Флористический анализ естественной флоры Горной Средней Азии. Ленинград, 1973. [Kamelin R.V. Floristicheskiy analiz yestestvennoy flory Gornoj Sredney Azii [Floristic analysis of the natural flora of Mountainous Central Asia]. Leningrad, 1973.]

Киндякова М.Д., Шамров И.И. Формирование проводящей системы в листьях некоторых деревьев и кустарников // Морфогенез деревьев и кустарников. Горький, 1976. С. 21–31. [Kindyakova M.D., Shamrov I.I. Formirovaniye provodyashchey sistemy Formation of a conductive system in the leaves of some trees and shrubs. *Morfogenez derevov i kustarnikov*. Gorky, 1976. Pp. 21–31. (In Russ.)]

Климов А.В., Прошкин Б.В. Использование анатомо-топографической структуры листовых черешков и расположения устьиц для идентификации видов секции *Tacamahaca* рода *Populus* // Растительный мир Азиатской России. 2018а. Т. 32. № 4. С. 30–36. [Klimov A.V., Proshkin B.V. Using the anatomical and topographical structure of leaf stalks and stomata for identifying species of the *Tacamahaca* section of the genus *Populus*. *Bulletin of Central Siberian Botanical Garden*. 2018. Vol. 32. No. 4. Pp. 30–36. (In Russ.)]

Климов А.В., Прошкин Б.В. Фенетический анализ *Populus nigra*, *P. laurifolia* и *P. × jrtyschensis* в зоне гибридизации // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018б. Т. 22. № 4. С. 468–475. [Klimov A.V., Proshkin B.V. Phenetic analysis of *Populus nigra*, *P. laurifolia* and *P. × jrtyschensis* in natural hybridization zone. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018. Vol. 22. No. 4. Pp. 468–475. (In Russ.)]

Климов А.В., Прошкин Б.В., Андреева З.В. Гибридизация видов рода *Populus* L. секций *Aigeiros* Lunell и *Tacamahaca* Mill. в природе и культуре // Вестник НГАУ. 2018. Т. 46. № 1. С. 16–34. [Klimov A.V., Proshkin B.V., Andreeva Z.V. Hybridization of species of the genus *Populus* L. sections *Aigeiros* Lunell and *Tacamahaca* Mill. *Bulletin of the NSAU*. 2018. Vol. 46. No. 1. Pp. 16–34. (In Russ.)]

Костина М.В., Чиндяева Л.Н., Васильева Н.В. Гибридизация *Populus × sibirica* G. Krylov et Grig. ex Skvortsov и *P. nigra* L. в Новосибирске // Социально-экологические технологии. 2016. № 4. С. 20–31. [Kostina M.V., Chindyaeva L.N., Vasileva N.V. Hybridization between *Populus × sibirica* G. Krylov et Grig. ex Skvortsov and *P. nigra* L. in Novosibirsk. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2016. No. 4. Pp. 20–31. (In Russ.)]

Молганова Н.А., Овеснов С.А. Виды рода тополь (*Populus* L., Salicaceae) в г. Перми // Вестник Пермского университета. 2016. № 1. С. 12–21. [Molganova N.A., Ovesnov S.A. Species of the genus poplar (*Populus* L., Salicaceae) in the city of Perm. *Bulletin of Perm State University*. 2016. No. 1. Pp. 12–21. (In Russ.)]

Паутов А.А. Структура листа в эволюции тополей. СПб., 2002. [Pautov A.A. *Struktura lista v evolyutsii topoley* [Leaf structure in the evolution of poplars]. St. Petersburg, 2002. (In Russ.)]

Прошкин Б.В. Морфологические и анатомические особенности *Populus × jrtyschensis* Chang Y. Yang в бассейне реки Томи: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2019. [Proshkin B.V. *Morfologicheskiye i anatomicheskiye osobennosti Populus × jrtyschensis* Chang Y. Yang v basseyne reki Tomi [Morphological and anatomical features of *Populus × jrtyschensis* Chang Y. Yang in the Tom river basin]. PhD theses. Novosibirsk, 2019.]

Прошкин Б.В., Климов А.В. Спонтанная гибридизация *Populus × sibirica* и *Populus nigra* в городе Новокузнецке (Кемеровская область) // *Turczanowia*. 2017. Т. 20. № 4. С. 206–218. [Proshkin B.V., Klimov A.V. Spontaneous hybridization of *Populus × sibirica* and *Populus nigra* in the city of Novokuznetsk (Kemerovo region). *Turczanowia*. 2017a. Vol. 20. No. 4. Pp. 206–218. (In Russ.)]

Прошкин Б.В., Климов А.В. Использование признаков петиолярной анатомии для идентификации гибридов и видов секции *Aigeiros* и *Tacamahaca* рода *Populus* // *Turczanowia*. 2019. Т. 22. № 3. С. 80–90. [Proshkin B.V., Klimov A.V. Using petiole anatomy to identify hybrids between and species of *Populus* sections *Aigeiros* and *Tacamahaca*. *Turczanowia*. 2019. Vol. 22. No. 3. Pp. 80–90. (In Russ.)]

Скворцов А.К. Тополы (*Populus* L., Salicaceae) индийских Гималаев // *Новости систематики высших растений*. 2008. Т. 40. С. 52–67. [Skvortsov A.K. Poplars (*Populus* L., Salicaceae) of the Indian Himalayas. *News of the Systematics of Higher Plants*. 2008. Vol. 40. Pp. 52–67. (In Russ.)]

Скворцов А.К. Систематический конспект рода *Populus* в Восточной Европе, Северной и Средней Азии // *Бюллетень Главного ботанического сада*. 2010. № 196. С. 62–73. [Skvortsov A.K. *Sistematicheskiy konspekt roda Populus v Vostochnoy Yevrope, Severnoy i Sredney Azii* [A systematic compendium of the genus *Populus* in Eastern Europe, North and Central Asia]. *Bulletin of the Main Botanical Garden*. 2010. No. 196. Pp. 62–73. (In Russ.)]

Eckenwalder J.E. *Populus*. *Flora of North America North of Mexico*. 2010. No. 7. Pp. 5–22.

Eckenwalder J.E. Systematics and evolution in *Populus*. *Biology of Populus and its implications for management and conservation*. R. Stettler, H.Jr. Bradshaw, P. Heilman, T. Hincley (eds.). Ontario, Ottawa, 1996. No. 1. Pp. 7–32.

Fang Z.F., Zhao S.D., Skvortsov A.K. *Flora of China* (English Version). Beijing, 1999. Vol. 4. Pp. 139–274.

Poplars and willows: Trees for society and the environment. J.G. Isebrands, J. Richardson (eds.). Published by CAB International and FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2014. Pp. 30–39.

Jha K.K., Kumar Y. Interspecific hybridization in Poplars and initial performance of hybrids in tara of uttarpradesh. *Indian Journal of Forestry*. 2000. Vol. 23. No. 1. Pp. 1–11.

Khurana D.K. Status of Poplar breeding in India with special reference to Work Done at Dr. Y.S. Parmar University of Horticulture and Forestry. *Forestry Bulletin*. 2012. Vol. 12. No. 1. Pp. 33–39.

Naithani H.B., Nautiyal S. Indian poplars with special reference to indigenous species. *Forestry Bulletin*. 2012. Vol. 12. No. 1. Pp. 1–8.

OECD Consensus document on the biology of *Populus* L. (poplars). Organisation for Economic Co-operation and Development, Series on Harmonization of Regulatory Oversight in Biotechnology. Paris, 2000. № 16.337 p.

Orwa C., Mutua A., Kindt R. et al. Agroforest tree Database: A tree reference and selection guide version 4.0. 2009. URL: <http://www.worldagroforestry.org> (date of access: 06.07.2019)

Wang M., Zhang L., Zhang Z. et al. Phylogenomics of the genus *Populus* reveals extensive interspecific gene flow and balancing selection. *New Phytologist*. 2019. DOI: 10.1111/nph.16215.

Статья поступила в редакцию 10.11.2019, принята к публикации 15.01.2019

The article was received on 10.11.2019, accepted for publication 15.01.2019

Сведения об авторах / About the authors

Прошкин Борис Владимирович – старший научный сотрудник организационно-научного и редакционно-издательского отделения, Кузбасский институт Федеральной службы исполнения наказаний, г. Новокузнецк, Кемеровская обл.

Boris V. Proshkin – Senior Researcher at the Organizational, Scientific and Publishing Department, KI of the FPS of Russia, Novokuznetsk, Kemerovo region

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2351-9879>

E-mail: boris.vladimirovich.93@mail.ru

Климов Андрей Владимирович – кандидат биологических наук; заместитель директора по научной работе, ООО ИнЭКА-консалтинг, г. Новокузнецк, Кемеровская обл.; научный сотрудник межведомственной лаборатории плантационного лесоводства, Западно-Сибирское отделение Института леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН – филиал Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр СО РАН», г. Новосибирск

Andrey V. Klimov – PhD in Biology; deputy director for scientific work, InEca-Consulting LLC, Novokuznetsk, Kemerovo region; Researcher at the Interdepartmental Laboratory for Plantation Forestry, West Siberian Branch of the Sukachev Institute of Forest SB RAS Branch of the Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center”, Novosibirsk

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6750-4807>

E-mail: populus0709@mail.ru

Заявленный вклад авторов

Б.В. Прошкин – анализ и интерпретация результатов обработки данных, подготовка текста статьи.

А.В. Климов – общее руководство направлением исследования, обработка данных, участие в подготовке текста статьи.

Contribution of the authors

B.V. Proshkin – development of principles for classifying plant life forms for processing, analysis and interpretation of the results, preparation of the text of the article.

A.V. Klimov – general direction of research, processing, 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

DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-1-24-39

Ю.М. Каниболоцкая

Сибирский университет потребительской кооперации,
630087, г. Новосибирск, Россия

Возможность использования *Artemisia austriaca* Jacq. в качестве индикатора загрязнения окружающей среды некоторыми тяжелыми металлами

В связи с усилением негативного воздействия антропогенных факторов на состояние окружающей среды в техногенных регионах рассматривается возможность использования *Artemisia austriaca* Jacq. в качестве индикатора загрязнения промышленных территорий некоторыми тяжелыми металлами. Для достижения цели исследования анализируется содержание титана, марганца, хрома, железа, никеля, меди, цинка, свинца и стронция в растительных (*A. austriaca*) и почвенных пробах, отобранных в пригородах городов Павлодар и Аксу (Павлодарская область, Республика Казахстан) на различных расстояниях от действующих промышленных предприятий с применением общепринятых методик. Также проведены геоботанические исследования (с использованием классических методов). *A. austriaca*, являясь дигрессионно-активным видом, в условиях антропогенного воздействия часто становится доминантом или субдоминантом в растительных сообществах (в регионах, где исторически она была представлена в незначительном обилии). В связи с этим ее способность к аккумуляции некоторых тяжелых металлов (согласно результатам наших исследований – цинка и хрома) можно использовать (с учетом расстояния от источника эмиссий, возраста растений, особенностей нанорельефа

и погодных условий) для определения наличия загрязнения промышленных (или прилегающих к ним) территорий, особенно в районах действия металлургических предприятий.

Ключевые слова: тяжелые металлы в почве, тяжелые металлы в растительности, полынь австрийская (*Artemisia austriaca* Jacq.), коэффициент биологического поглощения, коэффициент опасности, дигрессионно-активные виды растений, индикатор загрязнения

Для ЦИТИРОВАНИЯ: Каниболоцкая Ю.М. Возможность использования *Artemisia austriaca* Jacq. в качестве индикатора загрязнения окружающей среды некоторыми тяжелыми металлами // Социально-экологические технологии. 2020. Т. 10. № 1. С. 24–39. DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-1-24-39

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-1-24-39

Yu.M. Kanibolotskaya

Siberian University of Consumer Cooperation,
Novosibirsk, 630087, Russian Federation

Possibility of use *Artemisia austriaca* Jacq. as an indicator of environmental pollution by certain heavy metals

Due to the increasing negative impact of anthropogenic factors on the state of the environment in man-made regions, the possibility of using *Artemisia austriaca* Jacq. as an indicator of contamination of industrial areas by some heavy metals and transformation of plant communities under the influence of human activities is being considered. In order to achieve the objective of the study, the content of heavy metals (Ti, Mn, Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb, Sr); in plant metals (*A. austriaca*) and soil samples selected in the suburbs of Pavlodar and Aksu (Pavlodar region, Kazakhstan) is analyzed at different distances from existing industrial enterprises. Geobotanic studies have also been carried out (using classical methods). *A. austriaca*, being a digressive-active species, under human-induced conditions often becomes a dominant or subdominant in plant communities (in regions where it has historically

been represented in little abundance). Therefore, its capacity to accumulate some heavy metals (according to our research results – Zn and Cr) can be used (taking into account the distance from the source of emissions, age of plants, features of nanorelief and weather conditions) to determine the presence of contamination of industrial (or adjacent) areas, especially in areas of operation of metallurgical enterprises.

Key words: Heavy metals in soil, heavy metals in vegetation, biological absorption coefficient, *Artemisia austriaca* Jacq., hazard coefficient, digression-active plant species, pollution indicator

FOR CITATION: Kanibolotskaya Yu.M. Possibility of use *Artemisia austriaca* Jacq. as an indicator of environmental pollution by certain heavy metals. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2020. Vol. 10. № 1. Pp. 24–39. (In Russ.) DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-1-24-39

Введение

Загрязнение окружающей среды является одной из глобальных экологических проблем современности. Для ее решения принимаются различные меры, в том числе проводятся мониторинговые исследования состояния различных сред, в частности – почвы и растительного покрова. Актуальным является также выявление растений, которые могут аккумулировать загрязняющие вещества, например – тяжелые металлы.

В окружающую среду они поступают в основном путем техногенного рассеяния, что влечет за собой загрязнение среды и изменение химического состава почв и растений. Это может негативно сказаться на экосистемах, биоразнообразии растительного покрова территорий, а также на участниках пищевой цепи, которые будут получать поллютанты из загрязненного растительного сырья. В то же время способность растений аккумулировать некоторые компоненты выбросов промышленных предприятий может быть использована для определения уровня накопления в среде тяжелых металлов.

Среди крупных индустриальных центров Казахстана Павлодар является одним из самых загрязненных вследствие функционирования ведущих предприятий региона: Павлодарского алюминиевого (АО «Алюминий Казахстана»), нефтехимического заводов (ПНХЗ), трех ТЭЦ (ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ТЭЦ-3), Аксуского завода ферросплавов (АО ТНК Казхром), Аксуской электростанции (АО ЕЭК (Евразийская Энергетическая Корпорация)), а также действовавших до распада СССР тракторного (сейчас на его базе – ПФ ТОО «Кастинг» – переплавка стали) и химического заводов (на его базе – АО «Каустик») и многих других.

Анализ имеющихся публикаций показал, что трансформация растительности в Казахстане и других странах исследуется в разных аспектах [Горчаковский, 1979; Трансформация растительного покрова, 1997–1999; Бижанова, 1998; Марынич, 1999], гораздо меньше работ [Панин, 1999; Султанова, 2000; Бигалиев, Шаймарданова, 2005], где изучалась бы реакция отдельных видов растений естественных местообитаний на загрязнение промышленными выбросами и трансформация растительности в результате их влияния в комплексе с другими факторами воздействия. Поэтому мы рассматриваем состояние растительного покрова территорий, находящихся в зоне действия промышленных предприятий (энергетики, черной и цветной металлургии, нефтехимической промышленности) [Леонова, 2010; Козыренко, Каниболоцкая, 2012; Берикова, Каниболоцкая, 2017]. Полученные данные могут быть использованы исследователями в различных регионах Казахстана, России и других стран, при условии совпадения основных характеристик биогеоценозов (экосистем).

Цели и задачи

Цель исследования: рассмотреть возможность использования *Artemisia austriaca* Jacq. (полыни австрийской) в качестве индикатора загрязнения окружающей среды некоторыми тяжелыми металлами.

Задачи исследования: определить точки, по которым будет проведен анализ содержания тяжелых металлов в растительных (*A. austriaca*) и почвенных пробах; сравнить содержание металлов в пробах почвы и *A. austriaca* на выбранных участках; выявить металлы с наибольшим и наименьшим уровнем аккумуляции в почве и растениях исследованной территории; рассмотреть возможность применения *A. austriaca* в качестве индикатора при условии аккумуляции ею тяжелых металлов из окружающей среды.

Объекты и методы

Объектом исследований являлся растительный покров региона (в который входит г. Павлодар, один из основных промышленных центров Казахстана, и расположенный рядом г. Аксу, также промышленной направленности). Изучение состояния растительного покрова проводилось нами в рамках диссертационного исследования в 2006–2009 гг., далее (при разработке инициативно-поисковой темы) – в 2011–2013, 2015–2016 гг.; пробы почв и растений для химических анализов отбирались в 2006, 2011, 2013, 2015–16 гг. на различных расстояниях от промзон г. Павлодара и г. Аксу, согласно стандартным методическим рекомендациям [Биогеохимические и геоботанические исследования, 1972; Методические рекомендации..., 1981].

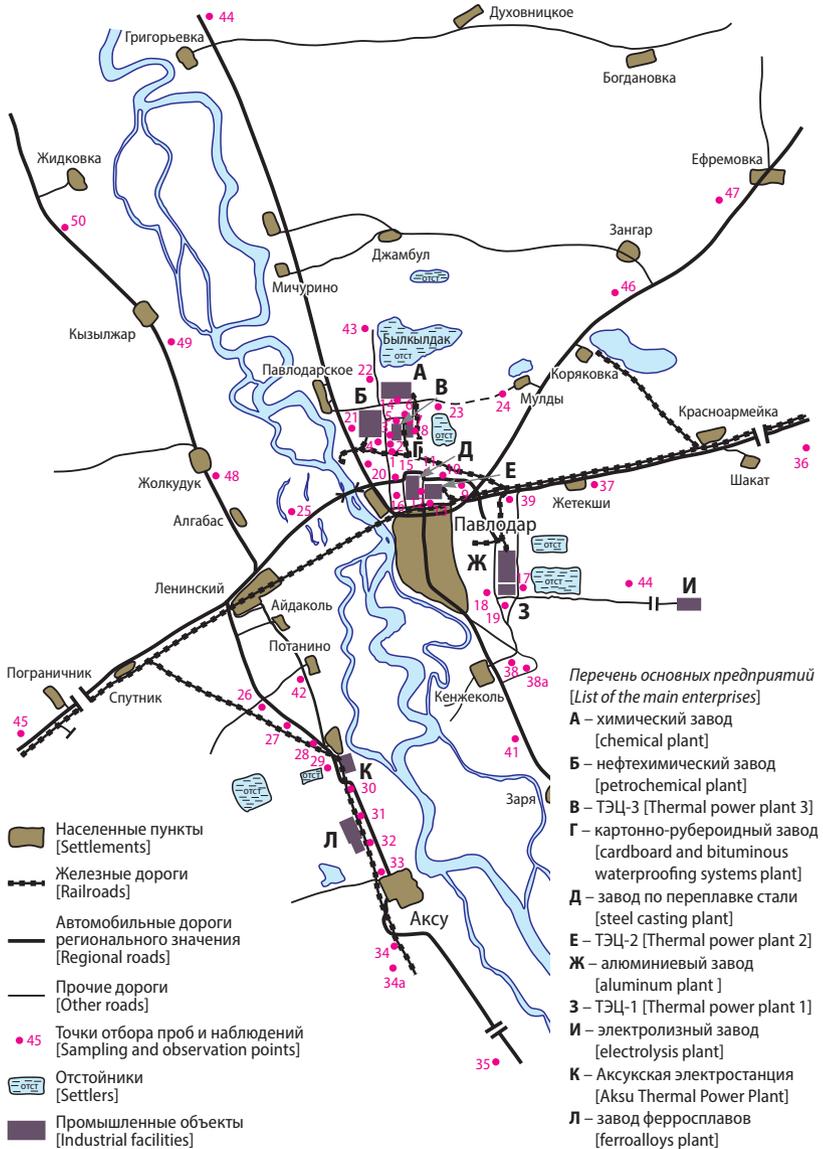


Рис. 1. Схема расположения точек отбора проб на территории исследования (зона вокруг городов Павлодар и Аксу, Павлодарская обл., Казахстан)

Fig. 1. Layout of sampling points in the survey area (zone around the cities of Pavlodar and Aksu, Pavlodar region, Kazakhstan)

Нами обследовано более 50 участков (рис. 1), находящихся на разных расстояниях от ведущих промышленных предприятий региона.

Точки отбора проб приурочены к преобладающим растительным сообществам, в которых проводились детальные геоботанические описания (с использованием классических методов, принятых при проведении геоботанических исследований) [Полевая геоботаника, 1959–1972]. Рельеф территории исследований представлен равнинами разного генезиса, почвенный покров неоднороден, почвы – каштановые глубококовскипающие маломощные и среднемощные (супесчаные и легкосуглинистые).

Определение содержания элементов в почве и растениях осуществлялось методом рентгенофлуоресцентного анализа (для почвы – с отжигом, для растений – с предварительным озелением) на РФА-спектрометре «Спектроскан GF-1E» (Россия, 2000 г. выпуска). Пробы анализировали в лаборатории Физико-технического института Министерства образования и науки Республика Казахстан (п. Алатау, Алма-Атинская область, Казахстан). Сопоставление предельно допустимых концентраций элементов в почве проводилось согласно нормативам [Kloke, 1980; Санитарные нормы допустимых концентраций химических веществ в почве, 1983; Научно-методические указания..., 1993] (концентрации железа в почве сравнивали с фоновым содержанием).

Для почвенных проб был рассчитан коэффициент опасности K_o – концентрация металла в почве в долях ПДК (представлен в таблицах, определяли по формуле [Руководство..., 1993]):

$$K_o = C/\text{ПДК}, \quad (1)$$

где C – фактический уровень содержания элемента в почве.

Для выявления уровня аккумуляции растениями поллютантов мы использовали *Artemisia austriaca* Jacq., т.к. фитоценозы с ее участием имеют широкое распространение и на территории наших исследований, и во многих других регионах. В частности, этот вид полыни встречается и в Новосибирской области: и как компонент аборигенной флоры, например, по границе с Павлодарской областью, и как сорный (дигрессионно-активный) вид.

Для выявления уровня перехода тяжелых металлов из почвы в растения определяли коэффициент биологического поглощения A_x по формуле (2) [Перельман, 1961]:

$$A_x = l_x/n_x, \quad (2)$$

где l_x – содержание элемента x в золе растения, n_x – содержание элемента x в почве.

Усредненное содержание каждого металла в почве рассчитывали для каждой пары почвенных проб (слои 0–5 см и 10–15 см).

Результаты и обсуждение

Проанализированы пробы почв с участков, находящихся на различном удалении – 1–3–5–10–20–50 км – на север, юг, восток и запад от предприятий северной и восточной промышленных зон г. Павлодара и г. Аксу с учетом розы ветров и транспортной либо пешей доступности. Почва на анализ забиралась из двух слоев – 0–5 см и 10–15 см, поскольку в первом случае выявляется текущее, а во втором – более давнее загрязнение.

В табл. 1 отражены коэффициент опасности K_0 (для металлов в почве, в слое 0–5 см и 10–15 см) и коэффициент биологического поглощения A_x металлов полынью австрийской *Artemisia austriaca* (выбраны точки, для которых проанализированы содержания тяжелых металлов и в почве, и в растительных пробах), чтобы иметь возможность сравнить аккумуляцию поллютантов этими двумя средами и выявить наличие/отсутствие взаимосвязи.

Отмечаются высокие значения коэффициента опасности превышения ПДК хрома в почве и коэффициента биологического поглощения *A. austriaca* этого металла в трех точках – т27, т28, т30, находящихся на расстоянии 5, 3 и 1,5 км от АО ТНК Казхром; на остальных участках – высокие содержания в почве рассматриваемого металла, и более низкие (за исключением т20, т40, т41) – в растительных пробах (предположительно, в зависимости от возраста анализируемых растений, погодных условий, особенностей нанорельефа), но накапливать хром *A. austriaca* вполне может, причем в очень высоких концентрациях, при этом сохраняя жизнеспособность.

Для цинка ситуация иная: в т35 и т44 отмечаются схожие значения рассматриваемых коэффициентов в почве и в растительных пробах, а для остальных точек аккумуляция этого металла растениями выше, чем почвой на тех же участках. То есть можно отметить способность *A. austriaca* накапливать цинк.

Свинец: концентрации в почве в основном высокие, как минимум – 0,55 ПДК, в основном – 1,2; максимально – 1,75 ПДК (в т42, чуть ниже – в т30). При этом в растениях коэффициент биологического поглощения невелик (за исключением т40, где в почве концентрации не слишком значительны, т.е. для свинца аналогий в поглощении почвой и растениями нами не обнаружено, *A. austriaca* этот элемент аккумулирует слабо).

Таблица 1

Аккумуляция тяжелых металлов почвой (слои 0–5, 10–15 см) и полностью австрийской (*Artemisia austriaca*) [Accumulation of heavy metals by soil (layers 0–5, 10–15 cm) and *Artemisia austriaca*]

Металл [Heavy metals]		Точки отбора проб [Sampling sites]														
		20	21	24	27	28	30	35	37	40	41	42	43	44		
Cr	K_p , 10–15 cm	0,88	1,20	1,04	1,70	2,02	6,29	1,58	2,12	1,30	1,20	2,32	1,76	1,34		
	K_p , 10–15 cm	1,12	2,04	0,98	1,68	1,70	4,84	2,32	1,32	1,08	1,24	2,02	1,16	1,36		
	A_{Cr}	1,76	0,28	0,35	7,43	4,47	8,04	0,60	0,85	2,50	3,02	0,39	0,13	0,25		
Zn	K_p , 10–15 cm	0,39	0,28	0,39	0,50	0,36	0,56	0,53	0,46	0,41	0,28	0,70	0,37	0,46		
	K_p , 10–15 cm	0,39	0,33	0,32	0,55	0,45	0,63	0,54	0,46	0,34	0,30	0,88	0,38	0,44		
	A_{Zn}	1,03	1,08	0,99	0,78	0,99	1,09	0,43	0,85	0,99	0,86	0,33	0,77	0,42		
Pb	K_p , 10–15 cm	0,65	1,20	0,75	1,20	0,95	1,20	1,20	1,50	0,75	0,75	1,55	0,70	0,75		
	K_p , 10–15 cm	0,85	0,85	0,65	1,20	1,00	1,55	0,75	0,95	0,55	0,90	1,75	0,90	1,35		
	A_{Pb}	0,34	0,33	0,36	0,41	0,46	0,51	0,26	0,07	1,08	0,48	0,24	0,25	0,18		
Fe	K_p , 10–15 cm	1,07	0,96	1,06	1,26	1,15	1,27	1,33	1,06	1,00	0,95	1,38	1,02	1,00		
	K_p , 10–15 cm	1,06	1,14	1,05	1,41	1,22	1,35	1,38	1,15	1,02	0,97	0,69	0,97	1,00		
	A_{Fe}	0,07	0,22	0,16	0,23	0,20	0,42	0,10	0,03	0,33	0,31	0,24	0,12	0,17		

Окончание табл. 1

Металл [Heavy metals]		Точки отбора проб [Sampling sites]												
		20	21	24	27	28	30	35	37	40	41	42	43	44
Sr	K_{σ} , 10–15 cm	0,50	0,53	0,48	0,42	0,54	0,44	0,49	0,49	0,50	0,57	0,38	0,49	0,47
	K_{σ} , 10–15 cm	0,50	0,52	0,47	0,43	0,50	0,44	0,46	0,47	0,51	0,54	0,39	0,49	0,45
	A_{Sr}	0,20	0,13	0,16	0,25	0,15	0,24	0,21	0,14	0,17	0,23	0,22	0,13	0,34
Ni	K_{σ} , 10–15 cm	0,58	0,60	0,67	0,73	0,62	0,80	0,80	0,58	0,49	0,47	0,78	0,56	0,58
	K_{σ} , 10–15 cm	0,58	0,69	0,56	0,78	0,73	0,76	0,76	0,69	0,60	0,49	1,02	0,53	0,53
	A_{Ni}	0,19	0,24	0,22	0,32	0,23	0,69	0,14	0,09	0,42	0,37	0,17	0,16	0,16
Mn	K_{σ} , 10–15 cm	0,29	0,32	0,32	0,44	0,36	0,46	0,56	0,32	0,30	0,29	0,57	0,27	0,31
	K_{σ} , 10–15 cm	0,32	0,32	0,31	0,47	0,34	0,47	0,51	0,35	0,31	0,30	0,54	0,28	0,29
	A_{Mn}	0,55	0,28	0,31	0,33	0,34	0,70	0,18	0,30	0,48	0,42	0,18	0,19	0,26
Cu	K_{σ} , 10–15 cm	0,53	0,52	0,51	0,53	0,51	0,53	0,53	0,53	0,55	0,53	0,51	0,55	0,51
	K_{σ} , 10–15 cm	0,51	0,52	0,50	0,52	0,53	0,53	0,53	0,50	0,68	0,53	0,52	0,52	0,53
	A_{Cu}	0,10	0,16	0,12	0,19	0,14	0,24	0,10	0,06	0,16	0,19	0,15	0,10	0,11
Ti	K_{σ} , 10–15 cm	0,60	0,50	0,62	0,64	0,56	0,68	0,69	0,58	0,61	0,54	0,91	0,58	0,61
	K_{σ} , 10–15 cm	0,60	0,62	0,58	0,77	0,63	0,76	0,70	0,58	0,54	0,59	0,87	0,50	0,62
	A_{Ti}	0,11	0,19	0,14	0,27	0,26	0,47	0,10	0,02	0,34	0,30	0,16	0,10	0,10

Примечание. K_0 – коэффициент опасности; A_x – коэффициент биологического поглощения. Участки отбора проб (точки): **20** – 5 км на северо-запад от ТЭЦ-2 (4 км к ю-з от ТЭЦ-3 и нефтехимического завода, 4,8 км к западу от ПФ ТОО «Кастинг» (завод по переплавке стали)); **21** – 3,6 км на запад от ТЭЦ-3 и нефтехимического завода (6 км к с-з от ПФ ТОО «Кастинг» (завод по переплавке стали); **24** – 10 км на восток от нефтехимического завода и ТЭЦ-3 (12 км к с-в от ТЭЦ-2, 17 км к северу от АО АК (алюминиевый завод), 1,5 км к западу от с. Моялды); **27** – 5 км к северу от АО ТНК Казхром (завод ферросплавов) (3 км к северу от АО ЕЭК (электростанция), 20 км к западу от АО АК (алюминиевый завод)); **28** – 3 км к северу от АО ТНК Казхром (завод ферросплавов) (1 км к северу от АО ЕЭК (электростанция), 20 км к западу от АО АК (алюминиевый завод)); **30** – 1,5 км к северу от АО ТНК Казхром (завод ферросплавов) (1 км к югу от АО ЕЭК (электростанция)); **35** – 50 км к югу от г. Павлодара (25 км к югу от АО ТНК Казхром (завод ферросплавов), 27 км к югу от АО ЕЭК (электростанция)); **37** – 10 км на восток от г. Павлодара (рядом с пос. Жетекши); **40** – 10 км на восток от АО АК (алюминиевый завод); **41** – 11 км к югу от ТЭЦ-1 (18 км к востоку от АО ЕЭК (электростанция)); **42** – 10 км к северу от АО ЕЭК (электростанция) (15 км к западу от АО АК (алюминиевый завод)); **43** – 10 км к северу от ТЭЦ-3 и ПНХЗ (нефтехимический завод) (в 16 км к северу от ПФ ТОО «Кастинг» (завод по переплавке стали)); **44** (условно-фоновый участок) – 50 км к северу от Павлодара (40 км к северу от ПНХЗ (нефтехимический завод), 46 км на север от ПФ ТОО «Кастинг» (завод по переплавке стали)).

[Note. K_0 – metal concentration in soil in fractions of MPC:

actual level of element content in the soil
maximum permissible concentration
content of chemical element x in the ash of the plant
content of element x in the soil

A_x – biological absorption coefficient of *Artemisia austriaca*:

Sampling sites (points): **20** – 5 km to the north-west of the Thermal power plant-2 (4 km to s-w from Thermal power plant-3 and petrochemical plant, 4,8 km to the west from steel casting plant); **21** – 3,6 km west from Thermal power plant-3 and petrochemical plant (6 km to n-w from steel casting plant); **24** – 10 km east from petrochemical plant and Thermal power plant-3 (12 km from Thermal power plant-2, 17 km north from aluminum plant, 1,5 km to west from the village of Moyaldy); **27** – 5 km north of ferroalloys plant (3 km north of Aksu Thermal Power Plant, 20 km west of aluminum plant); **28** – 3 km north of ferroalloys plant (1 km north of Aksu Thermal Power Plant, 20 km west of aluminum plant); **30** – 1,5 km north of ferroalloys plant (1 km south of Aksu Thermal Power Plant); **35** – 50 km south of Pavlodar (25 km south of ferroalloys plant, 27 km south of Aksu Thermal Power Plant); **37** – 10 km east of Pavlodar (near the settlement Zhetekshi); **40** – 10 km east from aluminum plant; **41** – 11 km south of Thermal power plant-1 (18 km east of the Aksu Thermal Power Plant); **42** – 10 km north of Aksu Thermal Power Plant (15 km west of aluminum plant); **43** – 10 km north of Thermal power plant-3 and petrochemical plant (16 km north of steel casting plant); **44** (conditional-background site) – 50 km north of Pavlodar (40 km to north from petrochemical plant, 46 km to north from steel casting plant.)

Концентрации железа в почве выше фона (т44) или почти равны ему, а в растениях по сравнению с ними – малы, и этот металл *Artemisia austriaca* элемент аккумулирует незначительно.

Стронций: концентрации в почве стабильно невысоки (не более 0,6 ПДК), в растениях – весьма низки по сравнению с другими металлами, рассмотренными нами (кроме меди).

Содержание никеля в почве в целом находится в пределах 0,8 ПДК (одно значение выше 1, в т42), в растениях – в основном не выше 0,4, и одно значение – 0,69 (т30, здесь же выше средних концентрации никеля и в почве). Таким образом, *A. austriaca* аккумулирует никель слабо.

Марганец: и в почве, и в растениях содержание не слишком высоко (K_o и A_{Mn} в пределах 0,56 и 0,7), в т30 – самая высокая из имеющихся концентраций в растениях, там же – выше средней в почве (в почве также – в т35 и 42; в т20 – в полыни). Марганец *A. austriaca* аккумулирует в целом довольно слабо.

Концентрации меди в почве в основном не превышают 0,53 (в т40 – чуть выше), в растениях концентрации минимальны в сравнении с остальными рассмотренными нами металлами.

Титан: коэффициент опасности перехода металла из почвы в растения не слишком высок, максимальное значение – 0,91 (A_{Ni} при этом – низкий), в среднем – чуть выше 0,6; в растениях самое высокое значение A_{Ni} – в т30 (и K_o здесь – несколько выше средних значений).

Можно проследить постепенное увеличение коэффициента биологического поглощения свинца, титана, никеля, железа (для остальных металлов картина менее выражена) от точки 20 к точке 30 (приближение к действующим предприятиям). Уменьшение – от точки 30 к точке 37 (удаление от источников эмиссий – в т35 (для титана, железа, никеля, меди, свинца и стронция) и в т37 – для хрома, марганца и цинка) и от т40 к т44 (также в сторону фонового участка).

Высокие значения A_{Cr} показаны в 6 из 12 рассмотренных точек (20, 27, 28, 30, 40, 41), A_{Zn} также высок в точках 20, 21, 24, 28, 30, 40 (в точках 20, 28 и 40 – для обоих элементов), при этом значения коэффициента биологического поглощения выше 1 для хрома в диапазоне от 1,76 до 8,04, а для цинка – все превышают 1 незначительно.

Чаще всего высокий уровень загрязнения почвы металлами отмечается в точках 42, 27 и 30 (10, 5 и 1,5–1 км от действующих предприятий, соответственно). Наибольшие значения A_x характерны в основном также для т30 (1,5 км к северу от АО ТНК Казхром (1 км к югу от АО ЕЭК)) для титана, марганца, железа, никеля, меди, особенно – для хрома

и цинка, практически максимально из проанализированных проб – для свинца. То есть выявлено соответствие высоких уровней коэффициента биологического поглощения *Artemisia austriaca* и повышенных концентраций металлов в почвенных пробах с этого участка (также – для т27, где коэффициент биологического поглощения не слишком высок, но выше фона).

Распределение загрязнения по слоям почвы (0–5 см и 10–15 см): в 49% случаев K_0 (коэффициент опасности), следовательно, и концентрация металла в почвенной пробе, были выше в слое 10–15 см; в 40% случаев – в слое 0–5 см; в 11% случаев концентрации в слоях были одинаковы. Многие исследователи отмечают, что для техногенных территорий (без учета типа почв) характерна приуроченность максимальных концентраций поллютантов, поступающих от ТЭЦ и предприятий металлургии, к верхнему почвенному горизонту (до 10–20 см), непосредственно контактирующему с приземным слоем атмосферы [Ильин, 1991; Мудрый, 1997; Панин, 2002; Лузгин, 2004]. Этому способствует подщелачивание среды за счет ингредиентов, присутствующих в выбросах [Город как техногенный субрегион биосферы, 1985, с. 139].

Имеющая место неоднородность почвенного покрова территории исследований (легкие суглинки и супесь) может оказывать некоторое влияние на уровень аккумуляции загрязнителей, как и незначительные изменения нанорельефа, обусловленные природными и антропогенными факторами, характерными для изучаемого нами региона.

Меньшие значения коэффициента биологического поглощения поллютантов *A. austriaca* отмечаются в основном в 50 км на юг от г. Павлодара (25 км к югу от АО ТНК Казхром, 27 км к югу от АО ЕЭК) для титана, железа, никеля, меди, свинца и стронция; в почве – для цинка; в 10 км к востоку от г. Павлодара (рядом с пос. Жетекши) – для хрома, марганца и цинка (там же – наименьшие концентрации свинца, никеля, меди, железа и титана в почве); хрома и марганца в почве – в 10 км к северу от ТЭЦ-3 и ПНХЗ (в 16 км к северо-западу от ПФ ТОО «Кастинг»).

Наибольшие значения коэффициента биологического поглощения отмечаются в основном в 1,5 км к северу от АО ТНК Казхром (1 км к югу от АО ЕЭК) для титана, марганца, железа, никеля, меди, особенно – для хрома и цинка, практически максимально из проанализированных проб – для свинца, там же отмечено и высокое содержание большинства металлов в почвенных пробах. Латеральное распределение поллютантов по территории в почвах и растениях в основном характеризуется увеличением их содержания в рассматриваемых средах

по мере приближения к источникам выбросов, что отмечают в своих работах и другие исследователи [Загрязнение почв..., 2009, с. 8; Парфенова, 2011; Байсеитова, Сартаева, 2014; Накопление тяжелых металлов, 2015, с. 90;].

Заключение

Мы рассмотрели содержание в почвенных и растительных (*Artemisia austriaca*) пробах, собранных на разных расстояниях от действующих промышленных предприятий, девяти металлов: титана, хрома, марганца, железа, никеля, свинца, цинка, меди и стронция. Был проведен сравнительный анализ соответствия концентраций поллютантов в почве и растениях одних и тех же точек. Были выявлены особенности распространения загрязнения на исследуемой территории. Считаем необходимым продолжать наблюдения с целью увеличения объема данных для анализа, что позволит понять специфику накопления элементов *A. austriaca* и более глубоко раскрыть вопрос индикации загрязнения.

Выводы

Анализ содержания тяжелых металлов в почве и растениях (*A. austriaca*) исследуемой территории проводили, выбрав участки на разных расстояниях от действующих промышленных предприятий г. Павлодара и г. Аксу (Павлодарская область, Казахстан) (из имеющихся были отобраны точки, для которых определено содержание тяжелых металлов в почве и в пробах *A. austriaca*).

Чаще высокий уровень загрязнения почвы металлами отмечается на расстоянии 10–5–1,5–1 км от действующих предприятий. Наибольшие значения коэффициента биологического поглощения *A. austriaca* различных металлов в основном также отмечены на участке в 1–1,5 км от промышленных предприятий для титана, марганца, железа, никеля, меди, особенно – для хрома и цинка, практически максимально из проанализированных проб – для свинца. Распространение поллютантов соответствует направлению преобладающих в регионе ветров и снижается с увеличением расстояния от источников загрязнения, что соответствует и литературным данным.

Хром и цинк накапливаются в *A. austriaca* более активно, чем титан, железо, марганец, никель, медь, свинец, стронций. Их это растение аккумулирует слабо.

A. austriaca, являясь дигрессионно-активным видом, в условиях антропогенного воздействия часто становится доминантом или субдоминантом в растительных сообществах (в регионах, где исторически

она была представлена в незначительном обилии). В связи с этим ее способность к аккумуляции некоторых тяжелых металлов (согласно результатам наших исследований – цинка и хрома) можно использовать (с учетом расстояния от источника эмиссий, возраста растений, особенностей нанорельефа и погодных условий) для определения наличия загрязнения промышленных (или прилегающих к ним) территорий, особенно в районах действия металлургических предприятий.

Библиографический список / References

Байсеитова Н.М., Сартаева Х.М. Накопление тяжелых металлов в растениях в зависимости от уровня загрязнения почв // Молодой ученый. 2014. № 2 (61). [Baiseitova N.M., Sartayeva Kh.M. Accumulation of heavy metals in plants depending on soil contamination. *Molodoi uchenyi*. 2014. No. 2 (61) (In Russ.)]

Берикова А.Т., Каниболоцкая Ю.М. Антропогенная трансформация растительного покрова в зоне воздействия АО «ЕЭК» и АО «ТНК «Казхром» // IX Торайгыровские чтения: Международная научная конференция. Павлодар, 2017. С. 75–78. [Berikova A.T., Kanibolotskaya Yu.M. Anthropogenic transformation of vegetation cover in the exposure area JSC “EEC” and JSC “MNC “KazHrom”. *IX Toraigyrovskie chteniya*. Pavlodar, 2017. Pp. 75–78. (In Russ.)]

Бигалиев А.Б., Шаймарданова Б.Х. Городская растительность в качестве биоиндикаторов техногенной нагрузки // Вестник КазНУ им. Аль Фараби. Серия экологическая. 2005. № 1 (16). С. 20–25. [Bigaliev A.B., Shaimardanova B.Kh. Urban vegetation as bioindicators of man-made load. *Eurasian Journal of Ecology*. 2005. No. 1 (16). Pp. 20–25. (In Russ.)]

Бижанова Г.К. Антропогенная трансформация растительности песчаных пустынь Казахстана: Дис. ... д-ра биол. наук. Алматы, 1998. [Bizhanova G.K. Antropogennaya transformatsiya rastitel'nosti peschanykh pustyn' Kazakhstana [Anthropogenic transformation of the vegetation of the sandy deserts of Kazakhstan]. Dr. Hab. dis. Almaty, 1998.]

Биогеохимические и геоботанические исследования. Л., 1972. [Biogeokhimiicheskie i geobotanicheskie issledovaniya [Biogeochemical and geobotanic research]. Leningrad, 1972.]

Город как техногенный субрегион биосферы / Саэт Ю.Е. и др. Труды биогеохимической лаборатории. Т. 20. М., 1985. С. 133–165. [Saet Yu.E. et al. City as a man-made subregion of the biosphere. *Trudy biogeokhimiicheskoy laboratorii*. Vol. 20. Moscow, 1985. Pp. 133–165. (In Russ.)]

Горчаковский П.Л. Тенденции антропогенных изменений растительного покрова Земли // Ботанический журнал. 1979. Т. 69. № 12. С. 1697–1714. [Gorchakovskii P.L. Trends in anthropogenic changes in Earth's vegetation cover. *Botanicheskii zhurnal*. 1979. Vol. 69. No. 12. Pp. 1697–1714. (In Russ.)]

Загрязнение почв тяжелыми металлами. Способы контроля и нормирования загрязненных почв: Учебно-методическое пособие / Сост. Х.А. Джувеликян, Д.И. Щеглов, Н.С. Горбунова. Воронеж, 2009. [Zagryaznenie pochv tyazhelymi metallami. Sposoby kontrolya i normirovaniya zagryaznennykh pochv [Soil contamination by heavy metals. How to control and normalize contaminated soils]. Kh.A. Dzhavelikyan, D.I. Shcheglov, N.S. Gorbunova (compilers). Voronezh, 2009.]

Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе «почва–растение». Новосибирск, 1991. [Il'in V.B. Tyazhelye metally v sisteme «pochva–rasteniye» [Heavy metals in the soil-plant system]. Novosibirsk, 1991.]

Козыренко М.А., Каниболоцкая Ю.М. Тяжелые металлы в почве и растениях // XII Сатпаевские чтения: Международная научная конференция. Павлодар, 2012. С. 182–185. [Kozyrenko M.A., Kanibolotskaya Yu.M. Heavy metals in soil and plants. XII Satpaevskie chteniya. Pavlodar, 2012. Pp. 182–185. (In Russ.)]

Леонова Ю.М. Антропогенная трансформация растительности в зоне влияния промышленных объектов г. Павлодара: Дис. ... канд. биол. наук. Алматы, 2010. [Leonova Yu.M. Antropogennaya transformatsiya rastitel'nosti v zone vliyaniya promyshlennykh ob'ektov g. Pavlodara [Anthropogenic transformation of vegetation in the area of influence of industrial facilities in Pavlodar]. PhD dis. Almaty, 2010.]

Лузгин Б. Н. Загрязнение почв металлами (на примере Алтайского региона) // География и природные ресурсы. 2004. № 3. С. 151–154. [Luzgin B.N. Soil contamination with metals (on the example of the Altay region). *Geography and Natural Resources*. 2004. No. 3. Pp. 151–154. (In Russ.)]

Марынич О.В. Антропогенная трансформация степной растительности (на примере Центрального Казахстана): Дис. ... канд. биол. наук. Алматы, 1999. [Marynich O.V. Antropogennaya transformatsiya stepnoi rastitel'nosti (na primere Tsentral'nogo Kazakhstana) [Anthropogenic transformation of steppe vegetation (on the example of Central Kazakhstan)]. PhD dis. Almaty, 1999.]

Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв при контроле загрязнения окружающей среды металлами. М., 1981. [Metodicheskie rekomendatsii po provedeniyu polevykh i laboratornykh issledovaniy pochv pri kontrole zagryazneniya okruzhayushchei sredy metallami [Methodological recommendations for field and laboratory soil studies in metal pollution control]. Moscow, 1981.]

Мудрый И.В. Тяжелые металлы в системе «почва – растения – человек» // Гигиена и санитария. 1997. № 1. С. 14–17. [Mudryi I.V. Heavy metals in the soil-plants-man system. *Hygiene and Sanitation (Russian journal)*. 1997. No. 1. Pp. 14–17. (In Russ.)]

Накопление тяжелых металлов в разных органах березы повислой возле Карабашского медеплавильного комбината / Коротеева Е.В., Веселкин Д.В., Куянцева Н.Б. и др. // Агрохимия. 2015. № 3. С. 88–96. [Koroteeva E.V., Veselkin D.V., Kuyantseva N.B. et al. Accumulation of heavy metals in different bodies *Betula pendula* near Karabakh copper smelter. *Agrokhiimiya*. 2015. No. 3. Pp. 88–96. (In Russ.)]

Научно-методические указания по мониторингу земель Республики Казахстан. Алматы, 1993. [Nauchno-metodicheskie ukazaniya po monitoringu zemel' Respubliki Kazakhstan [Scientific and methodological guidelines for monitoring the lands of the Republic of Kazakhstan]. Almaty, 1993.]

Панин М.С. Аккумуляция тяжелых металлов растениями Семипалатинского Прииртышья. Семипалатинск, 1999. [Panin M.S. Akkumulyatsiya tyazhelykh metallov rasteniyami Semipalatinskogo Priirtysh'ya [Accumulation of heavy metals by plants of Semipalatinsk Priirtysh]. Semipalatinsk, 1999.]

Панин М.С. Химическая экология. Семипалатинск, 2002. [Panin M.S. Khimicheskaya ekhologiya [Chemical ecology]. Semipalatinsk, 2002.]

Парфенова Е.А. Оценка загрязнения почв тяжелыми металлами в результате влияния выбросов автотранспорта // Известия Пензенского государственного

педагогического университета им. В.Г. Белинского. 2011. № 25. С. 590–592. [Parfenova E.A. Assessment of soil contamination by heavy metals from motor vehicle emissions. *Izvestiya Penzenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. V.G. Belinskogo*. 2011. No. 25. Pp. 590–592. (In Russ.)]

Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М., 1961. [Perelman A.I. *Geokhimiya landshafta* [Landscape geochemistry]. M., 1961.]

Полевая геоботаника в 4-х т. / Под ред. Е.М. Лавренко, А.А. Корчагина. М., Л., 1959–1972. [Polevaya geobotanika [Field geobotany]. E.M. Lavrenko, A.A. Korchagina (eds.). Moscow, Leningrad, 1959–1972.]

Руководство по санитарно-химическому исследованию почвы (нормативные материалы) / Гос. комитет сан-эпид. надзора России. М., 1993. [Rukovodstvo po sanitarno-khimicheskomu issledovaniyu pochvy (normativnyye materialy) [Soil sanitary and chemical survey manual (regulatory materials)]. M., 1993.]

Санитарные нормы допустимых концентраций химических веществ в почве. СанПиП № 2546-82. Утв. 13.05.1983. [Sanitarnye normy dopustimyykh kontsentratsii khimicheskikh veshchestv v pochve [Sanitary standards for permissible concentrations of chemicals in soil]. SAN i P № 2546-82. Approved 13/05/1983.]

Султанова Б.М. Антропогенная трансформация растительности Семипалатинского испытательного полигона: Дис. ... канд. биол. наук. Алматы, 2000. [Sultanova B.M. *Antropogennaya transformatsiya rastitel'nosti Semipalatinskogo ispyatel'nogo poligona* [Anthropogenic transformation of the vegetation of the Semipalatinsk test site]. PhD dis. Almaty, 2000.]

Трансформация растительного покрова Казахстана в условиях современного природопользования: Отчет по НИР / Институт ботаники и фитоинтродукции. Алматы, 1997, 1998, 1999. [Transformatsiya rastitel'nogo pokrova Kazakhstana v usloviyakh sovremennogo prirodopol'zovaniya [Transformation of Kazakhstan's vegetation cover in modern nature management]. Research report. Institute of Botany and Phytointroduction, Almaty, 1997; 1998; 1999.]

Kloke A. Richtwerte'80. Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturboden. *VDLUFA-Mitteilungen*. 1990. H. 1-3. S. 9–12.

Статья поступила в редакцию 11.12.2019, принята к публикации 15.01.2020

The article was received on 11.12.2019, accepted for publication 15.01.2020

Сведения об авторе / About the author

Каниболотская Юлия Михайловна – кандидат биологических наук; доцент кафедры технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции, Сибирский университет потребительской кооперации, г. Новосибирск

Yulia M. Kanibolotskaya – PhD in Biology; associate professor at the Department of Agricultural Production and Processing Technology, Siberian University of Consumer Cooperation, Novosibirsk

E-mail: yu_leonova@mail.ru

DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-1-40-62

Т.И. Панкова

Курский институт кооперации (филиал)
Белгородского университета кооперации, экономики и права,
305004, г. Курск, Российская Федерация;

Курский федеральный аграрный научный центр,
305021, г. Курск, Российская Федерация

Динамика агроэкологического состояния чернозема типичного под лесополосами в зависимости от местоположения в рельефе (Курская область, Россия)

В почве под разновозрастными лесополосами, расположенными на различных экспозициях склона на территории опытного поля Всероссийского научно-исследовательского института земледелия и защиты почв от эрозии (Курская область, Медвенский район), установлены особенности динамики показателей плодородия чернозема типичного, определяющих его агроэкологическое состояние. Период исследований составил 16 лет, возраст лесополос – 20 и 36 лет. Во всех лесополосах, независимо от местоположения в рельефе, отмечено улучшение агрофизического состояния почвы, увеличение содержания гумуса, подвижных гумусовых веществ, подвижных калия и фосфора. Однако интенсивность протекающих изменений различны в зависимости от экспозиции лесополосы на склоне. Так, на южном склоне произошло максимальное увеличение содержания гумуса, подвижного фосфора, обменных оснований, водопрочных агрегатов. В почве водораздельного плато произошло существенное увеличение содержания гумуса, степени гумификации, подвижных гумусовых веществ, а их качественный состав и содержание агрономически ценных агрегатов практически не изменились. На северном склоне отмечено максимальное увеличение критерия водопрочности почвы. С повышением возраста лесополос увеличивается надземная травянистая фитомасса при возрастании в ней доли зеленой биомассы и уменьшается количество накапливаемой

© Панкова Т.И., 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



подстилки. Наибольшая продуктивность фитомассы была в прибалочной лесополосе южного склона. Исследования показали, что длительное произрастание лесополос улучшает агроэкологическое состояние почвы независимо от их положения в рельефе, что способствует увеличению экологического потенциала агроландшафта. Правильное понимание направленности происходящих изменений в агроэкологическом состоянии почвы позволит оптимизировать устройство и функционирование агроландшафта.

Ключевые слова: чернозем типичный, лесополоса, экспозиция склона, агроэкологическое состояние чернозема типичного, гумусное состояние чернозема типичного, свойства чернозема типичного, агрофизические свойства чернозема типичного, агрохимические свойства чернозема типичного, биомасса чернозема типичного

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Панкова Т.И. Динамика агроэкологического состояния чернозема типичного под лесополосами в зависимости от местоположения в рельефе (Курская область, Россия) // Социально-экологические технологии. 2020. Т. 10. № 1. С. 40–62. DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-1-40-62

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-1-40-62

T.I. Pankova

Kursk Institute of Cooperation –
branch of Belgorod University of Cooperation, Economics and Law,
305004, Kursk, Russian Federation;
Kursk Federal Agricultural Research Center,
305021, Kursk, Russian Federation

Dynamics of the agroecological state of typical chernozem under forest belts depending on the location in the relief (Kursk region, Russia)

Features of fertility dynamics indicators of typical chernozem determining agroecological state soil under these ecosystems are established under different-age forest shelter belts located on various slope exposures on the territory

of the experimental field of All-Russia Research Institute of Arable Farming and Soil Erosion Control (Kursk Region, Medvensky District). The study period was 16 years, the age of the forest shelter belts is 20 and 36 years. It is found out that long-term growth of woody plants on typical chernozem results in an increase in its fertility. Moreover, there is the variation of soil properties differs in intensity in forest shelter belts that differ by location in the relief. In all forest shelter belts, regardless of the location in the relief, there is an improvement in the agrophysical state of the soil, an increase in the content of humus, mobile humus substances, mobile potassium, and phosphorus. However, the intensity of changes varies depending on the exposure of the forest shelter belt on the slope. So, on the southern slope there was a maximum increase in the content of humus, mobile phosphorus, exchange bases, and water-flow aggregates. In the soil of the watershed plateau, there was a significant increase in the content of humus, the degree of humification, mobile humus substances, but their qualitative composition and content of agronomically valuable aggregates have not changed. On the northern slope, there was the maximum increase in the criterion of water resistance of soil. With increasing age of forest belts, the aboveground herbaceous phytomass increases with an increase in its share of green biomass and the amount of accumulated litter decreases. The highest phytomass productivity was in the offshore forest belt of the southern slope. Studies have shown that long-term growth of forest shelter belts improves the agroecological state of the soil, regardless of their position in the terrain, which contributes to an increase in the ecological potential of the agricultural landscape. A correct understanding of the direction of changes in the agroecological state of the soil will optimize the structure and functioning of the agricultural landscape.

Key words: typical chernozem, forest shelter belt, slope exposure, agroecological state of typical chernozem, humus state of typical chernozem, properties of typical chernozem, agrophysical properties of typical chernozem, agrochemical, typical chernozem biomass.

FOR CITATION: Pankova T.I. Dynamics of the agroecological state of typical chernozem under forest belts depending on the location in the relief (Kursk region, Russia). *Environment and Human: Ecological Studies*. 2020. Vol. 10. № 1. Pp. 40–62. (In Russ.) DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-1-40-62

Введение

Лесополосы, являясь основным структурообразующим элементом экологического каркаса агроландшафта, играют в нем большую агро-экологическую, природоохранную, организующую, средообразующую

роль [Полезазщитное лесоразведение, 2012; Королев, Громовик, Йонко, 2012; Гераськин, Каргин, Каргин, 2014], во многом определяя его экологический потенциал.

Несмотря на то, что в лесостепной зоне лесополосы распространены фрагментарно, они оказывают существенное влияние на сопряженные с ними территории и, значит, на функционирование агроландшафта в целом [Физические свойства..., 2012]. В почве под многолетними лесополосами формируются условия, отличающиеся от условий, складывающихся под степной растительностью, что обуславливает изменение почвообразовательных процессов. Кроме того, нельзя забывать о влиянии рельефа на варьирование свойств почвы, что несомненно сказывается на специфике почвообразовательных процессов под данными биоценозами. В результате в экосистеме многолетних лесополос изменяются почвенные свойства, характеризующие агроэкологическое состояние черноземных почв.

По нашим наблюдениям, в исследованиях искусственных лесных насаждений сделан акцент на изучении свойств почвы под лесополосами в сопоставлении с другими угольями агроландшафта, в частности, с пашней. Большинство исследователей указывают, что длительное произрастание лесополос способствует улучшению многих показателей плодородия. Так, встречается много работ, в которых дана оценка и установлено улучшение влагообеспеченности и содержания гумуса в почве под лесополосами по сравнению со смежными участками [Ахтырцев, Лепилин, 1991; Беляев, 1991; Сорокина, 2007; Полезазщитное лесоразведение..., 2012; Гераськин, Каргин, Каргин, 2014; Долгополова, Широких, 2015; Особенности миграционных процессов..., 2015; Балакай, 2016; Лесополосы, землепользование и оценка земель, 2016; Надточая, 2016; Системы защитных лесных насаждений..., 2016; Барбанов, Панов, 2017; Панкова, Масютенко, 2017; Троц, 2017; Агроресомелиоративный комплекс «Каменная Степь»..., 2018; Бойченко, 2018; Тарасов, Подлесных, Зарудная, 2018; Физические свойства черноземов обыкновенных..., 2012; Чендев, Беспалова, 2019].

В отдельных работах представлены результаты изучения содержания в почве лесополос обменных оснований [Беляев, 1991; Системы защитных лесных насаждений..., 2016; Жумабек, Мухаметкаримов, Рамазанова, 2017], обменного калия и подвижного фосфора [Надточая, 2016; Жумабек, Мухаметкаримов, Рамазанова, 2017], а также ее структурно-агрегатного состояния [Адерихин, Богатырева, 1979; Королев, Громовик, Йонко, 2012; Беспалов, Чевердин, Титова, 2018] и плотности [Беляев, 1991; Королев, Громовик, Йонко, 2012].

Анализ научной литературы последних лет показывает недостаточность комплексного исследования почвенных свойств под лесополосами, занимающих различное местоположение в рельефе, а также изменения их в течение длительного периода времени. Поэтому изучение динамики агроэкологического состояния черноземных почв в лесополосах с учетом их экспозиции на склоне является актуальным, т.к. позволит выявить основные направления изменения свойств почвы в агроландшафте в условиях сильнорасчлененного рельефа, в частности Центрально-Черноземного региона.

Новизна исследования состоит в том, что впервые для Курской области дана оценка и выявлена динамика изменения комплекса свойств черноземных почв в лесополосах, различно ориентированных на склоне: показателей гумусного состояния почвы (качественный состав лабильного гумуса), физических (плотность, водопрочность, структурность почвы), химических (содержание обменных оснований, показатель кислотности почвы, подвижных фосфора и калия).

Кроме того, определены запасы и структура надземной биомассы травянистых растений в изучаемых лесополосах. Биомасса растений является одним из важных показателей состояния растительного покрова, почвы и происходящих в них изменений.

Большой научный и прикладной интерес представляют исследования особенностей ее территориальной дифференциации, позволяющие дать более полную оценку изменениям растительности в конкретных биоценозах.

Цели и задачи

Цель исследования – изучение динамики агроэкологического состояния чернозема типичного в многолетних лесополосах различных экспозиций в условиях Курской области, что необходимо для прогнозирования функционирования и оптимизации устройства агроландшафта.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи.

1. Оценить изменение во времени запасов биомассы травянистых растений и подстилки в экосистемах лесополос в зависимости от местоположения их в рельефе.

2. Исследовать направление и интенсивность изменения физико-химических свойств, показателей физического и гумусного состояния чернозема типичного, определяющих его агроэкологическое состояние в лесополосах в условиях сильнорасчлененного рельефа.

Методика и методы

Исследования проводили в экосистеме лесополос, расположенных на разных экспозициях склона на опытном поле Всероссийского научно-исследовательского института земледелия и защиты почв от эрозии (Курская область, Медвенский район) в черноземе типичном тяжелосуглинистом в слое 0–20 см. Лесные полосы посадки 1980 г. состоят из смеси евроамериканских гибридов тополя «Заря» и «Робуста–236». Гибриды относятся к подроду бальзамического тополя, отличаются свето- и влаголюбием, требовательностью к плодородию почвы. В 2000 г. отбор почвенных образцов производили в прибалочной лесополосе южной экспозиции, приводораздельной лесополосе водораздельного плато и водорегулирующей лесополосе северной экспозиции, в 2016 г. – еще и в прибалочной лесополосе северной экспозиции. Возраст лесополос составлял, соответственно, 20 и 36 лет. Одновременно учитывали надземную фитомассу и подстилку с площадок 1 м² в 3-кратной повторности в июле-августе в каждый срок. Растения, срезанные у поверхности почвы, разбирали на живую фитомассу и ветошь. Образцы, высушенные до абсолютно сухого вещества, взвешивали.

В почвенных образцах определяли следующие показатели почвенного плодородия:

1) физико-химические свойства: сумма обменно-поглощенных оснований Ca^{2+} и Mg^{2+} – объемным методом трилонометрически; pH водной и солевой вытяжки – потенциометрически [Агрохимические методы исследования почв, 1975];

2) агрохимические свойства: подвижные фосфор и калий – по методу Чирикова в модификации Вишневого [Там же];

3) показатели гумусного состояния почвы: гумус – по методу Тюрина в модификации Никитина со спектрофотометрическим окончанием по Орлову и Гриндель [Никитин, 1983]; количественный и качественный состав подвижных гумусовых веществ, извлекаемых 0,1 н. раствором NaOH из недекальцинированных почв черноземного типа – по методу Тюрина в модификации Почвенного института им. В.В. Докучаева [Рекомендации для исследования баланса..., 1984].

4) агрофизические свойства: структурно-агрегатный анализ (мокрое и сухое просеивание) – по методу Н.И. Саввинова; плотность почвы – буром по методу Качинского [Вадюнина, Корчагина, 1986].

Полученные экспериментальные данные были обработаны современными методами математической статистики [Доспехов, 1985; Дмитриев, 2019] по стандартным компьютерным программам.

Результаты и обсуждение

Лесополосы являются барьером для ветровых потоков, поэтому в них концентрируются животные и накапливается много семян травянистых растений из соседних мест обитаний. Лесные полосы – это экологическая ниша для травянистой флоры, особенно для теневыносливых и тенелюбивых растений.

В 2000 г. общая биомасса травянистых растений была максимальной в приводораздельной лесополосе ($100,1 \pm 9,7$ т/га), что на 24,8–14,0% больше, чем в лесополосах на склонах южной и северной экспозиций, соответственно (рис. 1). Доля ветоши – мертвых частей растений – в общей биомассе была минимальна в лесополосе водораздельного плато (30,3%) и составляла $30,3 \pm 3,4$ т/га. В лесополосах южной и северной экспозиций происходит уменьшение общей биомассы травянистых растений и доли зеленой части в ней, но увеличение доли ветоши. Так, надземная биомасса в лесополосе южной экспозиции в этот срок отбора образцов составила $75,3 \pm 7,1$ т/га, доля ветоши в ней – 49,4%, а в лесополосе северной экспозиции – $86,1 \pm 18,8$ т/га, на ветошь приходилось 39,7%.

За 16 лет наблюдений отмечено увеличение количества надземной травянистой биомассы во всех исследуемых лесополосах (рис. 1). Но максимальным прирост был в лесополосе южной экспозиции – 67,2% ($229,1 \pm 26,4$ т/га). В других лесополосах увеличение было меньше – на 45,9–51,6%, и биомасса составила $185,0 \pm 7,73$ т/га в приводораздельной лесополосе и $178,0 \pm 14,1$ т/га в лесополосе северного склона. Изменение доли зеленой части растений в составе общей биомассы имеет аналогичный характер: максимальное увеличение произошло в лесополосе на южном склоне (на 70,5%), в других лесополосах меньше – на 53,5% на северной экспозиции и на 31,3% на водораздельном плато. Продуктивность экосистемы прибалочной лесополосы на северном склоне за период наблюдений была максимальной. Так, прирост надземной биомассы в ней составил 9,6 т/га в год, что в 1,7–1,8 раза больше, чем в лесополосах других экспозиций.

Подстилка, представляющая собой неразложившуюся и полуразложившуюся растительную массу, состоит из опада травянистого покрова, веток тополя, его листьев, плодов прошлых лет и нынешнего года, обуславливает специфику экологических условий и имеет большое значение в жизни растительных сообществ. Отмечено, что во все сроки проведения исследований количество подстилки, накапливаемой во всех лесополосах, независимо от местоположения их в рельефе, значительно превосходило надземную биомассу травянистых растений.

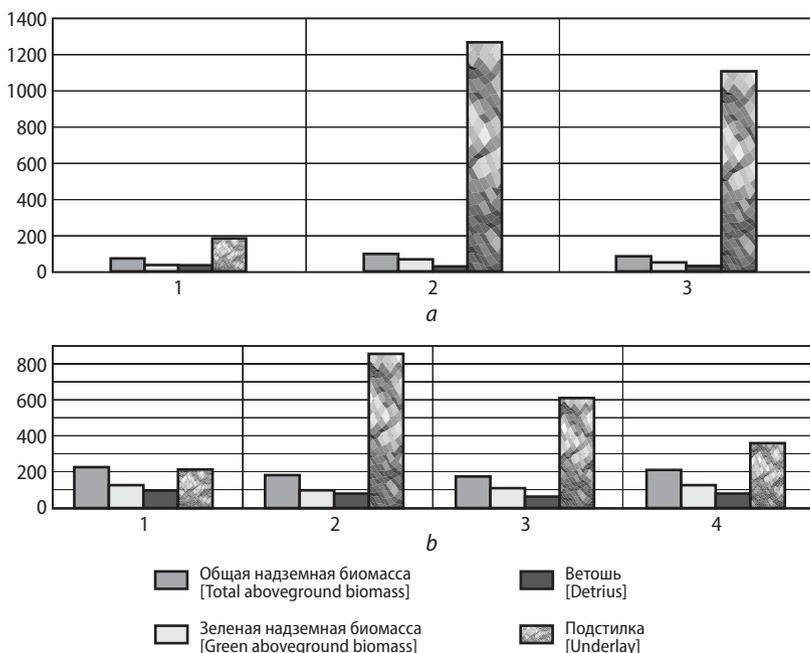


Рис. 1. Изменение общей надземной травянистой биомассы, зеленой надземной биомассы, ветоши и подстилки (т/га) в лесополосах в зависимости от экспозиции:

a – 2000 г.; *b* – 2016 г.

1 – прибалочная лесополоса, южная экспозиция; 2 – приводораздельная лесополоса, водораздельное плато; 3 – водорегулирующая лесополоса, северная экспозиция; 4 – прибалочная лесополоса, северная экспозиция

Fig. 1. Change in total above-ground grassy biomass, green above-ground biomass, detritus and underlay (t/he) in forest belts depending on the exposure:

a – 2000; *b* – 2016

1 – near beam forest belt, the southern exposure; 2 – dividing forest belt, dividing plateau; 3 – water-regulating forest belt, northern exposure; 4 – near beam forest belt, the northern exposure

В 2000 г. в приводораздельной лесополосе и водорегулирующей лесополосе северной экспозиции это превышение было максимальным (в 12,7 и 12,9 раза соответственно) и составляло $1268,6 \pm 85,8$ т/га и $1108,4 \pm 269,9$ т/га. В лесополосе южной экспозиции превышение массы подстилки намного меньше – всего в 2,5 раза ($186,4 \pm 37,2$ т/га). В первый срок отбора образцов количество подстилки было минимально

в этой же лесополосе – в 6,8–5,9 раз меньше, чем в других лесополосах. За 16 лет наблюдений масса подстилки, накапливаемой в лесополосах, увеличилась только на южной экспозиции (на 13,8%) и составила $216,2 \pm 47,1$ т/га. В лесополосах других местоположений количество подстилки уменьшилось на 32,6–44,8% и составило $855,1 \pm 84,1$ т/га на водораздельном плато и $611,8 \pm 70,1$ т/га – на северном склоне. Во второй срок отбора образцов также отмечено превышение массы подстилки над общей надземной биомассой, кроме лесополосы южной экспозиции: в 4,6 раза на водораздельном плато и в 3,4 раза на северной экспозиции. В 36-летней прибалочной лесополосе северного склона масса накапливаемой подстилки на 40,7% была больше ($364,7 \pm 106,5$ т/га), чем в аналогичной лесополосе противоположного склона ($216,2 \pm 47,1$ т/га). Количество подстилки, накапливаемой в лесополосах, расположенных в различных местах одного склона, было неодинаковым. Так, в водорегулирующей лесополосе ее было в 3,4 раза больше, чем в прибалочной, расположенной ниже по склону.

Таким образом, установлено, что за период наблюдений в лесополосах увеличилась общая биомасса травянистых растений, но уменьшилось количество подстилки, накапливаемой в них. Общая биомасса и количество подстилки во все годы исследований были наибольшими в лесополосе водораздельного плато. Наибольшая продуктивность надземной биомассы была отмечена в прибалочной лесополосе южного склона.

Для прогнозирования развития и научного обоснования использования черноземов важное значение имеют свойства, определяющие гумусное состояние почвы. Именно органическое вещество почвы создает фундамент для выполнения почвами биосферных функций и определяет особенности агроэкологического состояния почвы. А.Б. Беляев (1991) отмечал, что длительное произрастание лесополос улучшает гумусное состояние почв в них. По нашим данным, в 2000 г. минимальное содержание гумуса в слое почвы 0–20 см было в приводораздельной лесополосе ($5,93 \pm 0,11\%$), что на 8,2–5,3% меньше, чем в почве лесополос южной и северной экспозиций ($6,46 \pm 0,22$ и $6,26 \pm 0,19\%$ соответственно). Но через 16 лет в лесополосе водораздельного плато содержание гумуса стало максимальным – $7,22 \pm 0,06\%$, т.е. прирост составил 17,9%. В остальных лесополосах процессы накопления гумуса протекали медленнее. Так, в почве на северной экспозиции прирост составил 11,8%, а на южной – 7,2%, содержание гумуса было $7,1 \pm 0,07$ и $6,96 \pm 0,10\%$, соответственно. Увеличение содержания гумуса в почве лесополос, очевидно, связано с накоплением в биоценозах большого количества

растительных остатков – источника органического вещества, а также с происходящим смывом в них верхнего гумусового слоя почвы с пашни. Однако Д.В. Дубовик и Е.В. Дубовик (2011) приводят данные, согласно которым за 10 лет содержание гумуса увеличилось только в лесополосе южной экспозиции.

Исследование почвы в лесополосах различных экспозиций в 2016 г. показало минимальное содержание гумуса в прибалочной лесополосе северной экспозиции ($6,23 \pm 0,12\%$), что на 12,3% меньше, чем в почве рядом расположенной водорегулирующей лесополосы и на 10,5% меньше, чем в аналогичной лесополосе южной экспозиции. Это, видимо, связано с тем, что прибалочные лесополосы высаживались на сильно и среднеэродированных почвах.

Во все сроки наблюдений содержание всех видов подвижных гумусовых веществ в поверхностном слое почвы водорегулирующей лесополосы северной экспозиции было наибольшим (табл. 1). Причем за 16 лет наблюдений здесь произошел наибольший прирост этих показателей: подвижных гумусовых веществ – на 31,7%, подвижных гуминовых кислот – на 33,2%; подвижных фульвокислот – на 30,1%. Увеличение всех видов подвижных гумусовых веществ на других экспозициях происходило медленнее: в почве водораздельного плато – на 18,3–27,3%, в почве южного склона – на 15,7–20,1%.

В 2000 г. содержание подвижных гумусовых веществ в почве водорегулирующей лесополосы северной экспозиции составило $4393 \pm 529,1$ мг/кг почвы, что было на 7,6% больше, чем в почве водораздельного плато и на 27,6% выше, чем в лесополосе южной экспозиции. В следующий срок отбора образцов разрыв в содержании подвижных гумусовых веществ возрос и стал больше уже на 22,7% и 40,1%, соответственно.

Разница в содержании подвижных фульвокислот в почве различно ориентированных лесополос во все годы исследований не такая существенная, как в содержании подвижных гумусовых веществ и подвижных гуминовых кислот. Отмечено, что содержание подвижных фульвокислот в поверхностном слое почвы и их прирост за период наблюдений были минимальны в прибалочной лесополосе южного склона (см. табл. 1).

В 2016 г. содержание всех видов подвижных гумусовых веществ было наименьшим в почве прибалочных лесополос, расположенных на противоположных склонах. Причем на южной экспозиции на 3,6–8,2% меньше, чем на северной.

Таблица 1

**Содержание подвижных гумусовых веществ (мг/кг) в черноземе типичном
под лесополосами различных экспозиций**
**[The content of mobile humus substances (mg/kg) in typical chernozem
under forest belts of various expositions]**

	2000 г.			2016 г.			
	Прибалочная лесополоса, южная экспозиция [Near beam forest belt, the southern exposure]	Приводо-разделная лесополоса, водораздельное плато [Dividing forest belt, dividing plateau]	Водорегулирующая лесополоса, северная экспозиция [Water-regulating forest belt, northern exposure]	Прибалочная лесополоса, южная экспозиция [Near beam forest belt, the southern exposure]	Приводо-разделная лесополоса, водораздельное плато [Dividing forest belt, dividing plateau]	Водорегулирующая лесополоса, северная экспозиция [Water-regulating forest belt, northern exposure]	Прибалочная лесополоса, северная экспозиция [Near beam forest belt, the northern exposure]
Подвижные гумусовые вещества [Mobile humus substances]	3179	4060	4393	3854	4969	6428	4077
Подвижные гуминовые кислоты [Mobile humic acids]	1265	1629	2139	1584	2243	3205	1722
Подвижные фульвокислоты [Mobile fulvic acids]	1914	2097	2253	2270	2727	3224	2355

За годы наблюдений степень гумификации подвижных гумусовых веществ, представляющая собой отношение содержания в почве подвижных гуминовых кислот к содержанию подвижных гумусовых веществ ($C_{\text{ПК}} : C_{\text{ПВ}}$), в почве лесополос южной и северной экспозиций возросло несущественно, всего на 2,7 и 1,8%, соответственно, но на водораздельном плато увеличение было значительно больше и составило 11,1% (с 0,4 в 2000 г. до 0,45 в 2016 г.).

Отмечена тенденция улучшения качественного состава подвижных гумусовых веществ в почве отдельных лесополос. Так, значение отношения $C_{\text{ПК}} : C_{\text{ФК}}$, характеризующее качественный состав подвижных гумусовых веществ, за годы наблюдений незначительно увеличилось в почве лесополос южной и северной экспозиций (от 0,67 до 0,70 и от 0,96 до 1,0, соответственно). А в почве водораздельного плато значения этого показателя за период наблюдений практически не изменились (0,8–0,82).

Сравнение почв рядом расположенных лесополос на северной экспозиции показало, что в почве прибалочной лесополосы, расположенной в нижней части склона, содержание подвижных гумусовых веществ меньше на 36,6%, подвижных гуминовых кислот – на 46,3% и подвижных фульвокислот – на 27,0%, чем в почве водорегулирующей лесополосы, расположенной выше. Также в прибалочной лесополосе степень гумификации меньше и качественный состав ППВ хуже (значения этих показателей меньше на 16,0 и 26,6%, соответственно).

Результаты исследований показывают, что можно говорить о стабильной тенденции увеличения доли подвижных гуминовых кислот в составе подвижных гумусовых веществ в направлении с южной экспозиции на северную. Так, в 2016 г. доля подвижных гуминовых кислот в составе подвижных гумусовых веществ составляла 41,1% в почве южной экспозиции, 45,1% – на водораздельном плато, 49,9% – на северной экспозиции.

В 2000 г. содержание подвижного фосфора в почве под лесополой южной экспозиции было на 10,1 и 12,5% меньше, чем под лесополосами водораздельного плато и северной экспозиции и составляло $11,1 \pm 0,6$ мг/100 г почвы. Через 16 лет содержание подвижного фосфора на южном склоне возросло на 18,3% и составило $13,6 \pm 0,67$ мг/100 г, что по-прежнему меньше, чем в почве сравниваемых лесополос. Под ними увеличение произошло на 11,8–15,5% и составило $14,1 \pm 0,95$ мг/100 г (водораздельное плато) и $15,0 \pm 0,82$ мг/100 г почвы (северная экспозиция). В 2016 г. в почве под прибалочной лесополой северной экспозиции содержание подвижного фосфора было минимальным

($9,97 \pm 0,58$ мг/100 г почвы), что на 33,5% меньше, чем в водорегулирующей лесополосе, расположенной рядом, и на 26,7% меньше, чем в прибалочной лесополосе противоположного склона.

В 2000 г. содержание подвижного калия было максимальным в лесополосе северной экспозиции ($13,6 \pm 1,37$ мг/100 г почвы), что на 14,3% больше, чем в почве водораздельного плато и на 38,6% больше, чем в почве прибалочной лесополосы южной экспозиции. За 16 лет наблюдений произошло значительное увеличение содержания подвижного калия в почве всех наблюдаемых лесополос, особенно на склоне южной экспозиции (на 57,8%), и содержание в ней составило уже $19,7 \pm 2,66$ мг/100 г почвы, на склоне северной экспозиции (водорегулирующая лесополоса) зафиксирован прирост этого питательного элемента на 40,4%, на водораздельном плато – 35,3%, содержание его составило $22,8 \pm 0,8$ мг/100 г и $18,0 \pm 2,16$ мг/100 г, соответственно. Увеличение содержания подвижных фосфора и калия в почве лесополос можно объяснить смывом в них стоковых вод с полей. Согласно исследованиям Д.В. Дубовик и Е.В. Дубовик (2011) за 10 лет наблюдений увеличение подвижных фосфора и калия произошло только в лесополосе южной экспозиции, а в лесополосах водораздельного плато и северной экспозиции их содержание оставалось стабильным.

Во все сроки отбора почвенных образцов отмечено наибольшее содержание суммы обменных оснований и обменного кальция в почве лесополосы южной экспозиции: $28,6 \pm 0,64$ мг · экв/100 г почвы и $24,8 \pm 0,8$ мг · экв/100 г соответственно в 2000 г. и $32,9 \pm 0,64$ мг · экв/100 г и $28,7 \pm 0,89$ мг · экв/100 г почвы в 2016 г. соответственно (рис. 2). Отмечено увеличение доли обменного кальция в составе суммы обменных оснований на всех экспозициях, кроме южной. В почве водораздельного плато доля кальция увеличилась на 7,1%, на северной экспозиции – на 3,5%. Аналогичные данные, показывающие увеличение содержания обменных оснований в почве, происходящее с возрастом лесополос, получили Д.В. Дубовик и Е.В. Дубовик (2011). Однако А.Б. Беляев (1991) приводит данные, согласно которым длительность произрастания лесных полос не повлияла на увеличение содержания обменных катионов в почве.

Определение в 2016 г. содержания обменных оснований в слое 0–20 см почвы прибалочных лесополос полярных склонов показало незначительное превышение их на южной экспозиции. Так, здесь содержание суммы обменных оснований и обменного кальция всего на 4,7% и 7,2%, выше, чем в почве лесополосы северного склона и составило $32,9 \pm 0,64$ и $28,9 \pm 0,86$ мг · экв/100 г почвы (см. рис. 2). Но обменного магния, по нашим наблюдениям, наоборот, больше содержится в почве северной экспозиции (на 5,2%) и составляет $4,43 \pm 0,17$ мг · экв/100 г почвы.

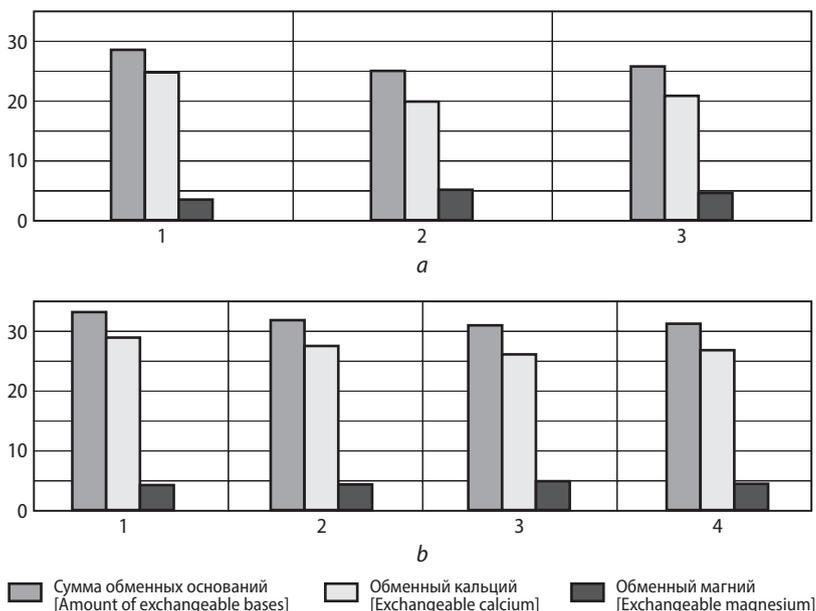


Рис. 2. Содержание обменных оснований (мг · экв/100 г) в черноземе типичном под лесополосами различных экспозиций:

a – 2000 г.; *b* – 2016 г.

1 – прибалочная лесополоса, южная экспозиция; 2 – приводораздельная лесополоса, водораздельное плато; 3 – водорегулирующая лесополоса, северная экспозиция; 4 – прибалочная лесополоса, северная экспозиция

Fig. 2. The content of exchangeable bases (mg-equivalent/100 g) in typical chernozem under forest belts of various exposures:

a – 2000; *b* – 2016

1 – near beam forest belt, the southern exposure; 2 – dividing forest belt, dividing plateau; 3 – water-regulating forest belt, the northern exposure; 4 – near beam forest belt, the northern exposure

Сравнение содержания обменных оснований в почве двух 36-летних лесополос, расположенных на северном склоне, показало, что содержание суммы обменных оснований и обменного кальция незначительно выше в почве прибалочной лесополосы (на 1,0% и на 2,4%), но содержание обменного магния, наоборот, на 7,6% ниже, чем в почве водорегулирующей лесополосы ($4,4 \pm 0,17$ и $4,8 \pm 0,46$ мг · экв/100 г почвы соответственно).

Кислотность почвы в лесополосах во все сроки измерения изменялась незначительно. В 2000 г. максимальное значение pH водного раствора

отмечено в почве лесополосы южной экспозиции ($6,8 \pm 0,03$), за 16 лет произошло увеличение на 5,6% и составило $7,2 \pm 0,06$. В 2016 г. наибольшее значение pH водного раствора было в почве водораздельного плато – $7,6 \pm 0,15$, хотя в первый срок отбора образцов данный показатель составлял $6,5 \pm 0,07$, т.е. произошло увеличение на 14,5%. Значение pH солевого раствора за период наблюдений максимально увеличилось в почве этой же лесополосы. Так, в 2000 г. значение этого показателя было $5,7 \pm 0,06$, а в 2016 г. – уже $6,6 \pm 0,12$.

Определение в 2016 г. кислотности почвенного раствора в изучаемых лесополосах показало, что значения pH водного и pH солевого растворов минимальны в почве прибалочной лесополосы северной экспозиции ($6,6 \pm 0,06$ и $5,6 \pm 0,07$ соответственно), что на 8,3 и 11,1% меньше, чем в почве аналогичной лесополосы южной экспозиции, а также на 6,1 и 8,9% меньше, чем в почве лесополосы, расположенной в верхней части северного склона.

Таким образом, отмечена тенденция постепенного подщелачивания почвы под лесополосами, причем в почве приводораздельной лесополосы этот процесс идет наиболее активно, в других лесополосах смещение кислотности происходило в 2,4–2,3 раза медленнее.

За период наблюдений за агроэкологическим состоянием почвы различных лесополос не выявлено существенных изменений ее плотности. Так, в 2000 г. значения плотности почвы варьировали от $0,99 \pm 0,03$ г/см³ в лесополосе южной экспозиции до $1,03 \pm 0,02$ г/см³ на водораздельном плато. Через 16 лет плотность почвы изменилась следующим образом: на южной экспозиции уменьшилась на 3,8% ($0,95 \pm 0,04$ г/см³), на водораздельном плато – на 9,3% ($0,93 \pm 0,02$ г/см³), но увеличилась на северной экспозиции на 9,6% ($1,12 \pm 0,01$ г/см³).

Структура почвы является важным фактором плодородия почвы и в большой степени влияет на особенности формирования физических свойств почвы. Положительное влияние лесополос на структурирование почвы отмечено в работах ряда авторов [Адерихин, Богатырева, 1979; Беляев, 1991; Королев, Громовик, Йонко, 2012; Беспалов, Чевердин, Титова, 2015]. Наши исследования также подтверждают, что длительное произрастание лесных насаждений улучшает структуру почвы. Так, коэффициент структурности почвы при сухом просеивании во все сроки исследований был максимальным в почве лесополосы южной экспозиции (рис. 3), увеличение его значений произошло на 17,0% с $7,1 \pm 0,85$ до $8,5 \pm 1,64$. В почве приводораздельной лесополосы коэффициент структурности почвы при сухом просеивании в первый срок отбора образцов был минимальным – $2,9 \pm 0,35$, но за 16 лет произошло

значительное улучшение структуры почвы, о чем говорит увеличение этого коэффициента на 38,8% – до $4,8 \pm 0,55$. В почве лесополосы водорегулирующей лесополосы северной экспозиции коэффициент структурности почвы при сухом просеивании изменился незначительно (с 6,36 до 7,0).

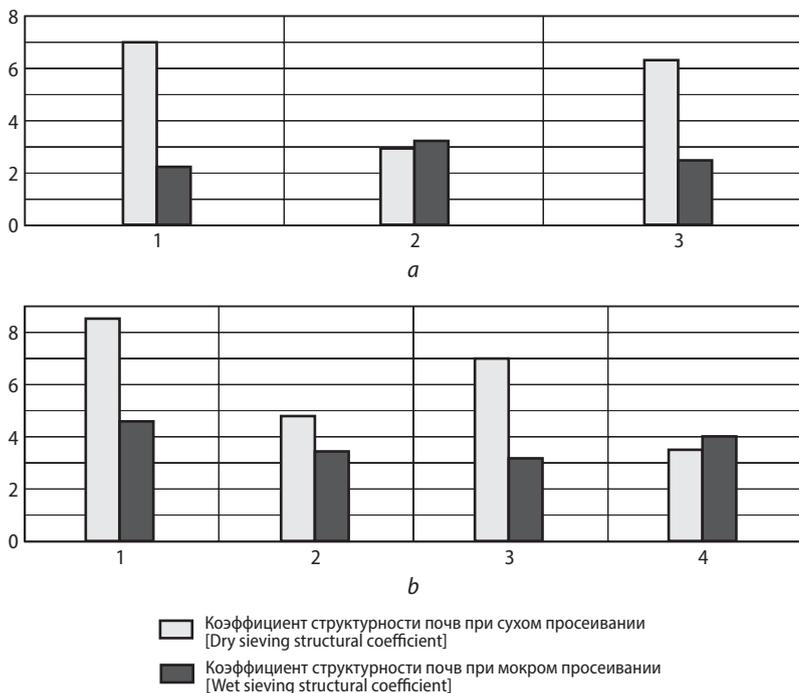


Рис. 3. Изменение коэффициентов структурности чернозема типичного под лесополосами различных экспозиций:

a – 2000 г.; *b* – 2016 г.

1 – прибалочная лесополоса, южная экспозиция; 2 – приводораздельная лесополоса, водораздельное плато; 3 – водорегулирующая лесополоса, северная экспозиция; 4 – прибалочная лесополоса, северная экспозиция

Fig. 3. Change in structural coefficients of typical chernozem under forest belts of various exposures:

a – 2000; *b* – 2016

1 – near beam forest belt, the southern exposure; 2 – dividing forest belt, dividing plateau; 3 – water-regulating forest belt, the northern exposure; 4 – near beam forest belt, the northern exposure

В первый срок отбора образцов в изучаемых лесополосах отмечено несущественное варьирование коэффициента структурности почвы при мокром просеивании почвы – от $2,5 \pm 0,21$ на северном склоне до $3,2 \pm 0,36$ на водораздельном плато. В 2016 г. диапазон изменений значений коэффициента структурности при мокром просеивании почвы существенно расширился – от $3,18 \pm 0,08$ на северном склоне до $4,6 \pm 1,32$ на южном (см. рис. 3). За годы наблюдений увеличение значений этого коэффициента было наибольшим в почве лесополосы южной экспозиции – с $2,3 \pm 0,23$ до $4,6 \pm 1,32$ (на 50,4%), а наименьшим – в приводораздельной лесополосе – с $3,2 \pm 0,36$ до $3,5 \pm 0,67$ (на 6,38%). Отмечено, что коэффициент структурности при мокром просеивании почвы в почве 36-летних прибалочных лесополос, ориентированных противоположно, имели близкие значения ($4,6 \pm 1,32$ на южном и $4,0 \pm 0,61$ на северном склоне).

В почве 20-летней приводораздельной лесополосы содержание водопропрочных агрегатов было максимальным ($76 \pm 2,23\%$), и за период наблюдений их количество практически не изменилось ($75 \pm 4,34\%$). А на противоположно ориентированных склонах за период исследований их содержание увеличилось: на южной экспозиции – на 12,9% (от $69,2 \pm 2,3$ до $79,5 \pm 5,66\%$), на северной – на 6,6% (от $71,2 \pm 1,9$ до $76,1 \pm 0,44\%$). В 2000 г. водопропрочность агрономически ценных агрегатов была наилучшей в почве лесополосы водораздельного плато. Здесь критерий водопропрочности почвы был максимальным ($4,7 \pm 0,44$), что на 25,9–15,8% больше, чем в лесополосах южной и северной экспозиций. За 16 лет водопропрочность агрегатов в почве приводораздельной лесополосы не изменилась, значение критерия водопропрочности почвы осталось прежним – $4,7 \pm 0,84$. В других лесополосах водопропрочность почвы улучшилась. Так, в почве прибалочной лесополосы южной экспозиции критерий водопропрочности почвы увеличился на 11,5% (с $3,5 \pm 0,15$ до $3,9 \pm 0,51$), а в почве водорегулирующей лесополосы северной экспозиции – на 37,4% (с $4,0 \pm 0,23$ до $6,3 \pm 1,03$). В 2016 г. в прибалочной лесополосе северной экспозиции водопропрочность почвенных агрегатов поверхностного слоя была лучше, чем в других лесополосах. Значение критерия водопропрочности почвы водоустойчивых агрегатов этой лесополосы было максимальным ($7,5 \pm 1,49$), что в 1,9 раза больше, чем в аналогичной лесополосе противоположной экспозиции.

Таким образом, в почве под многолетними лесополосами, расположенными на различных экспозициях склона, осуществляются почвообразовательные процессы, которые отличаются по интенсивности

и направленности. Сочетание и наложение их друг на друга, а также временного фактора и местоположения в рельефе приводят к дифференциации агроэкологического состояния почвы под лесополосами, оценка которого необходима для научно обоснованного управления функционированием экологически сбалансированных агроландшафтов, увеличения их экологической емкости и экологического потенциала.

Выводы

1. Установлено, что за 16 лет во всех изучаемых лесополосах на 45,9–67,2% увеличилась общая биомасса травянистых растений, но на 32,6–44,8% уменьшилось количество подстилки, накапливаемой в них, кроме прибалочной лесополосы южной экспозиции. Общая биомасса и количество подстилки во все годы исследования были наибольшими в приводораздельной лесополосе. Отмечена наибольшая продуктивность надземной биомассы в прибалочной лесополосе южного склона (9,6 т/га в год).

2. Минимальное содержание гумуса отмечено в почве прибалочной лесополосы северной экспозиции, что на 13,9–11,7% меньше, чем в почве лесополосы, расположенной на склоне выше, и в почве аналогичной лесополосы противоположного склона. Это можно объяснить тем фактом, что прибалочные лесополосы высаживали на сильно и среднеэродированные почвы.

3. Наиболее интенсивно процесс накопления гумуса идет в почве приводораздельной лесополосы и водорегулирующей лесополосы северной экспозиции, прирост его за период исследований составил 17,7 и 11,8% соответственно.

4. За период наблюдений отмечено увеличение доли подвижных гуминовых кислот в составе подвижных гумусовых веществ, причем в почве северной экспозиции она выше, чем на южной экспозиции.

5. Во все годы исследований наибольшее содержание подвижных гумусовых веществ было зафиксировано в почве водорегулирующей лесополосы северной экспозиции. За 16 лет наблюдений здесь отмечено наибольшее увеличение этих показателей – на 29,8–33,2%.

6. Отмечен очень высокий прирост содержания подвижного калия в почве всех лесополос, особенно на южной экспозиции (57,8%).

7. Максимальное количество обменных оснований во все сроки исследований содержалось в почве лесополосы южной экспозиции. Но за 16-летний период в почве только этой лесополосы не увеличилась доля обменного кальция в составе обменных оснований.

8. Во всех лесополосах отмечена тенденция уменьшения кислотности почвы. Наиболее интенсивно этот процесс происходит в водораздельной лесополосе.

9. За 16 лет наблюдений содержание агрономически ценных агрегатов и их водопрочность существенно увеличились на полярных склонах и практически не изменились на водораздельном плато.

10. Отмечена тенденция уменьшения плотности верхнего слоя почвы в лесополосе южного склона и водораздельного плато, но увеличения ее на северном склоне.

11. Во все сроки исследования значения коэффициентов структурности почвы при сухом и мокром просеивании под всеми лесополосами имели высокие значения. Но максимальное значение коэффициента структурности почвы при сухом просеивании было в почве южной экспозиции, а наибольшее увеличение за период наблюдений – на водораздельном плато (на 38,8%). Максимальное увеличение значения коэффициента структурности почвы при мокром просеивании произошло в почве южной экспозиции (на 50,4%).

Библиографический список / References

Агролесомелиоративный комплекс «Каменная Степь»: тенденции и направления изменения почвенного покрова / Турусов В.И., Чевердин Ю.И., Беспалов В.А., Титова Т.В. // Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия: Сборник докладов Международной научно-практической конференции Курского отделения МОО «Общество почвоведов им. В.В. Докучаева», 20 апреля 2018 г., Курск, 2018. С. 484–488. [Turusov V.I., Cheverdin Yu.I., Bepalov V.A., Titova T.V. Agroforestry complex “Kamennaya Step”: Trends and directions of changes in soil cover. *Aktual'nye problemy pochvovedeniya, ekologii i zemledeliya*. Kursk, 2018. Pp. 484–488. (In Russ.)]

Агрохимические методы исследования почв. М., 1975. [Agrohimicheskie metody issledovaniya pochv [Agrochemical methods of soil research]. Moscow, 1975.]

Адерихин П.Г., Богатырева З.С. Влияние полевых полос на структуру обыкновенных черноземов Каменной Степи // Почвоведение. 1979. № 7. С. 71–80. [Aderihin P.G., Bogatyreva Z.S. Influence of shelterbelts on the structure of ordinary chernozems of the Kamennaya Steppe. *Pochvovedenie*. 1979. No. 7. Pp. 71–80. (In Russ.)]

Ахтырцев Б.П., Лепилин И.А. Водные свойства черноземов обыкновенных южнорусской степи при разных видах использования // Почвоведение. 1991. № 3. С. 66–79. [Ahtyrcev B.P., Lepilin I.A. Water properties of ordinary chernozems of the Southern Russian steppe for various uses. *Pochvovedenie*. 1991. No. 3. Pp. 66–79. (In Russ.)]

Балакай Н.И. Роль защитных лесных насаждений в формировании микроклимата и водно-физических свойств почвы // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2016. № 4 (64). С. 182–187. [Balakaj N.I. The role

of protective forest stands in the formation of microclimate and water-physical properties of the soil. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya*. 2016. No. 4 (64). Pp. 182–187. (In Russ.)]

Барабанов А.Т., Панов В.И. Оценка влияния защитных лесонасаждений на водный баланс агроландшафтов // Агроэкологические проблемы почвоведения и земледелия: Сборник докладов Международной научно-практической конференции Курского отделения МОО «Общество почвоведов им. В.В. Докучаева», 21 апреля 2017 г. Курск, 2017. С. 29–33. [Barabanov A.T., Panov V.I. Assessment of the impact of protective forest stands on the water balance of agrolandscapes. *Agroekologicheskie problemy pochvovedeniya i zemledeliya*. Kursk, 2017. Pp. 29–33. (In Russ.)]

Беляев А.Б. Влияние лесонасаждений на улучшение почв лесостепи // Почвоведение. 1991. № 12. С. 109–119. [Belyaev A.B. The influence of afforestation on the improvement of forest-steppe soils. *Pochvovedenie*. 1991. No. 12. Pp. 109–119. (In Russ.)]

Беспалов В.А., Чевердин Ю.И., Титова Т.В. Эволюционные изменения структурно-агрегатного состояния черноземных почв // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2018. № 2. С. 74–79. [Bespalov V.A., Cheverdin Yu.I., Titova T.V. Evolutionary changes in the structurally-aggregate state of chernozem soils. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018. No. 2. Pp. 74–79. (In Russ.)]

Бойченко М.Н. Лесные насаждения – неотъемлемый элемент ресурсного потенциала агроландшафта // Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия: Сборник докладов международной научно-практической конференции Курского отделения МОО «Общество почвоведов им. В.В. Докучаева», 20 апреля 2018 г. Курск, 2018. С. 75–78. [Bojchenko M.N. Forest plantations – an integral element of the resource potential of the agrolandscape. *Aktual'nye problemy pochvovedeniya, ekologii i zemledeliya*. Kursk, 2018. Pp. 75–78. (In Russ.)]

Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М., 1986. [Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv* [Methods of studying the physical properties of soils]. Moscow, 1986.]

Гераськин М.М., Каргин В.И., Каргин И.Ф. Агроэкологическая роль полезащитных лесополос в организации территории лесопользования // Вестник Российской Академии сельскохозяйственных наук. 2014. № 3. С. 31–34. [Geras'kin M.M., Kargin V.I., Kargin I.F. Agroecological role of shelterbelts in the organization of forest use. *Vestnik Rossijskoj Akademii sel'skohozyajstvennykh nauk*. 2014. No. 3. Pp. 31–34. (In Russ.)]

Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М., 2019. [Dmitriev E.A. *Matematicheskaya statistika v pochvovedenii* [Mathematical statistics in soil science]. Moscow, 2019.]

Долгополова Н.В., Широких Е.В. Изменение запаса органического вещества чернозема типичного в зависимости от вида, эродированности и местоположения угодий // Региональный вестник. 2015. № 1. С. 27–30. [Dolgoplova N.V., Shirokih E.V. Change in the stock of organic matter of typical black soil depending on the type, erosion and location of the land. *Regional'nyj vestnik*. 2015. No. 1. Pp. 27–30. (In Russ.)]

Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М., 1985. [Dospikhov B.A. *Metodika polevogo opyta* [Field experience methodology]. Moscow, 1985.]

Дубовик Д.В., Дубовик Е.В. Изменение агрохимических свойств чернозема типичного под различными угодьями на полярных склонах агроландшафта за десятилетний период их использования // *Агрохимия*. 2011. № 36. С. 82–87. [Dubovik D.V., Dubovik E.V. Change in the agrochemical properties of chernozem typical under various lands on the polar slopes of the agrolandscape over a ten-year period of their use. *Agrohimiya*. 2011. No. 36. Pp. 82–87. (In Russ.)]

Жумабек Б., Мухаметкаримов К., Рамазанова Р.Х. Агрохимические, физические и физико-химические свойства черноземов обыкновенных под лесными насаждениями в степной зоне северного Казахстана // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2017. № 11-3 (65). С. 115–122. [Zhumabek B., Mухametkarimov K., Ramazanova R.H. Agrochemical, physical and physico-chemical properties of common chernozems under forest stands in the steppe zone of northern Kazakhstan. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*. 2017. No. 11-3 (65). Pp. 115–122. (In Russ.)]

Королев В.А., Громовик А.И., Йонко О.А. Изменение физических свойств почв Каменной Степи под влиянием полегающих лесных полос // *Почвоведение*. 2012. № 3. С. 299–308. [Korolev V.A., Gromovik A.I., Jonko O.A. Change in the physical properties of soils of the Kamennaya Steppe under the influence of forest shelterbelts. *Pochvovedenie*. 2012. No. 3. Pp. 299–308. (In Russ.)]

Лесополосы, землепользование и оценка земель / Куленкамп А.Ю., Айдиева А.Ю. и др. // *Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия: Сборник докладов научно-практической конференции с Международным участием Курского отделения МОО «Общество почвоведов им. В.В. Докучаева», 22 апреля 2016 г. Курск, 2016. С. 153–158. [Kulenkamp A.Yu., Ajdieva A.Yu., Belobrov V.P. et al. Forest belts, land use and land valuation *Aktual'nye problemy pochvovedeniya, ekologii i zemledeliya*. Kursk, 2016. Pp. 153–158. (In Russ.)]*

Надточая А.А. Изменение агрохимических показателей плодородия черноземов под разными фитоценозами // *Территория науки*. 2016. № 6. С. 130–134. [Nadtochaya A.A. Change in agrochemical indicators of fertility of chernozems under different phytocenoses. *Territoriya nauki*. 2016. No. 6. Pp. 130–134. (In Russ.)]

Никитин Б.А. Уточнение к методике определения гумуса в почве // *Агрохимия*. 1983. № 8. С. 101–106. [Nikitin B.A. Refinement to the method of determination of humus in the soil. *Agrohimiya*. 1983. No. 8. Pp. 101–106. (In Russ.)]

Особенности миграционных процессов в черноземах степных агроландшафтов под влиянием лесных массивов / Русанов А.М., Милановский Е.Ю., Шейн Е.В. и др. // *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2015. № 6 (181). С. 139–142. [Rusanov A.M., Milanovskij E.Yu., Shein E.V. et al. Features of migration processes in chernozems of steppe agrolandscapes under the influence of forests. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2015. No. 6 (181). Pp. 139–142. (In Russ.)]

Панкова Т.И., Масютенко Н.П. Изменение показателей гумусного состояния чернозема типичного в зависимости от вида землепользования и местоположения в рельефе // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2017. № 7. С. 7–12. [Pankova T.I., Masyutenko N.P. Change in the humus state of typical chernozem, depending on the type of land use and location in the relief. *Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skhozajstvennoj akademii*. 2017. No. 7. Pp. 7–12. (In Russ.)]

Полезационное лесоразведение: значение, состояние, пути выхода из кризиса / Кулик К.Н., Манаенков А.С., Раков А.Ю. и др. // Вестник Российской Академии сельскохозяйственных наук. 2012. № 1. С. 24–27. [Kulik K.N., Manaenkov A.S., Rakov A.Yu. et al. Protective afforestation: Significance, condition, ways out of the crisis. *Vestnik Rossijskoj Akademii sel'skhozozajstvennyh nauk*. 2012. No. 1. Pp. 24–27. (In Russ.)]

Рекомендации для исследования баланса и трансформации органического вещества при сельскохозяйственном использовании в интенсивном окультивировании почв // ВАСХНИЛ. Почвенный институт им. В.В. Докучаева. М., 1984. С. 58. [Recommendations for the study of the balance and transformation of organic matter in agricultural use in intensive cultivation of soils. *VASKhNIL. Pochvennyj institut im. V.V. Dokuchaeva*. Moscow, 1984. P. 58. (In Russ.)]

Системы защитных лесных насаждений в условиях Центрального Черноземья России / Михин В.И., Михина Е.А., Михин Д.В., Михина В.В. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 124. С. 403–413. [Mihin V.I., Mihina E.A., Mihin D.V., Mihina V.V. Systems of protective forest stands in the conditions of the Central Black Earth Region of Russia. *Politematicheskij setevoj elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016. No. 124. Pp. 403–413. (In Russ.)]

Сорокина О.А. Трансформация плодородия почв под влиянием леса // Плодородие. 2007. № 4. С. 11–12. [Sorokina O.A. Transformation of soil fertility under the influence of the forest. *Plodorodie*. 2007. No. 4. Pp. 11–12. (In Russ.)]

Тарасов С.А., Подлесных И.В., Зарудная Т.Я. Влияние лесных полос и гидромелиоративных сооружений на распределение доступной влаги по элементам рельефа // Адаптивно-ландшафтное земледелие: вызовы XXI века: Сборник докладов Международной научно-практической конференции, посв. 70-летию со дня рождения члена-корреспондента РАН Г.Н. Черкасова, 12–14 сентября 2018 г. Курск, 2018. С. 298–303. [Tarasov S.A., Podlesnyh I.V., Zarudnaya T.Ya. The influence of forest strips and irrigation and drainage structures on the distribution of available moisture over relief elements. *Adaptivno-landshaftnoe zemledelie: vyzovy XXI veka*. Kursk, 2018. Pp. 298–303. (In Russ.)]

Троц В.Б. Значение полезационных лесных полос // Инновационные достижения науки и техники АПК: Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. Кинель, 13–16 декабря 2016 г. Самара, 2017. С. 182–186. [Troc V.B. The value of shelterbelts. *Innovacionnye dostizheniya nauki i tekhniki APK*. Samara, 2017. Pp. 182–186. (In Russ.)]

Физические свойства черноземов обыкновенных на сопредельных с лесными массивами участках степных ландшафтов / Русанов А.М., Милановский Е.Ю., Верхошенцева Ю.П. и др. // Почвоведение. 2012. № 7. С. 763–769. [Rusanov A.M., Milanovskij E.Yu. et al. Physical properties of common chernozems in steppe landscapes adjacent to forests. *Pochvovedenie*. 2012. No. 7. Pp. 763–769. (In Russ.)]

Чеве́рдин Ю.И., Беспалов В.А., Титова Т.В. Изменение варьирования основных морфометрических характеристик черноземов под влиянием антропогенного воздействия // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 12. С. 62–65. [Cheverdin Yu.I., Bepalov V.A., Titova T.V. Change in variation of the main morphometric characteristics of chernozems under the influence of anthropogenic

impact. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2015. Vol. 29. No. 12. Pp. 62–65. (In Russ.)]

Чендев Ю.Г., Беспалова Е.С. Оценка роли лесополос в оптимизации почв и ландшафтов: литературный обзор сведений // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2019. Т. 43. № 2. С. 124–133. [Chendeв Yu.G., Bepalova E.S. Assessment of the role of forest belts in soil and landscape optimization: A review of information. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*. 2019. Vol. 43. No. 2. Pp. 124–133. (In Russ.)]

Статья поступила в редакцию 26.11.2019, принята к публикации 10.01.2020

The article was received on 26.11.2019, accepted for publication 10.01.2020

Сведения об авторе / About the author

Панкова Татьяна Ивановна – кандидат биологических наук; доцент кафедры гуманитарных, естественно-научных и юридических дисциплин, Курский институт кооперации (филиал) Белгородского университета кооперации, экономики и права; научный сотрудник лаборатории агропочвоведения, Курский федеральный аграрный научный центр

Tatyana I. Pankova – PhD in Biology; Associate Professor at the Department of Humanitarian, Natural Sciences and Legal Disciplines, Kursk Institute of Cooperation – branch of Belgorod University of Cooperation, Economics and Law; Researcher at the Laboratory of Agricultural Soil Science, Kursk Federal Agricultural Research Center

E-mail: pankova-ti@mail.ru

DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-1-63-75

Н.С. Прибыловская, Т.П. Марчик, Е.А. ТарановаГродненский государственный университет имени Янки Купалы,
220023, г. Гродно, Республика Беларусь

Фитопланктонные сообщества малых водотоков урбанизированных экосистем (на примере реки Лососна, г. Гродно, Беларусь)

На примере малой реки Лососна (Гродно, Беларусь) показаны изменения сообщества фитопланктона в условиях урбанизированных территорий за период 2015–2018 гг. и проведено сравнение с ранее полученными в 2008 г. данными. Видовое разнообразие фитопланктона реки Лососна было представлено 87 видами из шести отделов с преобладанием *Chlorophyta* и *Bacillariophyta* (в альгоценозе доминирует хлорофитово-диатомовый комплекс). Отмечено увеличение видового разнообразия относительно 2008 г. (36 видов), что свидетельствует о положительной динамике снижения поступления загрязняющих веществ в водоток. Рассчитанные индексы сапробности соответствуют β -мезо-сапробному типу, что позволяет отнести воду реки Лососна к 4 рангу и III классу качества вод (удовлетворительной чистоты), а изменения в экосистеме характеризовать как обратимые.

Ключевые слова: фитопланктон, потамопланктон, малые реки, антропогенное воздействие, видовое разнообразие, индекс сапробности, качество воды.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Прибыловская Н.С., Марчик Т.П., Таранова Е.А. Фитопланктонные сообщества малых водотоков урбанизированных экосистем (на примере реки Лососна, г. Гродно, Беларусь) // Социально-экологические технологии. 2020. Т. 10. № 1. С. 63–75. DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-1-63-75

© Прибыловская Н.С., Марчик Т.П., Таранова Е.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

DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-1-63-75

N.S. Pribylovskaya, T.P. Marchik, E.A. TaranovaYanka Kupala State University of Grodno,
Grodno, 220023, Republic of Belarus

Phytoplankton communities of small watercourses of urbanized ecosystems (on the example of the Lososna river, Grodno, Belarus)

On the example of the small Lososna river (Grodno, Belarus), the changes in the phytoplankton community in urbanized areas for the period 2015–2018 are shown and compared with the data previously obtained in 2008. The species diversity of the Lososna river phytoplankton was represented by 87 species from six divisions dominated by *Chlorophyta* and *Bacillariophyta* (the algocenosis is dominated by the chlorophytic-diatom complex). There was an increase in species diversity relative to 2008 (36 species), which indicates a positive dynamic of reducing the inflow of pollutants into the watercourse. The calculated saprobity indices correspond to the β -mesosaprobic type, which makes it possible to attribute the water of the Lososna river to the 4th rank and III class of water quality (satisfactory purity), and to characterize changes in the ecosystem as reversible.

Key words: phytoplankton, potamoplankton, small rivers, anthropogenic impact, species diversity, saprobity index, water quality

FOR CITATION: Pribylovskaya N.S., Marchik T.P., Taranova E.A. Phytoplankton communities of small watercourses of urbanized ecosystems (on the example of the Lososna river, Grodno, Belarus). *Environment and Human: Ecological Studies*. 2020. Vol. 10. № 1. Pp. 63–75. (In Russ.) DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-1-63-75

Комплексное использование водных ресурсов внутренних водоемов и водотоков приводит к загрязнению большинства водных экосистем. Совместное влияние промышленных загрязнителей, транспорта и сельского хозяйства создают предпосылки для формирования

комплекса гидробионтов, наиболее приспособленных к жизни в условиях постоянного антропогенного прессинга. Поэтому изменение структуры и функциональных характеристик сообществ гидробионтов под влиянием загрязнений приобретает показательное значение для оценки качества воды [Адамович, Сенникова, Копылова, 2008]. Биологическая оценка водоема по структурным показателям планктона (видовое разнообразие и преобладание в сообществе видов-индикаторов) позволяет оценить всю совокупность факторов окружающей среды [Биотестовый анализ..., 2007].

Особого внимания заслуживают малые реки, на которых отражаются все самые характерные и ключевые факторы, оказывающие влияние на большинство водных систем. Анализ работ по влиянию антропогенных факторов на речные биоценозы свидетельствует о существенной разнородности получаемых результатов. И это естественно, поскольку гидробиоценозы реагируют на комплекс условий среды, который в каждом районе исследований может быть разным.

Установлено, что в средах, подверженных антропогенному влиянию, как правило, уменьшается фитопланктонное разнообразие, увеличивается биомасса и численность фитопланктона, уменьшается доля диатомовых водорослей. Качественные и количественные характеристики фитопланктона малых рек зависят также от зарегулированности стока и типа почв водосборного бассейна [Гончаров, 1994; Rodrigues, 2015]. Например, фитопланктон малых рек бассейна Верхней Волги сформирован, в основном, диатомовыми водорослями (46,5% таксонов рангом ниже рода). Зеленые водоросли, в основном за счет порядка *Chlorococcales*, находятся на втором месте по разнообразию (36%). Третье место занимают цианобактерии (10,5%), далее следуют золотистые (3,1%) и эвгленовые (1,5%). По индексам сапробности исследуемые реки оцениваются как умеренно-загрязненные с III классом качества воды [Фролова, 2004].

В данной статье представлены мониторинговые исследования фитопланктонных сообществ на малой реке Лососна (Гродно, Беларусь), что достаточно актуально, поскольку позволяют проследить динамику видового состава планктонных водорослей и оценить изменения состояния водной экосистемы в городских условиях.

На территории города Гродно протекают 2 малые реки, которые впадают в Неман: Городничанка справа, Лососна слева. Исследования фитопланктона на реке Лососна впервые проводились авторами. Исследования на реке Городничанка также впервые проводились нами в 2016–2017 гг. [Саввова, Прибыловская, 2018]. В фитопланктоне реки Городничанка (обработано 9 проб) был выявлен 21 вид водорослей,

которые принадлежат 4 отделам, 4 классам, 5 порядкам, 7 семействам, 12 родам. Каждый отдел представлен всего одним классом, число порядков и семейств в каждом классе также мало (1–2). Наибольшей видовой насыщенностью обладают классы *Hormogoniophyceae* – 6 видов из 2 родов (*Anabaena*, *Oscillatoria*) и *Euglenophyceae* – 6 видов из 5 родов. Из 4 видов класса *Protococcophyceae* 3 принадлежат роду *Scenedesmus*. Сезонная сукцессия видов нарушена, в течение всего года встречаются эвгленовые водоросли.

Материалы и методы

Исследования фитопланктона проводили на реке Лососна, которая относится к категории малых рек (ее общая длина составляет 46 км) и является наиболее крупным притоком Немана в черте г. Гродно (Беларусь). Площадь водосбора 468 км². Начинается в Польше, недалеко от деревни Брузги, пересекает государственную границу, впадает в реку Неман в западной окраине города Гродно. Основные притоки в Беларуси – Каменка (справа) и Татарка (слева). На реке в низине около деревни Коробчицы создано водохранилище Юбилейное. Долина корытообразная, преимущественно левобережная, четкая, ширина 200–800 м. Пойма прерывистая, в верхнем течении открытая, в нижнем, в основном под лесом, узкая (ширина 50–150 м). Русло извилистое, ширина в границах от 5–10 м в верхнем и среднем течении до 20–25 м в нижнем.

В связи с невозможностью обследования всей водной массы водотока применяли метод выборочного обследования, при котором отбирают пробы на станциях, расположенных в разных частях водоема. Участки, с которых происходил отбор проб (3 станции), находились вблизи дачных обществ и улицы Дмитриевка (бывшая деревня Дмитриевка, включенная в городскую черту в 2008 г.) (рис. 1). Станции находятся в нескольких сотнях метров друг от друга, но отличаются по природным условиям: на быстром течении с каменистым дном, в заводи среди зарослей тростника обыкновенного (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steud.) и на открытом месте с песчаным дном. Мы не надеялись зафиксировать какие-либо серьезные различия в видовом составе водорослей планктона на столь близко расположенных станциях, а лишь получить как можно более точные данные о видовом разнообразии. Поэтому в дальнейшем данные по видовому составу трех проб объединялись.

Материалом для исследования послужили пробы фитопланктона, отобранные в течение вегетационных сезонов с 2015 по 2018 год (12–16 проб в год).

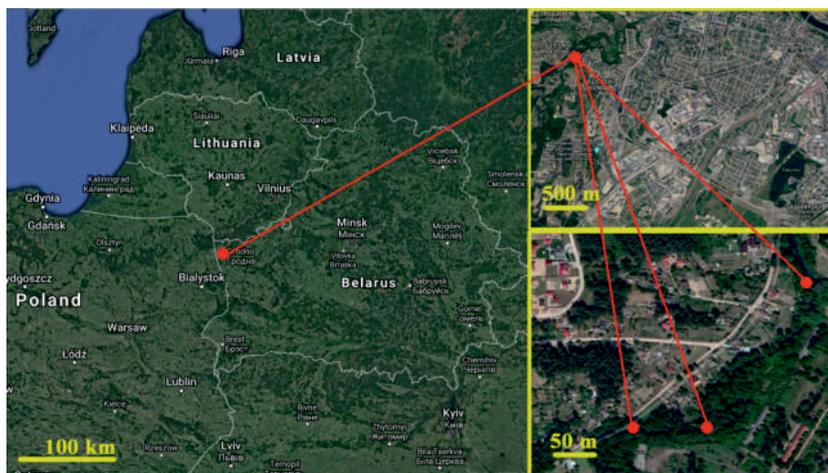


Рис. 1. Карта расположения станций отбора проб на реке Лососна (красные точки)

Fig. 1. Map of sampling stations on the Lososna river (red dots)

Фиксацию проб осуществляли реактивом Уотермеля, концентрирование – осадочным методом [Михеева, 1989, Садчиков, 2003]. Систематическую принадлежность водорослей определяли в соответствии с «Таксономическим каталогом» Т.М. Михеевой [Михеева, 1999]. Степень загрязнения водоема характеризовали индексом сапробности S (по Пантле-Букку), который вычисляется по формуле:

$$S = \frac{\sum sh}{\sum h}$$

Относительное количество особей вида (h) оценивается следующим образом: случайные находки приняты за 1, частая встречаемость – 3, массовое развитие – 5. Индикаторная значимость отдельных видов (s) определялась по справочнику С.С. Бариновой [Баринова, Медведева, Анисимова, 2006].

Результаты и обсуждение

В первых исследованиях фитопланктона реки Лососна, начатых в 2008 г., за вегетационный сезон было выявлено 36 видов водорослей из 4 отделов: *Chlorophyta*, *Bacillariophyta*, *Cyanophyta*, *Xanthophyta* (в порядке убывания видового разнообразия). Затем исследования

продолжили в 2013 г. В фитопланктоне Лососны было выявлено 38 видов из 5 отделов: *Bacillariophyta*, *Chlorophyta*, *Cyanophyta*, *Euglenophyta*, *Xanthophyta* (в порядке убывания видового разнообразия) [Завадская, 2014]. Бедность видового разнообразия планктонных сообществ может свидетельствовать о сильном антропогенном воздействии на данную лотическую систему.

В результате исследований планктона реки Лососна в 2015 г. было выявлено уже 63 вида, разновидности и формы водорослей, относящихся к 9 классам, 11 порядкам, 25 семействам, 34 родам из 6 отделов. Основу флористического разнообразия создавали зеленые (34 вида, 54% общего видового богатства) и диатомовые (20 видов, 32%) водоросли. Водоросли других отделов (*Cyanophyta*, *Xanthophyta*, *Euglenophyta*, *Dinophyta*) в фитопланктоне играли, как правило, подчиненную роль, и их доля в флористическом спектре составляла от 2 до 8% общего числа видов.

Класс *Protococrophyceae* обладает самой высокой видовой насыщенностью – сюда входит 32 вида, что составляет почти половину от всех выявленных видов (они относятся к 13 родам, 9 семействам и 1 порядку *Chlorococcales*). Наиболее часто встречались виды родов *Scenedesmus* и *Ankistrodesmus*. Следующим по видовой насыщенности является класс *Pennatophyceae* – 18 видов, большинство представителей данного класса относится к родам *Gomphonema*, *Fragilaria*. Далее следует *Hormogoniophyceae* – 5 видов, 3 из которых относятся к роду *Oscillatoria*.

Centrophyceae и *Xanthotrichophyceae* представлены 2 видами родов *Melosira* и *Tribonema* соответственно. Самыми немногочисленными оказались: *Conjugatophyceae*, *Volvocophyceae*, *Euglenophyceae*, *Dinophyceae* – по 1 виду каждый.

В результате исследования речного фитопланктона в вегетационный сезон 2016 г. было выявлено 60 видов водорослей из 4 отделов 8 классов 10 порядков 25 семейств 34 родов. Преобладают представители отделов *Chlorophyta* и *Bacillariophyta* – 34 и 19 видов соответственно, представители отдела *Cyanophyta* – 4 вида, *Xanthophyta* – 3 вида.

Класс *Protococrophyceae* обладает самой высокой видовой насыщенностью – сюда входит 31 вид, что составляет почти половину от всех выявленных видов (они относятся к 12 родам, 9 семействам и 1 порядку *Chlorococcales*). Следующим по видовой насыщенности является класс *Pennatophyceae* – 17 видов. Остальные классы представлены 1–3 видами.

В результате исследований 2017 г. в планктоне реки Лососна выявлено 25 видов и разновидностей водорослей из 4 отделов 8 классов

10 порядков 20 семейств 19 родов. Преобладают представители отделов *Chlorophyta* и *Bacillariophyta* – 12 и 8 видов соответственно, представители отдела *Cyanophyta* – 2 вида, *Xanthophyta* – 3 вида.

Как и в предыдущие годы, класс *Protococcophyceae* обладает самой высокой видовой насыщенностью – сюда входит 10 видов, что составляет чуть меньше половины от всех выявленных видов (они относятся к 6 родам, 8 семействам и 1 порядку *Chlorococcales*). Чаще всего встречались виды рода *Scenedesmus*. Следующим по видовой насыщенности является класс *Pennatophyceae* – 6 видов, большинство относится к роду *Gomphonema*. Остальные классы представлены 1–3 видами.

Столь низкое видовое разнообразие представителей планктона, возможно, связано с начавшимся в конце 2016 г. благоустройством прибрежных территорий реки Лососна (ликвидация огородов и хозяйственных построек в городском районе «Фолюш»). Бытовой и строительный мусор не всегда своевременно вывозили на полигон твердых коммунальных отходов, а иногда просто сжигали или закапывали в прибрежной полосе. Также в исследуемом году река Лососна получила врезку ливневой канализации с нового микрорайона «Ольшанка».

В 2018 г. в планктонном сообществе выявлен 61 вид водорослей из 5 отделов 9 классов 10 порядков 26 семейств 35 родов. Тенденция преобладающих отделов в видовом составе не изменилась: представители отделов *Chlorophyta* и *Bacillariophyta* составили 36 (51% общего видового богатства) и 18 (35%) видов соответственно, отдел *Cyanophyta* представлен 4 видами, *Xanthophyta* – 3 видами, *Euglenophyta* – 1 видом.

Всего за 4 вегетационных сезона 2015–2018 гг. в фитопотамопланктоне было выявлено 87 видов из 42 родов, 29 семейств, 12 порядков, 10 классов, 6 отделов.

Во все годы, с учетом ранних исследований (2008, 2013 гг.), наибольшим видовым разнообразием характеризовались 2 отдела: *Chlorophyta* и *Bacillariophyta*. Таким образом, в планктоне реки Лососна доминирует хлорофитово-диатомовый комплекс водорослей. Такая структура фитопланктона характерна для многих малых и средних рек Европы [Таксономическая и эколого-географическая структура фитопланктона..., 2011; Komissarov, Korneva, 2015; Mądrecka, Szelaż-Wasielewska, 2017]. На третьем месте по видовому разнообразию, как правило, находится отдел *Euglenophyta* или *Cyanophyta*. Относительное таксономическое разнообразие классов водорослей планктона малых городских рек Лососна и Городничанка [Саввова, Прибыловская, 2018] представлено в табл. 1.

Таблица 1

Видовая насыщенность классов водорослей потамопланктона рек Лососна и Городничанка
[Species saturation of classes of potamoplankton of Lososna and Gorodnichanka rivers]

Класс [Class]	Количество видов [Number of species]					
	Лососна [Lososna]			Городничанка, 2016–2017 гг. [Gorodnichanka, 2016–2017]		
	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.		
<i>Protococophyceae</i>	32 / 51%	31 / 52%	10 / 40%	33 / 54%		4 / 19%
<i>Conjugatophyceae</i>	1 / 2%	2 / 3%	1 / 4%	2 / 3%		–
<i>Volvocophyceae</i>	1 / 2%	1 / 2%	1 / 4%	1 / 2%		–
<i>Pennatophyceae</i>	18 / 29%	17 / 28%	6 / 24%	17 / 28%		5 / 24%
<i>Centrophyceae</i>	2 / 3%	2 / 3%	2 / 8%	1 / 2%		–
<i>Normoniophyceae</i>	5 / 8%	3 / 5%	1 / 4%	2 / 3%		6 / 29%
<i>Chamaesiphonophyceae</i>	–	1 / 2%	1 / 4%	1 / 2%		–
<i>Xanthotrichophyceae</i>	2 / 3%	3 / 5%	3 / 12%	3 / 5%		–
<i>Euglenophyceae</i>	1 / 2%	–	–	1 / 2%		6 / 29%
<i>Dinophyceae</i>	1 / 2%	–	–	–		–
Всего [Total number]	63 / 100%	60 / 100%	25 / 100%	61 / 100%		21 / 100%

Наиболее таксономически насыщенными классами в течение 2015–2018 гг. в планктоне реки Лососна, несмотря на колебания общего видового разнообразия, являлись *Protococrophyceae* (40–54%) из зеленых водорослей и *Pennatophyceae* (24–29%) из диатомовых, что может свидетельствовать о стабильности альгоценоза. Структура фитопотамопланктона Городничанки заметно отличается присутствием эвгленовых водорослей во всех пробах и почти равным таксономическим разнообразием 4 классов.

Что касается сезонной динамики видового разнообразия фитопланктона, то наибольшее число видов во все годы исследования наблюдается в наиболее благоприятный термический период – в конце июля или начале августа. Весной и осенью в составе доминант находятся почти исключительно диатомеи. К осени отмечено снижение видового разнообразия, что связано с выпадением части активных видов из альгоценозов с сезонным угасанием вегетации. Данная сукцессия типична для рек умеренного пояса.

Из всех найденных за четыре вегетационных сезона водорослей 54% представляли планктонно-бентосную группировку, 20% – бентосную и только 14% выявленных видов являются типично планктонными. Остальные представители не имеют четкой приуроченности к местообитанию. Такое положение неудивительно, т.к. в обстановке лотического водоема истинный планктон практически отсутствует. Ядро речного фитопланктона, как правило, составляют случайно планктонные виды, попадающие в планктон из бентоса посредством турбулентности течения и взмучивания донных осадков.

В составе потамопланктона преобладают космополиты (77%), но также представлены голарктические (3%) виды.

Среди выявленных видов водорослей примерно 58% являются индикаторами органического загрязнения вод. Больше всего индикаторов умеренного органического загрязнения – β -мезосапробионтов (29%), олиго- α -мезосапробионтов – 20%, β -олигосапробионтов – 11% и олигосапробионтов – 11% [Таранова, 2017].

Практически во всех пробах присутствовали виды родов *Scenedesmus* и *Ankistrodesmus*, являющиеся β -мезосапробионтами, а один вид *Scenedesmus obliquus* (Turp.) Kütz. – β -полисапробионт. Индексы сапробионности рассчитаны для всех проб (табл. 2).

Значения индексов, в основном, укладываются в диапазон 1,5–2,5, что соответствует β -мезосапробиотному типу. Несколько весенних образцов можно отнести даже к олигосапробиотной зоне (диапазон 1,0–1,5). Аналогичные индексы (от 1,72 до 2,21) были рассчитаны для малых рек бассейна Верхней Волги [Фролова, 2004].

**Индексы сапробности реки Лососна
[Saprobity indices of Lososna river]**

Год [Year]	Время отбора проб [Sampling time]						
	апрель [April]	май [May]	июнь [June]	июль [July]	август [August]	сентябрь [September]	октябрь [October]
2015	1,73	1,85	1,84	1,95	1,61	1,58	1,81
2016	1,32	1,76	1,63	1,52	1,81	1,45	1,58
2017	1,38	1,81	1,78	1,72	1,45	1,61	1,68
2018	1,33	1,78	1,66	1,65	1,52	1,60	1,49

На наш взгляд, в изменениях индексов не прослеживается никаких закономерностей: колебания зависят от погоды, состояния зооплankтона, от обстановки на водосборной площади. Главный источник воздействия на реку – рекреационный. Ни промышленных, ни других объектов, которые могли бы сильно изменить состояние водотока, вблизи нет. Все остальное – это бытовые отходы, надворные туалеты, удобрения с огородов, мусор после пикников и так далее. Вероятно, наибольшее влияние на экосистему реки оказывает расположенное выше по течению водохранилище Юбилейное (0,41 км²), которое является одним из самых популярных мест отдыха горожан летом. Ранее на водохранилище ежегодно в середине лета наблюдалось «цветение» воды, вызываемое цианобактериями из родов *Anabaena*, *Microcystis*, *Aphanizomenon*, и выносился запрет на купание до улучшения качества воды. Однако после проведенных в 2013 г. мероприятий [высадка эйхорнии (*Eichhornia crassipes*), заселение растительоядных рыб, очистка берегов] ситуация на водохранилище несколько улучшилась: «цветение» несколько лет не наблюдалось совсем, а в последние годы носит локальный характер.

В соответствии со значениями индекса вода реки Лососна соответствует 4 рангу и III классу качества воды (удовлетворительной чистоты) [Баринава, Медведева, Анисимова, 2006]. Таким образом, изменения в экосистеме на данный момент можно характеризовать как обратимые, однако возможен переход в другое состояние, другой этап развития. И сценарий этого развития полностью зависит от уровня антропогенного прессинга.

Кстати, рассчитанный индекс сапробности в реке Городничанка (2,43) соответствует верхней границе β-мезосапробной зоны. Поскольку река

протекает через самый центр города, одним из основных источников загрязнения там являются дождевые стоки, особенно в зимний период, когда они содержат соль и противогололедные реагенты. Перспективы развития этой реки гораздо более пессимистичные.

Выводы

Видовое разнообразие фитопланктона реки Лососна представлено 87 видами из 6 отделов. Наибольшим видовым разнообразием характеризуются отделы *Chlorophyta* (55% от общего видового богатства) и *Bacillariophyta* (32%). Несмотря на колебания общего числа выявленных видов по годам, структура фитопланктона оставалась стабильной в течение всего периода исследований. Рассчитанные индексы сапробности соответствуют β -мезосапробному типу, что позволяет отнести воду реки Лососна к 4 рангу и III классу качества вод (удовлетворительной чистоты). Такие экосистемы, самоочищенные до природного фона [Баринаова, Медведева, Анисимова, 2006], являются достаточно стабильными. При оптимистичном развитии событий (усиление контроля за соблюдением водоохраной зоны, периодическая очистка русла от мусора, сокращения точек сброса загрязняющих веществ и т.д.) возможно снижение сапробности реки Лососна, что позволит восстановить водную экосистему до уровня, пригодного для обитания ручьевой форели, которая водилась в ней до недавнего времени.

Библиографический список / References

Адамович Б.В., Сенникова В.Д., Копылова Т.В. Использование методов биологической индикации и показателей структурной организации планктонных сообществ при характеристике качества воды в лотических системах // Водные экосистемы: трофические уровни и проблемы поддержания биоразнообразия: Материалы IV Всероссийской конференции с международным участием. Вологда, 2008. С. 126–130. [Adamovich B.V., Sennikova V.D., Kopylova T.V. Use of methods of biological indication and indicators of structural organization of plankton communities in characterizing water quality in lotic systems. *Vodnye ekosistemy: troficheskie urovni i problemy podderzhaniya bioraznoobraziya*. Vologda, 2008. Pp. 126–130. (In Russ.)]

Баринаова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив, 2006. [Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anisimova O.V. *Bioraznoobrazie vodoroslei-indikatorov okruzhayushei sredy* [Biodiversity of algae-indicators of the environment.] Tel Aviv, 2006.]

Бiotестовый анализ – интегральный метод оценки качества объектов окружающей среды / Бубнов А.Г. и др. Иваново, 2007. [Bubnov A.G. et al. *Biotestovyi analiz – integralnyi metod otsenki kachestva obektov okruzhayushchei sredy* [Biotest analysis is an integral method of assessing the quality of environmental objects]. Ivanovo, 2007.]

Гончаров А.В. Фитопланктон малых рек Московского региона. Автореф. ... канд. биол. наук. М., 1994. [Goncharov A.V. Fitoplankton malykh rek Moskovskogo regiona [Phytoplankton of small rivers of the Moscow region. PhD theses.] Moscow, 1994].

Завадская Н.А. Фитопланктон реки Лососна (г. Гродно, Беларусь) // Актуальные проблемы экологии: Материалы X международной научно-практической конференции. Гродно, 2014. С. 26–27. [Zavadskaya N.A. Phytoplankton of the Lososna river (Grodno, Belarus). *Aktualnye problemy ekologii*. Grodno, 2014. Pp. 26–27. (In Russ.)]

Михеева Т.М. Альгофлора Беларуси. Таксономический каталог. Минск, 1999. [Miheeva T.M. Algoflora Belarusi. Taksonomiteskiy katalog [Algal flora of Belarus. Taxonomic catalogue]. Minsk, 1999.]

Михеева Т.М. Методы количественного учета нанофитопланктона (обзор) // Гидробиологический журнал. 1989. Т. 25. № 4. С. 3–21. [Miheeva T.M. Methods of quantitative accounting of nanophytoplankton. *Gidrobiologicheskii zhurnal*. 1989. Vol. 25. No. 4. Pp. 3–21. (In Russ.)].

Савова Ю.В., Прибыловская Н.С. Фитопланктон реки Городничанка (Гродно, Беларусь) // Методология, теория и практика современной биологии: Сборник материалов III Международной научно-практической конференции. Костанай, 2018. С. 279–282. [Savova Yu.V., Pribylovskaya N.S. The phytoplankton of the river Gorodnichanka (Grodno, Belarus). *Metodologiya, teoriya i praktika sovremennoy biologii*. Kostanai, 2018. Pp. 279–282. (In Russ.)]

Садчиков А.П. Методы изучения пресноводного фитопланктона. М., 2003. [Sadchikov A.P. Metody izucheniya presnovodnogo fitoplanktona [Methods of studying freshwater phytoplankton]. Moscow, 2003.]

Таксономическая и эколого-географическая структура фитопланктона двух малых рек Нижнего Новгорода / Воденеева Е.Л., Охалкин А.Г., Старцева Н.А., Рябова А.А. // Вестник Нижегородского университета. 2011. № 2. С. 40–44. [Vodeneeva E.L., Okhapkin A.G., Startseva N.A., Ryabova A.A. Taxonomic and ecological-geographical structure of phytoplankton of two small rivers of Nizhny Novgorod. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta*. 2011. No. 2. Pp. 40–44. (In Russ.)]

Таранова Е.А. Оценка степени сапробности реки Лососна (г. Гродно) по индикаторным организмам фитопланктона // Наука–2017: Сб. научных статей / Под ред. Г.М. Третьякова. Гродно, 2017. С. 35–38. [Taranova E.A. Assessment of the degree of saprobity of the Lososna river (Grodno) by indicator organisms of phytoplankton. *Nauka–2017*. G.M. Tretyakov (ed.). Grodno, 2017. Pp. 35–38. (In Russ.)].

Фролова Г.И. Фитопланктон малых рек Ярославской области: Автореф. дис. канд. биол. наук. М., 2004. [Frolova G.I. Fitoplankton malykh rek Yaroslavskoi oblasti [Phytoplankton of small rivers of Yaroslavl region]. PhD dis. Moscow, 2004.]

Komissarov A.B., Korneva L.G. Taxonomical structure, ecological and geographic characteristics of phytoplankton of the Tvertsa river (Russia). *International Journal on Algae*. 2015. No.17 (2). Pp. 149–158.

Mądrecka B., Szeląg-Wasielewska E. Mass development of phytoplankton in the River Warta in Poznań (Poland) in the 21st century. *Limnological Review*. 2017. No. 17 (5). Pp. 79–88.

Rodrigues L.C., Simoes N.R., Bovo-Scomparin V.M. et al. Phytoplankton alpha diversity as an indicator of environmental changes in a neotropical floodplain. *Ecological Indicators*. 2015. No. 4. Pp. 334–341.

Статья поступила в редакцию 20.11.2019, принята к публикации 03.01.2020
The article was received on 20.11.2019, accepted for publication 03.01.2020

Сведения об авторах / About the authors

Прибыловская Наталья Сергеевна – старший преподаватель кафедры ботаники факультета биологии и экологии, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Республика Беларусь

Natalia S. Pribylovskaya – Lecturer at the Department of Botany, Yanka Kupala State University of Grodno, Republic of Belarus

E-mail: ns-pribyl@yandex.ru

Марчик Татьяна Павловна – кандидат биологических наук; доцент кафедры экологии факультета биологии и экологии, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Республика Беларусь

Tatsiana P. Marchik – PhD in Biology; Associate Professor at the Department of Ecology, Yanka Kupala State University of Grodno, Republic of Belarus

E-mail: tnel05@yandex.by

Таранова Екатерина Алексеевна – магистрант факультета биологии и экологии, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Республика Беларусь

Ekaterina A. Taranova – undergraduate of the Department of Ecology, Yanka Kupala State University of Grodno, Republic of Belarus

E-mail: taranova_ea@mail.ru

Заявленный вклад авторов

Н.А. Прибыловская – общее руководство и организация исследования, анализ первичных данных, участие в подготовке статьи, участие в подготовке рисунков и таблиц

Т.П. Марчик – обзор данных по исследованиям, подготовка текста статьи, участие в анализе данных, подготовка рисунков и таблиц

Е.А. Таранова – участие в проведении полевых сборов и лабораторных исследований.

Contribution of the authors

N.S. Pribylovskaya – general direction and organization of research, analysis of primary data, participation in preparation of the text of the article, participation in the preparation of figures and tables.

T.P. Marchik – review of the research data text, preparation of the article text, participation in data analysis, preparation of figures and tables.

E.A. Taranova – participation in the field gatherings and the laboratory research.

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

DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-1-76-96

А.Н. Чащин, В.П. Жижилев

Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова,
614990 г. Пермь, Российская Федерация

Оценка сельскохозяйственного использования почв по данным дистанционного зондирования (Пермский край, на примере ООО «Крона-Агро»)

Для оперативной и точной оценки сельскохозяйственного использования почв эффективно использовать дистанционные методы исследований. Целью работы являлось оценить современное сельскохозяйственное использование почв по данным дистанционного зондирования Земли одного из типичных сельскохозяйственных предприятий Пермского края. Выполнена оцифровка крупномасштабной почвенной карты землепользования, оценена интенсивность зарастания почв древесной растительностью. На основе спутниковых данных выделены современные границы обрабатываемых почв. Основой для создания цифровой почвенной карты являлась отсканированная крупномасштабная почвенная карта ООО «Крона Агро» (Бардымский район, Пермский край), из дистанционных материалов использованы данные радиолокационной съемки SRTM и мультиспектральные снимки серии Landsat 5 (март 1988 г.), Landsat 8 (февраль 2018 г.) и Sentinel 2 (июль 2018 г.). Создание картографических материалов и обработка спутниковых снимков выполнялось в полнофункциональной ГИС с открытым кодом Quantum GIS. На территории хозяйства преобладают дерново-мелкоподзолистые почвы, а их площадь составляет 1448,1 га (27,3% от всей площади исследованной территории). В результате исследований установлено, что за период с 1988 по 2018 гг. произошло зарастание земель. Площадь зарастания составила 1575,9 га (29,7%). В залежное состояние

© Чащин А.Н., Жижилев В.П., 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



перешли дерново-слабоподзолистые (40%), дерново-бурые (50%) и дерново-карбонатные (10%) почвы. В результате анализа разновременной спутниковой информации нами установлена тенденция снижения обрабатываемых земель. Площадь пашни сократилась на 40%, при этом число полей уменьшилось с 35 до 26. В почвенном покрове существующих полей значительна доля почвенного покрова с сильной контрастностью.

Ключевые слова: почвенная карта, ГИС, данные дистанционного зондирования, почвенные карты землепользования, Пермский край

Для ЦИТИРОВАНИЯ: Чашин А.Н., Жижилев В.П. Оценка сельскохозяйственного использования почв по данным дистанционного зондирования (Пермский край, на примере ООО «Крона-Агро») // Социально-экологические технологии. 2020. Т. 10. № 1. С. 76–96. DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-1-76-96

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-1-76-96

A.N. Chashchin, V.P. Zhizhilev

Perm State Agro-Technological University
named after Academician D.N. Pryanishnikov,
Perm, 614990, Russian Federation

Assessment of the agricultural soil use by remote sensing (Perm Region, on the example of LLC “Krona-Agro”)

For rapid and accurate assessment of the agricultural soil use it is effective to use remote sensing methods. The aim of the work was to evaluate the modern agricultural use of soil according to the data of remote sensing of the Earth of one of the agricultural enterprises of Perm region. Digitization of a large-scale soil map of land use was carried out, the rate of soil overgrowing by woody and shrub vegetation was estimated. Based on satellite data, the modern boundaries of cultivated soils are identified. The basis for creating digital soil maps was the “Krone Agro” scanned soil map, the SRTM radar survey data of 2003 and multispectral images of the Landsat 5 series (March 1988), Landsat 8 (February 2018) and Sentinel 2 (July 2018) were used from remote materials. Creation

of cartographic materials and processing of satellite images was carried out in a full-featured open source GIS Quantum GIS. Soddy-podzolic soils predominate on the farm territory and their area is 1,448.1 hectares or 27.3%. As a result of study, it was found that over the period from 1988 to 2018, soil overgrowth occurred. The area of overgrowing was 1575,9 of the total area of the studied territory. Sod-brown (50%), sod-calcareous (10%) and sod-weakly podzolic (40%) soils passed into the fallow state. As a result of the analysis of multi-temporal satellite information, we have established a tendency to reduce arable land. The area of arable land was reduced by 40 percent, while the number of fields decreased from 35 to 26. In the soil cover of existing fields, the proportion of soil cover with a strong contrast ratio is significant.

Key words: soil map, GIS, remote sensing data, land use soil maps, Perm region

FOR CITATION: Chashchin A.N., Zhizhilev V.P. Assessment of the agricultural soil use by remote sensing (Perm Region, on the example of LLC «Krona-Agro»). *Environment and Human: Ecological Studies*. 2020. Vol. 10. № 1. Pp. 76–96. (In Russ.) DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-1-76-96

В структуре сельскохозяйственных угодий Пермского края используются различные типы почв, при этом распаханы в основном дерново-подзолистые [Воложанина, 1982]. Однако данная географическая информация быстро меняется, а площади обрабатываемых почв сокращаются. Для оперативной и точной оценки распаханности почв эффективно использовать дистанционные методы исследований [Peterson, 2004; Белорусцева, 2012, 2013; Каверин, 2016].

Цель исследований – по данным дистанционного зондирования оценить современное сельскохозяйственное использование почв одного из сельскохозяйственных предприятий Пермского края (ООО «Крона Агро», Бардымский район).

Объектом исследования являются почвы таежно-лесной зоны, части территории Бардымского района Пермского края в границах землепользования ООО «Крона-Агро». Общая площадь исследованной территории составляет 5306,9 га (рис. 1). Согласно Геоботаническому районированию (1989) участок исследований относится к Тулва-Иреньско-Краснокамском округу полосы подтаежных лесов Камско-Печорско-Западноуральской провинции Урало-Западносибирской таежной провинции. Растительность представлена широколиственно-пихтово-еловыми лесами: ель обыкновенная (*Picea abies* L.), пихта сибирская (*Abies sibirica* L.), во II ярусе древостой липы мелколистной (*Tilia cordata* L.), клена

остролистного (*Acer platanoides* L.) с травянистым покровом сибирских и уральских трав: борец высокий (*Aconitum septentrionale* L.), яснотка белая (*Lamium album* L.), реброплодник уральский (*Pleurospermum uralense* L.). Значительные площади занимают березняки и осинники. Климат характеризуется большим количеством осадков.

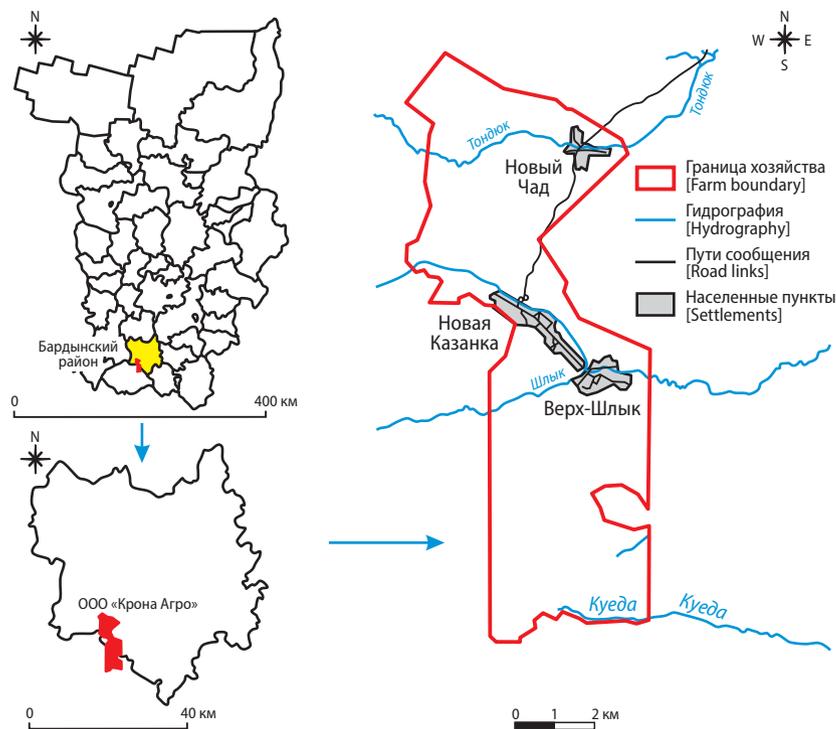


Рис. 1. Расположение ООО «Крона Агро» на территории Пермского края

Fig. 1. Location of Krona Agro in Perm region

В физико-географическом отношении территория расположена на Тулвенско-Прикамской возвышенности, которая является частью Русской равнины. Возвышенность представляет собой плато с хорошо разработанной гидрографической сетью, разделяющей территорию на ряд водоразделов. Отметка высот достигает 250–280 м. Тулвинская возвышенность располагается в междуречье р. Камы, р. Сылвы, р. Ирени и р. Тулвы. Основным геоморфологическим элементом рельефа

являются долины рек Тулвы и Барды, включающие широкие и низкие лога. Северные склоны длинные и пологие, южные и восточные – короткие и крутые. В разных направлениях территория пересечена многочисленными логами [Максимович, 1979].

По геологическому строению территория представлена отложениями казанского яруса верхней перми, состоящими из красно-бурых и коричнево-бурых пермских глин. Эти коренные породы покрыты толщей четвертичных отложений, верхние горизонты которых являются почвообразующими породами. Покровные некарбонатные глины и суглинки на водораздельных плато и склонах являются материнской породой для дерново-подзолистых почв. Элювии пермских глин на перегибах возвышенностей крутых склонов, где в результате древних эрозионных процессов смыт чехол четвертичных отложений, являются почвообразующими для дерново-бурых почв. Элювий известняков и мергелей встречается отдельными небольшими пятнами на вершинах возвышений, перегибах склонов и является материнской породой для дерново-карбонатных почв [Софроницкий, 1967]. Территория землепользования находится в зоне дерново-подзолистых почв, поэтому почвы подзолистого типа здесь занимают наибольшие площади.

История сельскохозяйственного освоения территории начата в 1938 г. – был организован колхоз «Маяк». Начиная с 2016 г. на данном землепользовании осуществляет выращивание кормовых культур ООО «Крона Агро», которое специализируется на молочном и мясомолочном животноводстве.

Результаты и обсуждение

Векторная почвенная карта ООО «Крона Агро» охватывает площадь 5306 га. При создании данной карты было оцифровано 330 контуров почв. В результате картометрических расчетов установлено, что на территории хозяйства преобладают дерново-мелкоподзолистые почвы, а их площадь составляет 1448,1 га или 27,3% (рис. 2).

Анализ одновременных спутниковых снимков Landsat, сделанных в зимний период, позволяет достоверно выявить покрытие почв древесной растительностью. По полученным данным, территория хозяйства на 50% покрыта древесной растительностью.

Используемыми в сельскохозяйственном производстве почвами являются: дерново-слабо- и мелкоподзолистые, дерново-бурые, дерново-глееватые. За период с 1988 по 2018 год произошло зарастание почв на площади 1575,6 га (рис. 3).

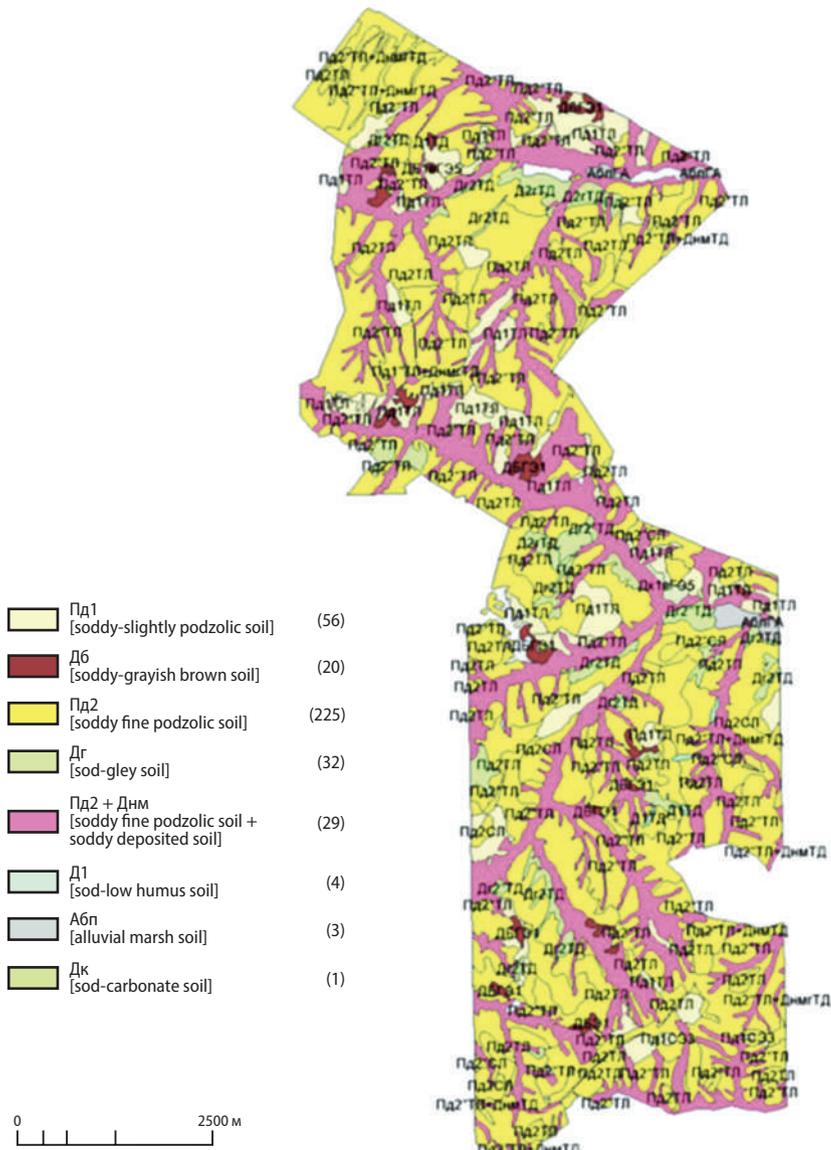


Рис. 2. Оцифрованная почвенная карта ООО «Крона Агро»

Fig. 2. Digitized soil land use map of «Krona Agro»

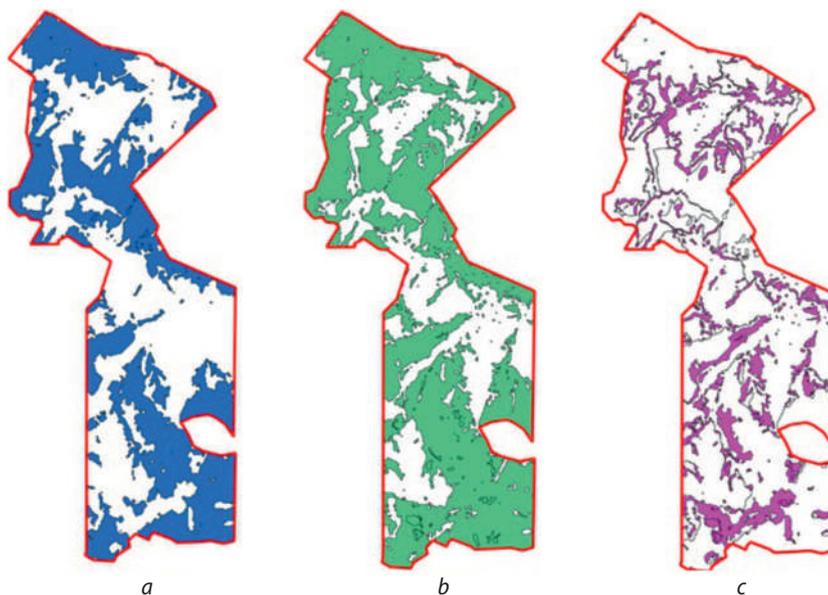


Рис. 3. Оценка интенсивности зарастания земель древесной растительностью: *a* – покрытие древесной растительностью в 1988 г. (2334,6 га); *b* – покрытие древесной растительностью в 2018 г. (3910,2 га); *c* – выявленная территория зарастания (1575,6 га)

Fig. 3. Estimation of the intensity of overgrowing land use by woody-shrubby vegetation:

a – coverage with woody vegetation in 1988 (2334.6 ha); *b* – coverage of woody vegetation in 2018 (3910.2 ha); *c* – identified area of overgrowing (1575.6 ha)

В результате совмещения почвенной карты и выявленных по спутниковым снимкам участков зарастания древесной растительностью, проведена оценка динамики зарастания в разрезе различных типов почв (рис. 4, табл. 1). Установлено, что этот процесс особенно выражен на комплексах дерново-подзолистых с дерновыми намытыми почвами, а также на дерново-мелкоподзолистых почвах. В основном зарастание пахотных земель вызвано тем, что они расположены на неудобных для механизированной обработки территориях: крутые склоны, склоны логов, участки овражно-балочного рельефа. Таким образом, в результате спутникового мониторинга установлено, что за 30 лет пахотные почвы хозяйства заросли на 40%.

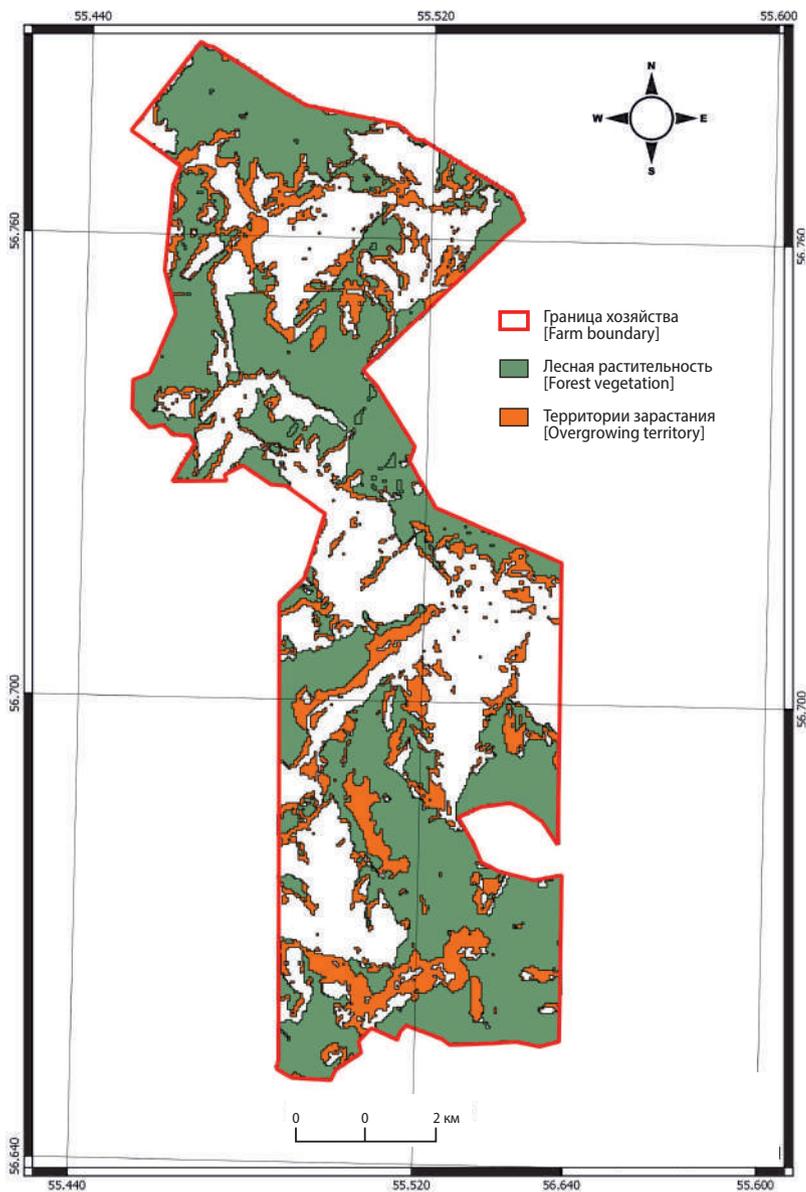


Рис. 4. Карта лесной растительности и территорий зарастания

Fig. 4. Map of forest vegetation and overgrown territories

Таблица 1

Интенсивность зарастания земель в разрезе почвенных контуров
[The intensity of land overgrowing in the context of soil contours]

Почва [Soil]	Общая площадь, га [Total area, ha]	Площадь покрытия лесной растительностью, 1986 г., га [Area covered by forest vegetation, 1986, ha]	Увеличение площади покрытия лесной растительностью, 2018 г., га [Increase in forest cover, 2018, ha]	Общая площадь зарастания [Total overgrowing area]	
				га [ha]	% от типа почвы [% of soil type]
АблГА [alluvial marsh]	40,2	13,70	6,00	19,70	49,0
Д1ТД [sod-low humus soil]	8,3	2,01	2,40	4,41	52,9
Д2ГТД [sod-gley soil]	165,8	52,00	50,60	102,60	63,4
Д2ТД [sod-medium humus soil]	5,3	1,70	2,30	4,00	76,2
ДБонГЭ5 [soddy grayish brown podzolized soil]	12,8	2,90	5,40	8,30	50,2
ДБГЭ1 [soddy-grayish brown clay]	40,2	20,20	9,60	29,80	74,1
ДБТЭ1 [soddy-grayish brown heavy loamy]	9,4	2,90	2,60	5,50	58,6
Др2ПТД [sod-gley medium powerful soil]	43,2	16,80	10,80	27,60	63,8
Дк1вГЭ5 [sod-carbonate]	8,8	1,90	2,030	3,93	44,6

Пд1Т1+ДнмТД [soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit + soddy deposited]	1409,0	1159,99	200,90	1360,89	96,6
Пд1СЛ [soddy-slightly podzolic medium loamy soil on loess-like deposit]	9,2	1,80	3,60	5,40	58,5
Пд1СЭ3 [soddy-slightly podzolic medium loamy soil on eluvium of sandstones]	17,4	3,70	5,80	9,50	54,7
Пд1ТЛ [soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit]	425,1	58,90	308,80	367,70	86,5
Пд1ТЭ1 [soddy-slightly podzolic medium heavy soil on Permian clay eluvium]	6,3	0,70	2,80	3,50	55,2
Пд2СЛ [soddy fine podzolic medium loamy soil on loess-like deposit]	86,3	4,90	35,90	40,80	47,3
Пд2ТЛ [soddy fine podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit]	1227,7	460,90	427,37	888,27	72,4
Пд2СЛ [soddy fine podzolic medium loamy soil on loess-like deposit]	163,9	30,90	6,90	37,80	23,1
Пд2ТЛ [soddy fine podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit]	1419,2	498,70	491,80	990,50	69,8
Итого [Total]	5098,1	2334,60	1575,60	3910,20	

Процесс естественного зарастания в основном происходит следующими видами деревьев: ель обыкновенная (*Picea abies* L.), береза пушистая (*Betula pubescens* L.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), черемуха обыкновенная (*Prunus padus* L.). При зарастании почв может происходить изменение их морфологических признаков, физических и физико-химических свойств в верхнем пахотном горизонте. Возможно, что будет происходить накопление гумуса и улучшение показателей структурно-агрегатного состава в верхнем слое. На заброшенной пашне при восстановлении естественной растительности возникают почвы, которые могут отличаться от почв зонального типа и от обрабатываемых почв. Наиболее существенные изменения отмечаются в особенностях иллювиально-элювиального дифференцирования профиля дерново-подзолистых почв.

В результате анализа разновременной спутниковой информации нами выявлена тенденция снижения обрабатываемых земель. Площадь пашни сократилась на 40%, при этом число полей уменьшилось с 35 до 26. Поэтому оценка сельскохозяйственного использования почв по данным дистанционного зондирования была проведена для обрабатываемых в хозяйстве территорий по 26 объектам (рис. 5).

Анализ рельефа обрабатываемых полей (рис. 6) показал преобладание на них небольшого уклона в 1–3°, однако на полях 21, 23, 24 средний уклон в 4–5 градусов может усиливать эрозию при неправильной обработке почв. Экспозиция склонов в пределах полей значительно варьирует, но выделяются поля преимущественно южной экспозиции (12, 23, 25), которые раньше других будут готовы к весенним полевым работам. Рассчитанный на основе цифровой модели рельефа топографический индекс влажности (TWI) свидетельствует о неблагоприятных водно-физических свойствах почв полей 1, 2, 6–8, 10 и 14. На данных полях встречаются контуры дерново-глеватых почв. Большинство почв территории согласно TWI относится к автоморфным.

Характеристика структуры почвенного покрова сельскохозяйственных полей проведена с использованием коэффициента контрастности почвенного покрова [Скрябина, 2007] и представлена в табл. 2. Большинство полей характеризуются среднеконтрастным почвенным покровом, но при этом доля сильноконтрастных участков значительна (10 из 26 полей). Крайне контрастный почвенный покров наблюдается на поле 13. Внутри этого поля встречаются почти все таксономические единицы почв ООО «Крона Агро».

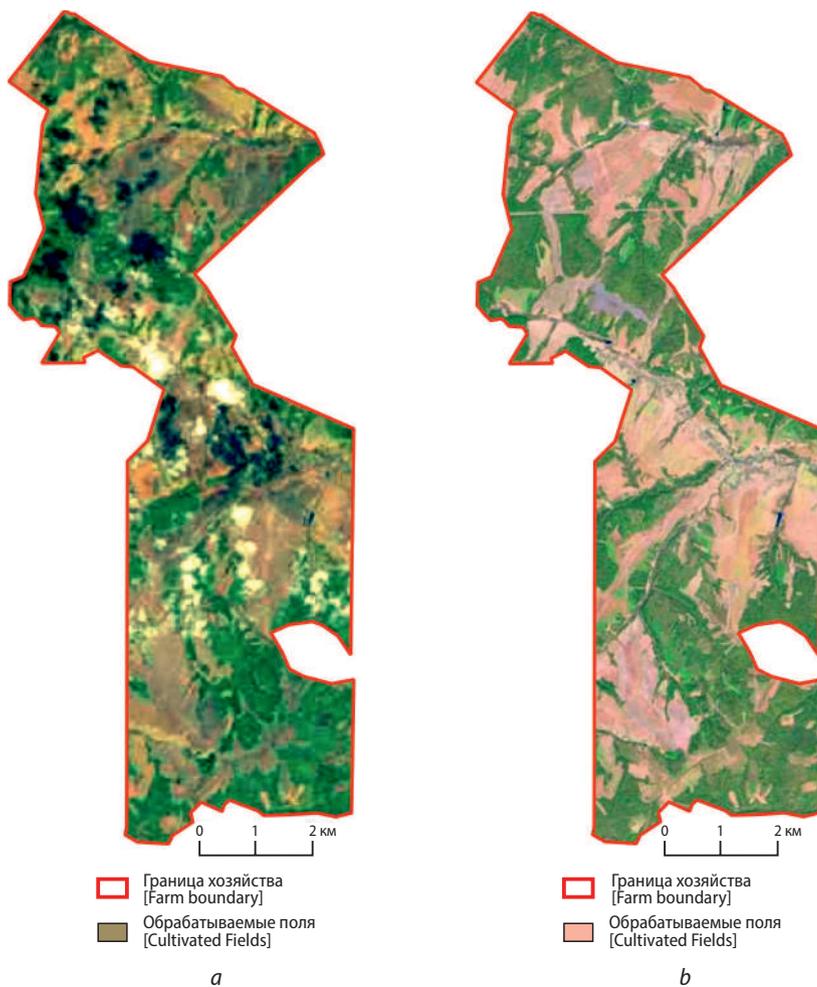


Рис. 5. Идентификация динамики распаханности земель:

a – маска снимка Landsat 5 в границах хозяйства, 1985 г. (общая площадь полей – 2763,5 га, количество полей – 35);

b – маска снимка Sentinel 2 в границах хозяйства, 2018 г. (общая площадь полей – 2763,5 га, количество полей – 26)

Fig. 5. Identification of the dynamics of plowing land use:

a – a mask of the Landsat 5 image within the farm, 1985 (total field area – 2763.5 ha, number of fields – 35); *b* – a mask of the Sentinel 2 image within the boundaries of the holding, 2018 (total field area – 2763.5 ha, number of fields – 26)

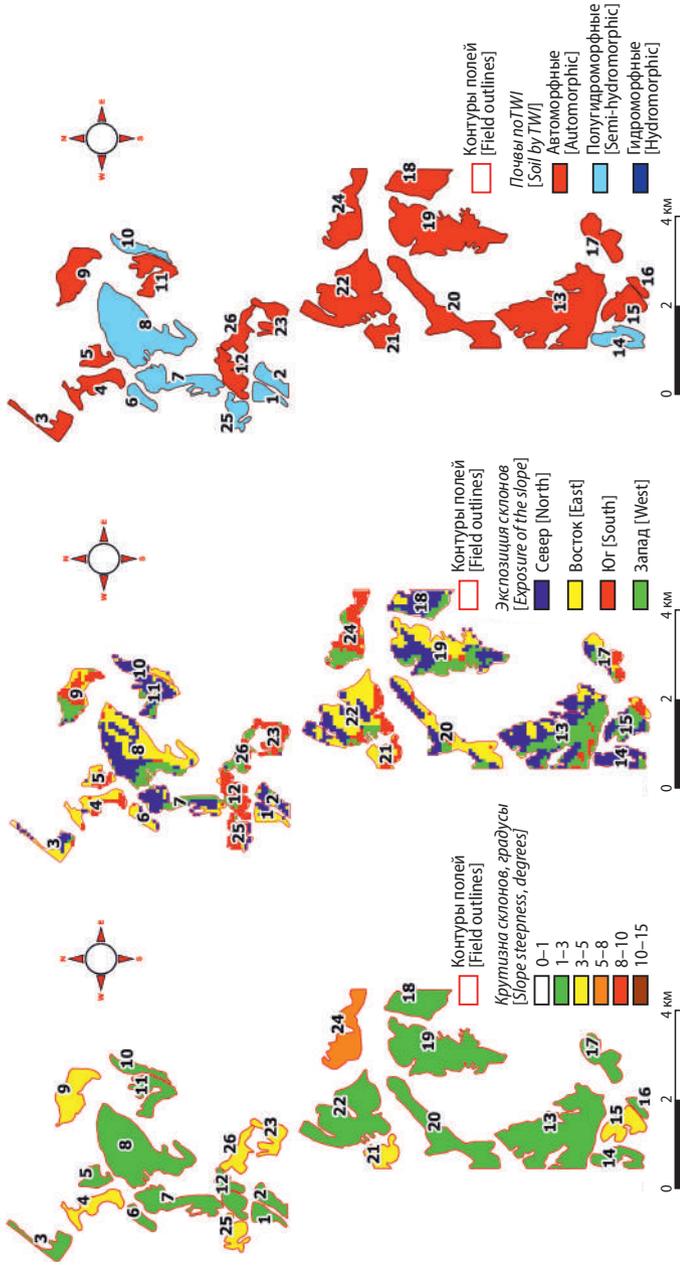


Рис. 6. Геоморфологические условия обрабатываемых полей по данным SRTM 90:

a – крутизна склона (среднее по полям); *b* – экспозиция склона; *c* – топографический индекс влажности

Fig. 6. Terrain conditions of cultivated fields according to SRTM 90:

a – slope steepness (field average); *b* – exposure of the slope; *c* – topographic wetness index

Таблица 2

Структура почвенного покрова обрабатываемых полей ООО «Крона Агро»
[The structure of the soil cover of the cultivated fields of Krona Agro]

Номер поля [Field number]	Почвы [Soil]	Коэффициент контрастности почвенного покрова [Soil Contrast Ratio]	Степень контрастности почвенного покрова [The degree of contrast of the soil cover]
1	Пд2ТЛ+Днм, Пд2ТЛ, Пд2ТЛ, Др2ТД [soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit + soddy deposited, soddy fine podzolic medium loamy soil on loess-like deposit, sod-gley]	3,2	Средне контрастный [Medium contrast]
2	Др2ТД, Пд2ТЛ+ДнмгТД, Пд2ТЛ [sod-gley, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit + soddy deposited, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit]	3,4	Средне контрастный [Medium contrast]
3	Пд2ТЛ+ДнмгТД, Пд2ТЛ, Пд2ТЛ [sod-gley, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit + soddy deposited, sod-gley, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit]	4,1	Средне контрастный [Medium contrast]
4	Пд2СЛ, Пд2ТЛ, ДБ1вГЭ5, ДБ1вГЭ5, Пд2ТЛ+ДнмгТД, Пд1ТЛ, Др2ТД [soddy fine podzolic medium loamy soil on loess-like deposit, soddy fine podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit soddy grayish brown podzolized soil, sod-gley, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit + soddy deposited, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit, sod-gley soil]	5,6	Сильно контрастный [High contrast]

Продолжение табл. 2

Номер поля [Field number]	Почвы [Soil]	Коэффициент контрастности почвенного покрова [Soil Contrast Ratio]	Степень контрастности почвенного покрова [The degree of contrast of the soil cover]
5	Пл1ТЛ, Д1ТД, Пл2ТЛ+ДнмТД, ДБ1вГЭ5, Пл2ТЛ [soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like humus soil, sod-gley, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit + soddy deposited, soddy grayish brown podzolized soil, soddy fine podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit]	5,1	Сильно контрастный [High contrast]
6	Пл2ТЛ, Пл2ТЛ+ДнмТД, Пл2ТЛ [soddy fine podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit, sod-gley, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit + soddy deposited]	4,8	Средне контрастный [Medium contrast]
7	Пл2ТЛ, Пл2ТЛ, Пл2ТЛ+ДнмТД, Пл1ТЛ [soddy fine podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit, sod-gley, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit + soddy deposited, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit]	5,3	Сильно контрастный [High contrast]
8	Пл2ТЛ, Пл1ТЛ, Пл2ТЛ+ДнмТД, Дг2ТД, Пл2ТЛ, Пл1СЛ [soddy fine podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit, sod-gley, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit + soddy deposited, sod-gley soil, soddy fine podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit, soddy-slightly podzolic medium loamy soil on loess-like deposit]	5,7	Сильно контрастный [High contrast]
9	Пл1ТЛ, АблА, Пл2ТЛ, ДБГЭ1, Пл2ТЛ+ДнмТД [soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit, alluvial marsh, soddy fine podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit, soddy-grayish brown clay, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit + soddy deposited]	5,2	Сильно контрастный [High contrast]

10	Пл1ТЛ, Пл2ТЛ+ДнмГД, Пл2ТЛ, Пл2ТЛ, Пл2ТЛ, Пл2ТЛ [soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit, sod-gley, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit + soddy deposited, soddy fine podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit]	5,1	Сильно контрастный [High contrast]
11	Пл2ТЛ, Пл2ТЛ+ДнмГД, Пл2ТЛ [sod-gley, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit + soddy deposited, soddy fine podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit]	4,1	Средне контрастный [Medium contrast]
12	Пл1ТЛ, Пл2СЛ, ДБ2вГЭ5, ДБГЭ5, Пл2ТЛ+ДнмГД, Пл2ТЛ, Пл2ТЛ [soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit, soddy fine podzolic medium loamy soil on loess-like deposit, soddy grayish brown podzolized soil, soddy-grayish brown clay, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit + soddy deposited, soddy fine podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit]	6,2	Сильно контрастный [High contrast]
13	Др2ГД, ДБГЭ1, Пл2ТЛ, Пл1ТЛ, Пл2ТЛ, Пл2ТЛ+ДнмГД, Др2ГД, ДБТЭ1, Пл2СЛ [sod-gley soil, soddy-grayish brown clay, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit, soddy fine podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit + soddy deposited, sod-gley soil, soddy-grayish brown heavy loamy, soddy fine podzolic medium loamy soil on loess-like deposit]	7,1	Крайне контрастный [Extremely contrast]
14	Пл2ТЛ+ДнмГД, Пл2ТЛ, Пл2СЛ, Пл2СЛ [sod-gley, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit + soddy deposited, sod-gley, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit, sod-gley, soddy-slightly podzolic medium loamy soil on loess-like deposit]	3,9	Средне контрастный [Extremely contrast]
15	Пл2ТЛ, Др2ГД, Пл2ТЛ+ДнмГД [soddy fine podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit, sod-gley soil, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit + soddy deposited]	3,2	Сильно контрастный [Medium contrast]

Окончание табл. 2

Номер поля [Field number]	Почвы [Soil]	Коэффициент контрастности почвенного покрова [Soil Contrast Ratio]	Степень контрастности почвенного покрова [The degree of contrast of the soil cover]
16	Пд2ТЛ, Пд2ТЛ [soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit]	2,7	Слабо контрастный [Weak contrast]
17	Пд2ТЛ+ДнмгТД, Пд2ТЛ, Пд1ТЛ, Пд2ТЛ, Пд1СЭ3 [sod-gley, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit + soddy deposited, soddy fine podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit, soddy-slightly podzolic medium loamy soil on eluvium of sandstones]	4,2	Средне контрастный [Medium contrast]
18	Пд2ТЛ, Пд2ТЛ+ДнмгТД, Пд2СЛ, Др2ТД, Пд1ТЛ [sod-gley, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit + soddy deposited, soddy fine podzolic medium loamy soil on loess-like deposit, sod-gley soil, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit]	4,3	Средне контрастный [Medium contrast]
19	Пд2ТЛ, Пд1ТД, Пд2ТЛ, Др2ТД, ДБГЭ1, Др2ТД, Пд1ТД [soddy fine podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit sod-low humus soil, sod-gley soil, soddy-grayish brown clay]	4,0	Средне контрастный [Medium contrast]
20	Пд2СЛ, Пд2ТЛ, Пд1ТЛ, Др2ТД, Пд2ТЛ+ДнмгТД, Пд2ТЛ [soddy fine podzolic medium loamy soil on loess-like deposit, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit, sod-gley soil, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit + soddy deposited, soddy fine podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit]	5,1	Средне контрастный [Medium contrast]
21	Пд2ТЛ+ДнмгТД, Пд2ТЛ, Пд2ТЛ [sod-gley, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit + soddy deposited, soddy fine podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit]	3,6	Сильно контрастный [High contrast]

22	Д2ТД, Пд2ТЛ+ДнмТД, Пд1ТЛ, Пд2ТЛ, ДБГЭ1, Д2ТД [sod-gley soil, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit + soddy deposited, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit, soddy fine podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit, soddy-grayish brown clay, sod-medium humus soil]	4,4	Средне контрастный [Medium contrast]
23	Пд2ТЛ+ДнмТД, Пд2ТЛ, ДБГЭ1, Пд1ТЭ1, Пд1ТЛ, Пд1СЭ3 [sod-gley, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit + soddy deposited, soddy fine podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit, soddy-grayish brown clay, soddy-slightly podzolic medium heavy soil on Permian clay eluvium, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit, soddy-slightly podzolic medium loamy soil on eluvium of sandstones]	4,8	Средне контрастный [Medium contrast]
24	Др2ТД, Пд2ТЛ+ДнмТД, Дк1вГЭ5, Пд2ТЛ, Пд1СЭ3, Пд1ТЛ, Пд2ТЛ, Абл1А, ДБГЭ1 [sod-gley soil, sod-gley, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit + soddy deposited, sod-carbonate, soddy fine podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit, soddy-slightly podzolic medium loamy soil on eluvium of sandstones, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit, soddy fine podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit, alluvial marsh, soddy-grayish brown clay]	6,0	Сильно контрастный [High contrast]
25	Пд2ТЛ, Пд2ТЛ+ДнмТД, Пд1ТЛ [soddy fine podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit, sod-gley, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit + soddy deposited, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit]	3,3	Средне контрастный [Medium contrast]
26	Пд2ТЛ+ДнмТД, Пд2ТЛ, Пд1ТЛ, Пд1СЭ3 [sod-gley, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit + soddy deposited, soddy fine podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit, soddy-slightly podzolic heavy loamy soil on loess-like deposit, soddy-slightly podzolic medium loamy soil on eluvium of sandstones]	3,8	Средне контрастный [Medium contrast]

Выводы

На основе дистанционных и картографических материалов проведен анализ сельскохозяйственного использования почв одного из типичных хозяйств Пермского края. За период с 1988 по 2018 г. произошло зарастание почв на площади 1575,9 га.

В залежное состояние перешли в основном дерново-слабоподзолистые (40%) и дерново-бурые (50%) почвы. Кроме этого, значительная часть весьма ценных для данной территории дерново-карбонатных почв (10%) оказалась покрыта лесной растительностью и выбыла из сельскохозяйственного оборота. При этом происходит интенсивное использование преобладающих дерново-мелкоподзолистых почв – по дистанционным материалам они обрабатываются ежегодно. Несмотря на неблагоприятные водно-физические свойства, о которых свидетельствуют повышенные значения топографического индекса влажности, некоторые дерново-глееватые почвы также продолжают обрабатываться.

Площадь пашни сократилась на 40%, при этом число полей уменьшилось с 35 до 26. В почвенном покрове существующих полей значительная доля почвенного покрова с сильной контрастностью, что обусловлено сложным рельефом и пестротой почвообразующих пород. На каждом «сильноконтрастном» поле рекомендуется провести почвенное обследование в детальном масштабе и на основе полученных карт выполнить агроэкологическую типизацию земель. Выделение агроэкологических групп позволит разделить поля с сильной контрастностью почв на производственные участки небольших размеров с рациональным набором агротехнических мероприятий.

Библиографический список / References

Анализ взаимосвязи почвенных условий и характера стихийного облесения земель сельскохозяйственного назначения на территории Республики Мордовия с использованием спутниковых снимков LANDSAT / Каверин А.В., Вдовин Е.С., Василькина Д.Н., Левашкина О.М. // Материалы Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС». 2016. Вып. 22. Ч. 2. С. 103–112. [Kaverin A.V., Vdovin E.S., Vasilkina D.N., Levashkina O.M. Analysis of the relationship between soil conditions and the nature of spontaneous afforestation of agricultural land in the Republic of Mordovia using satellite imagery LANDSAT. *Proceedings of the International Conference "InterCarto. InterGIS"*. 2016. Vol. 22. Part 2. Pp. 103–112. (In Russ.)]

Белорусцева Е.В. Мониторинг земель сельскохозяйственного назначения Нечерноземья с применением ГИС-технологий: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2013. [Belorustseva Ye.V. *Monitoring zemel selskokhozyaystvennogo naznacheniya Nечерноземья s primeneniem GIS-tekhnologiy* [Monitoring

of agricultural land of non-chernozem region with the use of GIS technologies]. PhD theses. Moscow, 2013.]

Белорусцева Е.В. Мониторинг состояния сельскохозяйственных угодий Нечерноземной зоны Российской Федерации // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 1. С. 57–64. [Belorustseva Ye.V. Monitoring of the state of agricultural lands in the Non-chernozem zone of the Russian Federation. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2012. Vol. 9. No. 1. Pp. 57–64. (In Russ.).]

Вологжанина Т.В., Москвитин М.В., Бутенко В.Ф. Почвенно-географическое районирование и структура почвенного покрова Пермской области // Научные основы повышения плодородия почв: Межвуз. сб. науч. тр. Пермь, 1982. С. 3–8. [Vologzhanina T.V., Moskvitin M.V., Butenko V.F. Soil-geographical zoning and soil cover structure of the Perm Region. *Nauchnye osnovy povysheniya plodorodiya pochv*. Perm, 1982. Pp. 3–8. (In Russ.).]

Геоботаническое районирование Нечерноземья европейской части РСФСР / Отв. ред. В.Д. Александрова, Т.К. Юрковская. Л., 1989. [Geobotanicheskoye rayonirovaniye Nechernozem'ya Evropeyskoy chasti RSFSR [Geobotanical zoning of the non-chernozem region of the European part of the Russian Soviet Federative Socialist Republic]. V.D. Aleksandrova, T.K. Yurkovskaya (eds.). Leningrad, 1989.]

Документация QGIS 2.0. URL: <http://docs.qgis.org/2.0/ru/docs/index.html> (дата обращения: 14.10.2018) [QGIS 2.0 Documentation. URL: <https://www.qgis.org/en/docs/>]

Дубинин М. Получение бесплатных космических снимков Landsat TM, ETM+ через Glovis. 2011. URL: <http://gis-lab.info/qa/landsat-glovis.html> (дата обращения: 14.10.2017). [Dubinin M. Poluchenie besplatnykh kosmicheskikh snimkov Landsat TM, ETM+ cherez Glovis [Obtaining free satellite images of Landsat TM, ETM+ via Glovis]. 2011. URL: <http://gis-lab.info/qa/landsat-glovis.html>]

Максимович Г.А. Геоморфологическая карта Пермской области // Информационный листок ЦНТИ. Пермь, 1979. № 179. [Maksimovich G.A. Geomorphological map of Perm Region. *Informatsionnyy listok TSNTI*. Perm, 1979. No. 179. (In Russ.).]

Суттон Т., Дассау О., Суттон М. Краткое введение в ГИС / Пер. А. Еськова. URL: <https://gis-lab.info/qa/gentle-intro-gis.html> (дата обращения: 17.09.2019). [Sutton T., Dassau O., Sutton M. *Kratкое vvedenie v GIS* [A Gentle Introduction to GIS]. A. Eskov (translation into Russian). URL: <https://gis-lab.info/qa/gentle-intro-gis.html>]

Скрябина О.А. Структура почвенного покрова, методы ее изучения: Учебное пособие. Пермь, 2007. [Skriabina O.A. *Struktura pochvennogo pokrova, metody ee izucheniya* [The structure of the soil cover, methods of its study]. Tutorial. Perm, 2007.]

Софронитский Т.А. Геологический очерк // Химическая география вод и гидрохимия Пермской области. Пермь, 1967. С. 26–41. [Sofronitsky T.A. Geological feature article. *Khimicheskaya geografiya vod i gidrokimiya Permskoy oblasti*. Perm, 1967. Pp. 26–41. (In Russ.).]

Шихов А.Н., Черепанова Е.С., Пьянков С.В. Геоинформационные системы: методы пространственного анализа: Учебное пособие. Пермь, 2017. [Shikhov A.N., Cherepanova E.S., Pyankov S.V. *Geoinformatsionnye sistemy: metody prostranstvennogo analiza* [Geographic information systems: Spatial analysis methods]. Tutorial. Perm, 2017.]

Peterson U., Pussa K., Liira J. Issues related to delineation of forest bound aeries on Landsat Thematic Mapper winter images. *International Journal of Remote Sensing*. 2004. Vol. 25. No. 24. Pp. 5617–5628.

Статья поступила в редакцию 14.08.2019, принята к публикации 05.10.2019
The article was received on 14.08.2019, accepted for publication 05.10.2019

Сведения об авторах / Information about authors

Чашин Алексей Николаевич – кандидат биологических наук; доцент кафедры почвоведения, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова

Aleksey N. Chashchin – PhD in Biology; Associate Professor at the Department of Soil Science, Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov

E-mail: chascshin@mail.ru

Жижилев Владимир Петрович – магистрант кафедры почвоведения, Пермский государственный аграрно-технологический университет, г. Пермь

Vladimir P. Zhizhilev – Master student of the Department of Soil Science, Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov

E-mail: vlad.jjilew@yandex.ru

Заявленный вклад авторов

А.Н. Чашин – общее руководство направлением исследования, планирование исследования, анализ сельскохозяйственного использования почв по данным дистанционного зондирования, подготовка текста статьи

В.П. Жижилев – выполнение картографических материалов, получение данных дистанционного зондирования, изучение растительности на зарастающих площадях, оценка структуры почвенного покрова обрабатываемых полей

Contribution of the authors

A.N. Chashchin – general direction of the research, planning of the research, analysis soil use in agricultural according to remote sensing data, preparation of the text of the article.

V.P. Zhizhilev – creation of cartographic materials, obtaining remote sensing data, studying vegetation in the field on overgrown areas, assessing the structure of the soil cover of cultivated fields

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

DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-1-97-110

Н.Ю. Власенко

Тверской государственный технический университет,
170026 г. Тверь, Российская Федерация

Исследование личностного адаптационного потенциала и его физиологических коррелятов у пожарных-спасателей

Проблема адаптации человека выступает связующим звеном в междисциплинарных исследованиях. Цель работы: анализ взаимосвязи между психологическими и физиологическими параметрами адаптационного потенциала и состояния организма у пожарных-спасателей с разным стажем службы. В обследовании приняли участие 235 пожарных-спасателей мужского пола в возрасте от 25 до 45 лет со стажем службы от 1 до 22 лет. Все обследуемые были распределены по трем группам в зависимости от стажа службы. Для психодиагностической оценки был использован опросник «Адаптивность». В качестве объективных физиологических критериев состояния организма выступали показатель адекватности процессов регуляции и индекс напряжения методики «Вариабельность сердечного ритма». Выявлено, что в структуре личностного адаптационного потенциала нервно-психическая устойчивость у пожарных-спасателей всех групп соответствовала высоким значениям в начале смены с незначительным снижением к концу смены. Показатель адекватности процессов регуляции и индекс напряжения в начале смены отражали более выраженные вагусные влияния в группах со стажем службы 1–6 и 1–22 года по сравнению с группой 7–15 лет работы. В конце смены обнаружено усиление

парасимпатической активности во всех группах. Корреляционный анализ выявил статистически значимые связи между психодиагностическими и электрофизиологическими параметрами у лиц со стажем от 7 лет до 22 лет. Выводы: в группах опытных пожарных-спасателей выявлено более выраженное соответствие самооценки уровня личностного адаптационного потенциала с физиологическими коррелятами по сравнению с менее опытными.

Ключевые слова: личностный адаптационный потенциал, нервно-психическая устойчивость, вариабельность сердечного ритма, пожарные-спасатели

Для ЦИТИРОВАНИЯ: Власенко Н.Ю. Исследование личностного адаптационного потенциала и его физиологических коррелятов у пожарных-спасателей // Социально-экологические технологии. 2020. Т. 10. № 1. С. 97–110. DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-1-97-110

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-1-97-110

N.Yu. Vlasenko

Tver State Technical University,
Tver, 170026, Russia

Study of individual adaptive potential and its physiological correlates in rescue firefighters

Relevance: the problem of human adaptation acts as a link in interdisciplinary research. Purpose of work: analysis of the relationship between the psychological and physiological parameters of the adaptive potential and the state of the body in rescue firefighters with different length of service. Materials and methods: 235 male rescue firefighters aged 25 to 45 years with a service record of 1 to 22 years took part in the study. All subjects were divided into three groups depending on the length of service. For psychodiagnostic evaluation, the adaptability questionnaire was used. The objective physiological criteria for the state of the organism were the indicator of the adequacy of the regulatory processes and the stress index of the "Heart rate variability" method. Results: in the structure of personal adaptive potential,

neuropsychic resistance among rescue firefighters of all groups corresponded to high values at the beginning of the shift with a slight decrease by the end of the shift. The adequacy of the regulatory processes and the stress index at the beginning of the shift reflected more pronounced vagal influences in groups with 1–6 and 16–22 years of service compared to the group of 7–15 years of work. At the end of the shift, an increase in parasympathetic activity was found in all groups. Correlation analysis revealed statistically significant relationships between psychodiagnostic and electrophysiological parameters in individuals with experience from 7 years to 22 years. **Conclusions:** in the groups of experienced rescue firefighters, a more pronounced correspondence of the self-assessment of the level of personal adaptive potential with physiological correlates was revealed compared with less experienced ones.

Key words: individual adaptive potential, neuro-psyhic stability, heart rate variability, rescue firefighters

FOR CITATION: Vlasenko N.Yu. Study of individual adaptive potential and its physiological correlates in rescue firefighters. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2020. Vol. 10. № 1. Pp. 97–110. (In Russ.) DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-1-97-110

Введение

Адаптация организма – одна из центральных междисциплинарных проблем в физиологии, психологии и медицине. В последнее время большую значимость приобретают исследования адаптации организма в экстремальной среде. Физические и психические ресурсы человека становятся детерминантой сохранения здоровья, а порой и выживания. Особое значение экстремальная среда имеет для того, кто по роду профессиональной деятельности связан с чрезвычайными ситуациями и угрозой жизни, кто должен спасать других и принимать на себя ответственность за быстрое решение при оказании помощи. В Российской Федерации, как известно, существует специальное ведомство – Министерство РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС РФ). Экстремальные условия деятельности, с которыми сталкивается личный состав пожарных подразделений, характеризуется чрезвычайными физическими нагрузками, напряжением, сильными психотравмирующими факторами. В этих условиях происходит выработка определенных стереотипов поведения и одновременная адаптация к ситуациям риска [Артамонова, Лоскутова, Муша, 2013].

Профессиональная пригодность сотрудника Федеральной противопожарной службы (ФПС) МЧС выявляется в рамках профессионального отбора. Он представляет собой три последовательных этапа: социально-правовой, медицинский и психологический. При медицинском обследовании врачебная комиссия руководствуется приказом МЧС России¹. Согласно ему, личный состав ФПС, принимающий участие в тушении пожаров, должен относиться к 1-й группе предназначения (первая группа здоровья). Психологический этап профотбора проводится в соответствии со специальными методическими руководствами ведомства [Гуренкова, Голубева, 2011, 2013]. При этом комплексной медико-психологической оценки адаптационных ресурсов не осуществляется. В междисциплинарных исследованиях физиологии и психологии труда проблема поиска объективных информативных критериев их оценки стоит очень остро. В этой связи смежные работы, позволяющие обнаружить физиологические корреляты субъективного состояния организма, являются актуальными и востребованными.

Цели и задачи

Целью работы явился анализ взаимосвязи между уровнем личностного адаптационного потенциала, определяемым при помощи психодиагностического тестирования, и показателями адекватности процессов регуляции и напряжения, рассчитываемыми по методике вариабельности сердечного ритма, у пожарных-спасателей с разным стажем службы.

В задачи исследования входило:

- 1) проведение исследования по методикам «Адаптивность» и «Вариабельность сердечного ритма» с учетом суточной динамики;
- 2) корреляционный анализ результатов исследования.

Материалы и методы

Исследование выполнено в пожарных частях № 2, 3, 4 Федеральной противопожарной службы ФПС МЧС по Тверской области. В обследовании приняли участие 235 пожарных-спасателей мужского пола в возрасте от 25 до 45 лет со стажем службы от 1 до 22 лет. Все обследуемые были распределены по трем группам в зависимости от стажа службы. Первая группа была представлена пожарными-спасателями со стажем от 1 до 6 лет в возрасте 24–30 лет ($n = 80$). В этот период происходит адаптация и овладение профессией. Во вторую группу объединили

¹ Приказ МЧС России от 30 августа 2018 г. № 356 «О требованиях к состоянию здоровья граждан, поступающих на службу в Федеральную противопожарную службу...». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71992308/>

пожарных-спасателей со стажем службы 7–15 лет в возрасте 31–38 лет ($n = 69$). Данный этап характеризуется сформированным профессионализмом, что соответствует максимальной эффективности, устойчивости и надежности в работе. Третья группа представлена пожарными-спасателями со стажем службы 16–22 лет в возрасте 39–45 лет ($n = 86$). Для специалистов экстремального профиля это период возможного профессионального «выгорания и деструкций», когда могут проявляться дизадаптивные процессы, связанные с истощением ресурсов организма и возрастными изменениями² [Климов, 2003]. Режим службы пожарных-спасателей составлял цикл из одних рабочих суток и трех суток отдыха. Обследование проводили в начале и конце рабочей смены с 8.30 до 10.00 часов утра.

В настоящей работе был использован многоуровневый личностный опросник «Адаптивность» А.Г. Маклакова, С.В. Чермянина [Маклаков, 2001]. Он содержит 165 вопросов с вариантами ответов «да/нет» и включает следующие шкалы: нервно-психическую устойчивость, коммуникативный потенциал, моральную нормативность и интегральную шкалу личностного адаптационного потенциала, которая используется в качестве системообразующего фактора. Результаты оценивали по 10-балльным стандартным шкалам (от 1 до 10 баллов). При этом выделяли следующие интервалы показателей: от 1 до 3 – низкий уровень, от 3,1 до 4 – ниже среднего, 4,1–6,9 – средний, 7–7,9 – выше среднего, 8–10 – высокий уровень.

Для объективной оценки состояния организма был использован диагностический комплекс «Кредо» (фирма «ДНК и К», Тверь, Россия) с программным обеспечением по расчету параметров variability сердечного ритма. Электрокардиографическую запись 500 циклов осуществляли в I стандартном отведении в положении лежа. Среди многочисленных параметров variability сердечного ритма в работе использовали показатель адекватности процессов регуляции и индекс напряжения (измеряются в усл. ед.). Шкала показателя адекватности процессов регуляции является обратной, нормативные значения соответствуют диапазону 35–70 усл. ед. Шкала индекса напряжения является прямой, нормативные значения соответствуют 80–140 усл. ед. [Михайлов, 2000; Баевский, Иванов, Чирейкин, 2001].

² Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 3 декабря 2013 г. № 707н г. Москва «Об утверждении Единого квалификационного справочника должностей руководителей, специалистов и служащих...». URL: <https://rg.ru/2014/02/21/slujashie-dok.html>

При математической обработке данных с помощью программы «SPSS 22» была проведена проверка распределения вариационных рядов на нормальность с использованием критерия Колмогорова–Смирнова. С учетом их нормального распределения использовали дескриптивный анализ с описанием средневыворочного значения и стандартной ошибки среднего (в тексте $M \pm m$). Анализ межгрупповых различий изучали с помощью однофакторного дисперсионного анализа для независимых выборок (one-way ANOVA). Для сравнения средних значений изучаемых признаков в начале и конце смены внутри групп использовали парный критерий Стьюдента (paired t-test). Для оценки связи между признаками рассчитывали коэффициенты корреляции Пирсона. За критический уровень значимости различий принято значение 0,05 [Гржибовский, 2008, 2016; Гржибовский, Иванов, Горбатова, 2016].

Результаты и обсуждение

В начале смены средне выборочные значения всех групп по шкале «Нервно-психическая устойчивость» методики «Адаптивность» были в зоне высоких параметров без значимых различий (табл. 1).

В конце смены в третьей группе произошло достоверное снижение этого параметра до среднего уровня, что определило в рамках дисперсионного анализа межгрупповые различия ($F_{2,232} = 4,29; p = 0,041$). Лица с высоким уровнем нервно-психической устойчивости в опасных и чрезвычайных ситуациях способны сохранять самообладание и контроль, критичное мышление и рациональное поведение. В ведомстве МЧС РФ эта характеристика сотрудников является одним из важнейших профессионально важных качеств. Ее снижение в конце смены у пожарных-спасателей со стажем службы 16–22 года является прогностически неблагоприятным признаком.

Среднегрупповые значения шкалы «Коммуникативный потенциал» в начале смены соответствовали среднему уровню во всех группах, при этом между ними отмечены значимые отличия с трендом уменьшения от первой к третьей ($F_{2,232} = 4,54; p = 0,037$). В конце смены обнаружено достоверное снижение значений во второй и третьей группах, с переходом в последней на уровень «ниже среднего». Межгрупповые статистически значимые различия сохранились ($F_{2,232} = 5,03; p = 0,027$). Средний уровень коммуникативного потенциала считается вполне удовлетворительным для профессии пожарного-спасателя. Его значимое уменьшение при увеличении стажа службы, вероятно, можно объяснить профессиональным воздействием с определенной редуцией коммуникативной сферы. Такой феномен является типичным маркером синдрома эмоционального выгорания.

Таблица 1

**Средние значения показателей методик «Адаптивность» и «Вариабельность сердечного ритма»
в начале и конце рабочей смены ($M \pm m$)
[Average values of indicators of the Adaptability and Heart Rate Variability techniques
at the beginning and end of a work shift ($M \pm m$)]**

Шкалы, единицы измерения [Scales, units]	1 группа ($n = 80$), стаж 1–6 лет [Group 1 ($n = 80$), length of service 1–6 years]	2 группа ($n = 69$), стаж 7–15 лет [Group 2 ($n = 69$), length of service 7–15 years]	3 группа ($n = 86$), стаж 16–22 лет [Group 3 ($n = 86$), experience 16–22 years]	P
Нервно-психическая устойчивость, баллы [Neuropsychic resistance, points]	Н	8,41 ± 0,13	8,21 ± 0,12	–
	К	8,02 ± 0,29	9,01 ± 0,29	$P_{1-2} = 0,079$ $P_{2-3} = 0,015$ $P_{1-3} = 0,032$
Коммуникативный потенциал, баллы [Communicative potential, points]	Н	6,29 ± 0,17	5,24 ± 0,18	$P_{1-2} = 0,021$ $P_{2-3} = 0,017$ $P_{1-3} = 0,033$
	К	6,17 ± 0,13	4,64 ± 0,21↓	$P_{1-2} = 0,038$ $P_{2-3} = 0,019$ $P_{1-3} = 0,010$
Моральная нормативность, баллы [Moral standards, points]	Н	7,24 ± 0,25	7,68 ± 0,41	$P_{1-2} = 0,074$ $P_{2-3} = 0,018$ $P_{1-3} = 0,043$
	К	6,29 ± 0,23↓	6,79 ± 0,46	–
		$p = 0,043$	6,04 ± 0,25	–

Окончание табл. 1

Шкалы, единицы измерения [Scales, units]	1 группа ($n = 80$), стаж 1–6 лет [Group 1 ($n = 80$), length of service 1–6 years]	2 группа ($n = 69$), стаж 7–15 лет [Group 2 ($n = 69$), length of service 7–15 years]	3 группа ($n = 86$), стаж 16–22 лет [Group 3 ($n = 86$), experience 16–22 years]	P
Личностный адаптационный потенциал, баллы [Personal adaptive potential, points]	H	$7,31 \pm 0,31$	$6,16 \pm 0,25^*$	$P_{1,2} = 0,087$ $P_{2,3} = 0,045$ $P_{1,3} = 0,038$
	K	$6,83 \pm 0,33$	$5,17 \pm 0,28 \downarrow^*$ $p = 0,024$	$P_{1,2} = 0,082$ $P_{2,3} = 0,024$ $P_{1,3} = 0,029$
Показатель адекватности процессов регуляции, усл. ед. [The adequacy of regulatory processes, conv. units]	H	$48,1 \pm 3,5$	$67,9 \pm 4,2$	$P_{1,2} = 0,041$ $P_{2,3} = 0,034$ $P_{1,3} = 0,089$
	K	$43,5 \pm 4,3$	$41,5 \pm 4,4 \downarrow$ $p = 0,019$	–
Индекс напряжения, усл. ед. [Stress Index, conv. units]	H	$58,3 \pm 4,8$	$87,5 \pm 6,9$	$P_{1,2} = 0,039$ $P_{2,3} = 0,021$ $P_{1,3} = 0,072$
	K	$52,5 \pm 6,4$	$71,6 \pm 7,2 \downarrow$ $p = 0,036$	$P_{1,2} = 0,041$ $P_{2,3} = 0,035$ $P_{1,3} = 0,069$

Примечания: H – начало смены, K – конец смены, M – среднее арифметическое, m – стандартная ошибка среднего арифметического; * – статистически значимые межгрупповые различия (one-way ANOVA); \downarrow – статистически значимое уменьшение в конце смены в сравнении с данными в начале смены внутри группы (paired t-test) при $p < 0,05$.

[Notes: H is the beginning of the shift, K is the end of the shift, M is the arithmetic mean, m is the standard error of the arithmetic mean; * – statistically significant intergroup differences (one-way ANOVA); \downarrow – statistically significant decrease at the end of the shift compared with the data at the beginning of the shift within the group (paired t-test) at $p < 0,05$]

Показатели шкалы «Моральная нормативность» в начале смены у первой и второй групп соответствовали уровню «выше среднего», третьей – среднему со статистически значимыми межгрупповыми различиями ($F_{2,232} = 4,81; p = 0,035$). В конце смены выявлено достоверное снижение средневыворочного значения в первой группе до среднего уровня, во второй обнаружен аналогичный результат без значимых различий. Такие изменения девальвировали межгрупповые отличия. Служба в МЧС, как в любом силовом ведомстве, предполагает личностное соответствие сотрудников моральным ценностям и социальным нормативам. Кроме того, спасение жизни людей, оказание помощи пострадавшим во время пожаров и других катастроф является их профессиональным долгом и обязанностью. Результаты исследования по этой шкале опросника свидетельствуют о вполне удовлетворительной оценке. Отмечен тренд снижения показателей в конце смены у групп начального и среднего этапов службы, что можно объяснить суточным утомлением. У пожарных-спасателей с наибольшим стажем такой динамики не обнаружено, при этом более низкий уровень моральной нормативности в сравнении с другими группами, возможно, обусловлен деформациями, сопровождающими профессиональное выгорание.

Интегральный показатель личностного адаптационного потенциала в начале смены в первой и второй группах соответствовал уровню «выше среднего», третьей – среднему. Это нашло отражение в результатах one-way ANOVA, который обнаружил межгрупповые достоверные различия ($F_{2,232} = 5,07; p = 0,021$). В конце смены они продолжали сохраняться ($F_{2,232} = 4,36; p = 0,038$). Выявлено снижение уровня интегрального показателя личностного адаптационного потенциала до среднего в первой и второй группах, в третьей обнаружено значимое уменьшение с сохранением удовлетворительного уровня. Профессиональные особенности службы предъявляют пожарным-спасателям требования наличия высоких адаптационных резервов и способностей. В физиологии и психологии труда при очевидном сходстве трактовок в понятии «профессиональная адаптация» есть существенные различия. Так, при физиологическом подходе оцениваются, в первую очередь, вегетативные и гуморальные маркеры функционального напряжения и дизаптивных явлений. Психологическая оценка касается личностно-волевых и индивидуально-типологических качеств человека. В методике «Адаптивность» первая шкала «Нервно-психическая устойчивость» в большей степени отвечает интегральному подходу к оценке адаптационных ресурсов. Ее высокий уровень в начале смены во всех группах является признаком функциональной надежности и пригодности.

Показатели адекватности процессов регуляции методики «Вариабельность сердечного ритма» в начале смены во всех группах соответствовали среднему уровню. При этом дисперсионный анализ обнаружил значимые межгрупповые отличия ($F_{2,232} = 5,13$; $p = 0,019$), последующий *post hoc* выделил достоверно более высокое значение во второй группе. В конце смены выявлено снижение средних во всех группах, причем во второй со значимыми отличиями. Такой тренд оказался уравнивающим значения всех групп, поэтому *one-way ANOVA* не показал различий. При этом среднегрупповые значения остались на среднем уровне.

Индекс напряжения в начале смены в первой и третьей группах был ниже нормы, во второй – соответствовал ей. *One-way ANOVA* обнаружил значимые различия как начале, так и конце смены ($F_{2,232} = 3,99$; $p = 0,045$; $F_{2,232} = 4,62$; $p = 0,031$). По результатам *paired t-test* индекс напряжения во второй группе в конце смены значимо снизился.

Корреляционный анализ (табл. 2) был проведен между объективными показателями функционального состояния организма и психодиагностическими переменными (коммуникативный потенциал и моральная нормативность как личностные характеристики в анализ не вводили).

В первой группе обнаружены единичные слабые статистические значимые связи. Во второй и третьей группах в начале смены выявлено достаточно много корреляций с силой среднего уровня, в конце – слабой.

Таким образом, параметры методики «Вариабельность сердечного ритма» в начале смены свидетельствовали о более выраженном вагусном влиянии у большинства пожарных-спасателей с преобладанием автономного контура регуляции организма. При этом обнаружены значимые различия по группам: в первой и третьей парасимпатические влияния на синусный узел сердца были более выраженными по сравнению со второй. В конце смены выявлена общая тенденция к снижению показателя адекватности процессов регуляции и индекса напряжения во всех группах, что, по мнению различных исследователей, можно трактовать по-разному. Так, автор формул А.Р. Баевский с соавторами (2001) полагает, что их снижение отражает переход от центральных энергозатратных механизмов управления к автономным трофотропным. В.А. Бодров (2009) нарастание вагусных влияний расценивает как отражение снижения функционального состояния с признаками утомления.

Связи средней и слабой силы в группах со стажем 7–15 и 16–22 года и отсутствие их у пожарных начального этапа службы, вероятно, свидетельствуют о наличии корреляций адаптационного потенциала, определяемого в рамках психодиагностического опроса, с показателями адекватности процессов регуляции и индекса напряжения. Обнаружен

Таблица 2

Структура взаимосвязей нервно-психической устойчивости и личностного адаптационного потенциала с показателями адекватности процессов регуляции и индекса напряжения в начале и в конце рабочей смены (коэффициент корреляции Пирсона, при $p < 0,05$)

[The structure of the relationship of neuropsychic stability and personal adaptive potential with indicators of the adequacy of the regulation processes and the stress index at the beginning and at the end of a work shift (Pearson correlation coefficient, at $p < 0.05$)]

Показатели [Indicators]	1 группа ($n = 80$), стаж 1–6 лет [Group 1 ($n = 80$), length of service 1–6 years]		2 группа ($n = 69$), стаж 7–15 лет [Group 2 ($n = 69$), length of service 7–15 years]		3 группа ($n = 86$), стаж 16–22 лет [Group 3 ($n = 86$), experience 16–22 years]	
	в начале смены [at the beginning of the shift]	в конце смены [at the end of the shift]	в начале смены [at the beginning of the shift]	в конце смены [at the end of the shift]	в начале смены [at the beginning of the shift]	в конце смены [at the end of the shift]
Нервно-психическая устойчивость [Neuropsychic resistance]	-0,16 $p = 0,043$	–	-0,62 $p = 0,026$	-0,44 $p = 0,031$	-0,43 $p = 0,030$	-0,21 $p = 0,030$
Идекс напряжения [Stress Index]	-0,14 $p = 0,047$	–	-0,57 $p = 0,029$	-0,35 $p = 0,034$	-0,37 $p = 0,035$	-0,19 $p = 0,041$
Личностный адаптационный потенциал [Personal adaptive potential]	–	–	-0,23 $p = 0,029$	–	-0,17 $p = 0,044$	–
Идекс напряжения [Stress Index]	–	–	-0,19 $p = 0,041$	–	-0,13 $p = 0,048$	–

обратный тип связей: увеличение нервно-психической устойчивости и личностного адаптационного потенциала приводит к снижению напряжения и повышению адекватности процессов регуляции. В этих группах пожарные смогли более адекватно определить свою самооценку по опроснику, которая была сопоставима с физиологическими коррелятами.

Особый интерес представляет сравнение результатов исследования с аналогичными работами других авторов. Так, Т.И. Шевченко с соавторами (2013) установила, что работа специалистов экстремальных профессий сопряжена с развитием напряжения, снижением нервно-психической устойчивости, усилением приспособительных процессов, деформацией и ригидизацией личностной структуры. Как следствие, формируется синдром эмоционального выгорания, который отражается на эффективности и надежности профессиональной деятельности. В работе показано, что нервно-психическая устойчивость пожарных выше по сравнению с горными спасателями. У этих категорий работников статистически значимой зависимости ее уровня от стажа работы не обнаружено. Выявлено: чем выше нервно-психическая устойчивость, тем позитивнее экспертная оценка перспективы профессионального роста обследованных сотрудников МЧС. М.Э. Махмудова с соавторами (2016) обнаружила более высокий уровень устойчивости и личностного адаптационного потенциала у сотрудников МЧС со стажем работы от 5 лет и выше. Ю.Ю. Стрельникова (2014) на примере пожарных обнаружила преобладание симпатической реакции со стороны разных систем организма у лиц, ликвидировавших пожары повышенного ранга сложности, на фоне парасимпатических сдвигов контрольной группы в конце суточной смены без тяжелых трудозатрат.

Таким образом, результаты представленных работ носят разнонаправленный характер, что подтверждает необходимость дальнейших исследований для выявления определенных закономерностей.

Выводы

Работа по обнаружению физиологических коррелятов адаптационного потенциала и нервно-психической устойчивости пожарных-спасателей показала перспективность таких исследований. Объективизация результатов психодиагностического исследования расширяет возможности междисциплинарного подхода в исследовании механизмов адаптации организма в экстремальных условиях, а также позволяет оптимизировать разработку совместных медико-психологических программ профилактики и коррекции профессионального стресса.

Библиографический список / References

Артамонова Г.К., Лоскутова Е.Е., Муша В.И. Обеспечение развития стрессоустойчивости сотрудников Федеральной противопожарной службы МЧС России с использованием системы средств и методов психологического воздействия // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. 2013. № 3. С. 135–139. [Artamonova G.K., Loskutova E.E., Musha V.I. Ensuring the development of stress resistance of employees of the Federal Firefighting Service of the Ministry of Emergencies of Russia using the system of means and methods of psychological impact. *Bulletin of the Sankt-Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergencies of Russia*. 2013. No. 3. Pp. 135–139. (In Russ.)]

Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) // Вестник аритмологии. 2001. № 24. С. 65–87. [Baevskii R.M., Ivanov G.G., Chireikin L.V. Analysis of heart rate variability when using various electrocardiographic systems (guidelines). *Bulletin of Arrhythmology*. 2001. № 24. Pp. 65–87. (In Russ.)]

Бодров В.А. Профессиональное утомление: фундаментальные и прикладные проблемы. М., 2009. [Bodrov V.A. Professional'noe utomlenie: fundamental'nye i prikladnye problem [Professional fatigue: Fundamental and applied problems]. Moscow, 2009.]

Гржибовский А.М. Сравнение количественных данных трех и более независимых выборок с использованием программного обеспечения Statistica и SPSS: параметрические и непараметрические критерии // Наука и Здравоохранение. 2016. № 4. С. 5–37. [Grzhibovskii A.M. Comparison of quantitative data of three or more independent samples using Statistica and SPSS software: Parametric and nonparametric criteria. *Science and Health*. 2016. No. 4. Pp. 5–37. (In Russ.)]

Гржибовский А.М. Корреляционный анализ // Экология человека. 2008. № 9. С. 50–60. [Grzhibovskij A.M. Correlation analysis. *Human Ecology*. 2008. № 9. Pp. 50–60. (In Russ.)]

Гржибовский А.М., Иванов С.В., Горбатова М.А. Сравнение количественных данных двух парных выборок с использованием программного обеспечения Statistica и SPSS: параметрические и непараметрические критерии // Наука и Здравоохранение. 2016. № 3. С. 5–25. [Grzhibovskii A.M., Ivanov S.V., Gorbatova M.A. Comparison of quantitative data of two paired samples using the Statistica and SPSS software: Parametric and nonparametric criteria. *Science and Health*. 2016. No. 3. Pp. 5–25. (In Russ.)]

Гурenkova Т.Н., Голубева О.Ю. Методическое руководство по проведению профессионального психологического отбора в МЧС России. М., 2013. [Gurenkova T.N., Golubeva O.Yu. Metodicheskoe rukovodstvo po provedeniyu professional'nogo psikhologicheskogo otbora v MChS Rossii [Guidelines for conducting professional psychological selection in the Ministry of Emergencies of Russia]. Moscow, 2013. (In Russ.)]

Гурenkova Т.Н., Голубева О.Ю. Методическое руководство по психодиагностическому обеспечению в Министерстве Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. М., 2011. [Gurenkova T.N., Golubeva O.Yu. Metodicheskoe rukovodstvo po psikhodiagnosticheskomu obespecheniyu v Ministerstve Rossiiskoi

Federatsii po delam grazhdanskoi oborony, chrezvychainym situatsiyam i likvidatsii posledstviu stikhiinykh bedstviu [Guidelines for psycho-diagnostic support at the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Disaster Management]. Moscow, 2011.]

Климов Е.А. Пути в профессионализм. М., 2003. [Klimov E.A. Puti v professionalizm [Ways to professionalism]. M., 2003.]

Маклаков А.Г. Личностный адаптационный потенциал: его мобилизация и прогнозирование в экстремальных условиях // Психологический журнал. 2001. Т. 22. № 1. С. 16–24. [Maklakov A.G. Personal adaptive potential: Its mobilization and forecasting in extreme conditions. *Psychological journal*. 2001. Vol. 22. № 1. Pp. 16–24. (In Russ.)]

Махмудова М.Э., Пфау Т.В. Нервно-психическая устойчивость сотрудников МЧС с различным стажем работы // Наука. Мысль: Электронный периодический журнал. 2016. № 10. С. 66–69. [Makhmudova M.E., Pfaу T.V. Neuro-psychic stability of employees of the Ministry of Emergencies with various length of service. *Nauka. Mysl*. 2016. No. 10. Pp. 66–69. (In Russ.)]

Михайлов В.М. Вариабельность ритма сердца. Опыт практического применения. Иваново, 2000. [Mikhailov V.M. Variabel'nost' ritma serdtsa. Opyt prakticheskogo primeneniya [Heart rate variability. Practical experience]. Ivanovo, 2000.]

Стрельникова Ю.Ю. Психологические и соматические последствия участия в ликвидации пожаров повышенного ранга сложности // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. 2014. № 1. С. 135–139. [Strel'nikova Yu.Yu. Psychological and somatic consequences of participation in the elimination of fires of an increased complexity level. *Bulletin of the Sankt-Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergencies of Russia*. 2014. No. 1. Pp. 135–139. (In Russ.)]

Шевченко Т.И., Макарова Н.В., Бохан Т.Г. Стрессоустойчивость специалистов опасных профессий МЧС России // Вестник Томского государственного университета. 2013. № 369. С. 164–167. [Shevchenko T.I., Makarova N.V., Bokhan T.G. Stress resistance of specialists in dangerous professions in the Ministry of Emergencies of Russia. *Bulletin of Tomsk State University*. 2013. No. 369. Pp. 164–167. (In Russ.)]

Статья поступила в редакцию 26.10.2019, принята к публикации 23.12.2019

The article was received on 26.10.2019, accepted for publication 23.12.2019

Сведения об авторе / About the author

Власенко Наталья Юрьевна – кандидат биологических наук; доцент кафедры психологии и философии, Тверской государственный технический университет

Natalya Yu. Vlasenko – PhD in Biology; associate professor at the Department of Psychology and Philosophy, Tver State Technical University, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5669-1718>

E-mail: natalya_vlasenko@mail.ru

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Тематика журнала

Журнал «Социально-экологические технологии» специализируется на всестороннем и объективном освещении вопросов экологии: проблемам взаимоотношений организма и среды, человека и природы.

Тематика журнала – экологические исследования в ботанике, зоологии, почвоведении, географии, также публикуются материалы, посвященные экологии человека (физиология, психогенетика, адаптивные способности организма человека).

Для публикации принимаются научные статьи, отражающие результаты оригинальных исследований, а также обзоры и рецензии, информация о программах и совещаниях, о деятельности учреждений, общественных организаций и отдельных специалистов в России и за ее пределами.

Редакционная политика

Редакции журнала не интересны материалы, основанные на компиляции давно известных фактов! Это не может считаться научной статьей!

Все присланные материалы проверяются при помощи программы «Антиплагиат». В разделах «Результаты», «Выводы» оригинальность должна превышать 80%. Специфика разделов «Введение», «Материалы и методы» позволяет снизить этот показатель до 60%.

Журнал строго следит за соблюдением следующих положений этики научных публикаций

Автор не должен публиковать рукопись, по большей части посвященную одному и тому же исследованию, более чем в одном журнале как оригинальную публикацию.

Представление одной и той же рукописи одновременно более чем в один журнал воспринимается как неэтичное поведение и неприемлемо.

Авторами публикации могут выступать только лица, которые внесли значительный вклад в формирование замысла работы, разработку, исполнение или интерпретацию представленного исследования. Все те, кто внес значительный вклад, должны быть обозначены как соавторы. В тех случаях, когда участники исследования внесли существенный вклад по определенному направлению в исследовательском проекте, они должны быть указаны как лица, внесшие значительный вклад в данное исследование (в ноте).

Нельзя представлять в качестве соавторов те, кто не участвовал в исследовании. Все соавторы должны одобрить окончательную версию работы и согласиться с представлением ее к публикации.

Рецензирование

Помогает членам редакционной коллегии принять решение о публикации и, при соответствующем взаимодействии с автором, также может помочь ему повысить качество работы. Таким образом, рецензирование – не просто инструмент отбора, но и средство, повышающее научный уровень статьи.

Кроме того, рецензент выявляет значимые опубликованные работы, соответствующие теме и не включенные в библиографию к рукописи. На любое утверждение (наблюдение, вывод или аргумент), опубликованное ранее, в рукописи должна быть соответствующая библиографическая ссылка. Рецензент также обращает внимание редакционной коллегии на обнаружение существенного сходства или совпадения между рассматриваемой рукописью и любой другой опубликованной работой, находящейся в сфере его научной компетенции.

Авторы доклада об оригинальном исследовании должны предоставлять достоверные результаты проделанной работы, как и объективное обсуждение значимости исследования. Данные, лежащие в основе работы, должны быть представлены безошибочно. Работа должна содержать достаточно деталей и библиографических ссылок для возможного воспроизведения. Ложные или заведомо ошибочные утверждения воспринимаются как неэтичное поведение и неприемлемы.

Обзоры также должны быть объективными, точка зрения автора должна быть четко обозначена.

Плата за публикацию

Редакция не взимает с авторов плату за подготовку, размещение и печать материалов.

Язык публикаций

Журнал принимает к рассмотрению и публикует материалы на русском и английском языках.

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. № 1

Сайт журнала: www.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 29.03.2020 г.
Формат 60×90 1/16. Гарнитура «Times New Roman».
Объем 7 п. л. Тираж 1000 экз.