

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

*Северо-Кавказский  
регион*

---

ЕСТЕСТВЕННЫЕ

НАУКИ

2020

3

Редакционная коллегия:

В.Е. Закруткин – председатель редколлегии, доктор геол.-мин. наук, профессор, Южный федеральный университет, Россия  
В.А. Бабешко – академик РАН, доктор физ.-мат. наук, профессор, Кубанский государственный университет, Россия  
Б.С. Карамурзов – доктор техн. наук, профессор, Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, Россия  
В.И. Колесников – академик РАН, доктор техн. наук, профессор, Ростовский государственный университет путей сообщения, Россия  
Ю.Ф. Коробейник – доктор физ.-мат. наук, профессор, Южный федеральный университет, Россия  
А.Г. Кусраев – доктор физ.-мат. наук, профессор, Южный математический институт ВЦ РАН, Россия  
Г.Г. Матишов – академик РАН, доктор геол.-мин. наук, профессор, Федеральный исследовательский центр, Южный научный центр РАН, Россия  
В.И. Минкин – академик РАН, доктор хим. наук, профессор, Южный федеральный университет, Россия  
М.Х. Рабаданов – доктор физ.-мат. наук, профессор, Дагестанский государственный университет, Россия  
Э.З. Эмирбеков – доктор биол. наук, профессор, Южный федеральный университет, Россия  
В.Н. Труфанов – зам. председателя редколлегии, доктор геол.-мин. наук, профессор, Южный федеральный университет, Россия  
А.В. Абанин – доктор физ.-мат. наук, профессор, Южный федеральный университет, Россия  
О.С. Безуглова – доктор биол. наук, профессор, Южный федеральный университет, Россия  
Н.И. Бойко – доктор геол.-мин. наук, профессор, Южный федеральный университет, Россия  
А.В. Бочкарев – доктор геол.-мин. наук, профессор, Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, Россия  
В.В. Внуков – доктор биол. наук, профессор, Южный федеральный университет, Россия  
Л.С. Ворович – кандидат физ.-мат. наук, доцент, Южный федеральный университет, Россия  
О.Н. Демина – доктор биол. наук, профессор, Карачаево-Черкесский государственный университет им. У.Д. Алиева, Россия  
А.Г. Захаров – доктор техн. наук, профессор, Южный федеральный университет, Россия  
Л.М. Зубов – доктор физико-математических наук, профессор, Южный федеральный университет, Россия  
Я.М. Ерусалимский – зам. председателя редколлегии, кандидат физ.-мат. наук, доктор техн. наук, профессор, Южный федеральный университет, Россия  
М.И. Карякин – доктор физ.-мат. наук, доцент, Южный федеральный университет, Россия  
С.Б. Климентов – доктор физ.-мат. наук, профессор, Южный федеральный университет, Россия  
С.И. Колесников – кандидат геогр. наук, доктор с.-х. наук, профессор, Южный федеральный университет, Россия  
Г.В. Куповых – доктор физ.-мат. наук, профессор, Южный федеральный университет, Россия  
С.В. Курбатов – доктор хим. наук, профессор, Южный федеральный университет, Россия  
А.М. Лерер – доктор физ.-мат. наук, профессор, Южный федеральный университет, Россия  
В.А. Миноранский – доктор с.-х. наук, профессор, Южный федеральный университет, Россия  
В.В. Онищенко – доктор геогр. наук, профессор, Карачаево-Черкесский государственный университет им. У.Д. Алиева, Россия  
О.В. Назаренко – кандидат геогр. наук, доцент, Южный федеральный университет, Россия  
Г.В. Пироговская – доктор с.-х. наук, профессор, Институт почвоведения и агрохимии НАН РБ, Белоруссия  
В.С. Рабинович – доктор физ.-мат. наук, профессор, Национальный политехнический институт, Мексика  
Э.С. Сианисян – доктор геол.-мин. наук, профессор, Южный федеральный университет, Россия  
Ю.А. Устинов – доктор физ.-мат. наук, профессор, Южный федеральный университет, Россия  
П. Фатталль – доктор наук, профессор, Университет Нанта, Франция  
Ю.А. Федоров – доктор геогр. наук, профессор, Южный федеральный университет, Россия  
А.Д. Хованский – кандидат геол.-мин. наук, доктор геогр. наук, профессор, Южный федеральный университет, Россия  
Е.А. Шинкаренко – ответственный секретарь журнала, Южный федеральный университет, Россия  
Т.А. Ватульян – ответственный секретарь по издательской деятельности журнала, Южный федеральный университет, Россия

Учредители:

Дагестанский государственный технический университет,  
Дагестанский государственный университет,  
Донской государственный технический университет,  
Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова,  
Кубанский государственный технологический университет,  
Ростовский государственный университет путей сообщения,  
Ростовский государственный экономический университет (РИНХ),  
Южно-Российский государственный политехнический университет им. М.И. Платова,  
Южный федеральный университет

Над номером работали: Л.С. Ворович, В.И. Литвиненко, Н.Г. Шатравкина, М.С. Шипитко

Подписано в печать 30.09.2020. Выход в свет 02.10.2020. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.  
Шрифт Times. Усл. печ. л. 15,11. Уч.-изд. л. 15,50. Тираж 250 экз. Заказ № 7696

Адрес редакции и издателя (для переписки): 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42, ЮФУ,  
журнал «Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки»,  
e-mail: [izvestiya@sfedu.ru](mailto:izvestiya@sfedu.ru), адрес в Интернете: [www.izvestiya.sfedu.ru](http://www.izvestiya.sfedu.ru)

Адрес редколлегии: 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 200/1, корп. 2, к. 110,  
тел.: +7 (863) 218-40-00 доб. 11-093; доб. 11-094.

Отпечатано в отделе полиграфической, корпоративной и сувенирной продукции  
Издательско-полиграфического комплекса КИБИ МЕДИА ЦЕНТРА ЮФУ,  
344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 200/1, корп. 1, к. 104, тел. +7 (863) 247-80-51

**Journal was founded in 1972 by Yu.A. Zhdanov**

**Editorial Board:**

V.E. Zakrutkin - Chairman of the Editorial Board, Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Southern Federal University, Russia  
V.A. Babeshko - Academician, Russian Academy of Sciences, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Kuban State University, Russia  
B.S. Karamurзов - Doctor of Technical Sciences, Professor, Berbekov Kabardino-Balkarian State University, Russia  
V.I. Kolesnikov - Academician, Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Rostov State Transport University, Russia  
Yu.F. Korobeinik - Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Southern Federal University, Russia  
A.G. Kusraev - Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Southern Mathematical Institute, Vladikavkaz Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Russia  
G.G. Matishov - Academician, Russian Academy of Sciences, Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Federal Research Center the Southern Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Russia  
V.I. Minkin - Academician, Russian Academy of Sciences, Doctor of Chemistry, Professor, Southern Federal University, Russia  
M.H. Rabadanov - Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Dagestan State University, Russia  
E.Z. Emirbekov - Doctor of Biology, Professor, Southern Federal University, Russia  
V.N. Trufanov - Deputy Chairman of the Editorial Board, Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Southern Federal University, Russia  
A.V. Abanin - Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Southern Federal University, Russia  
O.S. Bezuglova - Doctor of Biology, Professor, Southern Federal University, Russia  
N.I. Boiko - Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Southern Federal University, Russia  
A.V. Bochkarev - Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Russia  
V.V. Vnukov - Doctor of Biology, Professor, Southern Federal University, Russia  
L.S. Vorovich - Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Southern Federal University, Russia  
O.N. Dyomina - Doctor of Biology, Professor, Aliev Karachay-Cherkess State University, Russia  
A.G. Zakharov - Doctor of Technical Sciences, Professor, Southern Federal University, Russia  
L.M. Zubov - Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Southern Federal University, Russia  
Ya.M. Erusalimsky - Deputy Chairman of the Editorial Board, Candidate of Physics and Mathematics, Doctor of Technical Sciences, Professor, Southern Federal University, Russia  
M.I. Karjakin - Doctor of Physics and Mathematics, Associate Professor, Southern Federal University, Russia  
S.B. Klimentov - Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Southern Federal University, Russia  
S.I. Kolesnikov - Candidate of Geography, Doctor of Agricultural Science, Professor, Southern Federal University, Russia  
G.V. Kupovykh - Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Southern Federal University, Russia  
S.V. Kurbatov - Doctor of Chemistry, Professor, Southern Federal University, Russia  
A.M. Lerer - Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Southern Federal University, Russia  
V.A. Minoranskiy - Doctor of Agricultural Science, Professor, Southern Federal University, Russia  
V.V. Onishchenko - Doctor of Geography, Professor, Aliev Karachay-Cherkess State University, Russia  
O.V. Nazarenko - Candidate of Geography, Associate Professor, Southern Federal University, Russia  
G.V. Pirogovskaya - Doctor of Agricultural Science, Professor, Institute of Soil Science and Agrochemistry, National Academy of Sciences of Belarus, Belarus  
V.S. Rabinovich - Doctor of Physics and Mathematics, Professor, National Polytechnic Institute, Mexico  
E.S. Sianisyan - Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Southern Federal University, Russia  
Yu.A. Ustinov - Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Southern Federal University, Russia  
P. Fattal - PhD, Professor, University of Nantes, France  
Yu.A. Fedorov - Doctor of Geography, Professor, Southern Federal University, Russia  
A.D. Khovanskiy - Candidate of Geology and Mineralogy, Doctor of Geography, Professor, Southern Federal University, Russia  
E.A. Shinkarenko - Assistant Editor of the Journal, Southern Federal University, Russia  
T.A. Vatulyan - Assistant Editor for Publishing of the Journal, Southern Federal University, Russia

**The Founders**

Dagestan State Technical University,  
Dagestan State University,  
Don State Technical University,  
Berebekov Kabardino-Balkarian State University,  
Kuban State Technological University,  
Rostov State Transport University,  
Rostov State University of Economics,  
Platov South Russian State Technical University,  
Southern Federal University

Magazine released L.S. Vorovich, V.I. Litvinenko, N.G. Shatravkina, M.S. Shipitko

Signed print 16.06.2020. The publication 18.06.2020. Format 60×84 1/8. Offset paper. Font Times.  
Conv. print. sheets 15.11. Publ. sign. 15.50. Edition 250 copies. Order number 7696.

Address of Editorial Board: 344006, Rostov-on-Don, Bolshaya Sadovaya St., 105/42,  
SFU, journal "Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Science",  
e-mail: [izvestiya@sfedu.ru](mailto:izvestiya@sfedu.ru), Web Address: [www.izvestiya.sfedu.ru](http://www.izvestiya.sfedu.ru)

Address of Editorial Board: 344090, Rostov-on-Don, Stachki Ave, 200/1, build. 2, room 110,  
phone +7 (863) 218-40-00 ext. 11-093; ext. 11-094.

Printed in the printing department, and corporate souvenirs,  
Publishing and printing complex KIBI MEDIA CENTER, SFU,  
344090, Rostov-on-Don, Stachki Ave, 200/1, build. 1, room 104, phone (863) 247-80-51

# ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ. СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ РЕГИОН

## BULLETIN OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS. NORTH CAUCASUS REGION

DOI 10.18522/1026-2237-2020-3

*Свидетельство о регистрации*  
ПИ № ФС 77 – 77252 от 25.11.2019,  
выдано Федеральной службой по надзору  
в сфере связи, информационных технологий  
и массовых коммуникаций  
Научный журнал  
Издается с 1973 г.  
Периодичность серии 4 номера в год  
№ 3 (207) 2020 г.

*Registration certificate*  
PI No. FS 77 - 77252 dated 25.11.2019  
issued Federal Service for Supervision  
of Communications, Information Technology,  
and Mass Media  
Science magazine  
Published since 1973.  
4 issues per a year  
No. 3 (207) 2020

### ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

### NATURAL SCIENCE

#### СОДЕРЖАНИЕ

#### CONTENTS

##### ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

##### PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

*Абдулрахман Х., Скороходов В.А.* Двухресурсные сети с магнитной достижимостью..... 4  
*Говорухин В.Н.* Алгоритм идентификации вихревых пятен на основе моделей точечных вихрей..... 11  
*Рустанов А.Р., Полькина Е.А., Харитоновна С.В.* О некоторых аспектах геометрии почти  $C(\lambda)$ -многообразий..... 19  
*Тюриков Е.В.* О некоторых классах корректных задач мембранной теории выпуклых оболочек ..... 25

*Abdulahman H., Skorokhodov V.A.* Biresource Networks with Magnetic Reachability..... 4  
*Govorukhin V.N.* An Algorithm of Vortex Patches Identification Based on Models of Point Vortices ..... 11  
*Rustanov A.R., Polkina E.A., Kharitonova S.V.* On Some Aspects of Geometry of Almost  $C(\lambda)$ -manifolds.. 19  
*Tyurikov E.V.* On Some Classes of Correct Problems in the Membrane Theory of Convex Shells..... 25

##### НАУКИ О ЗЕМЛЕ

##### SCIENCES OF EARTH

*Аджиев А.Х., Куповых Г.В., Гятов Р.А., Керефова З.М.* Взаимосвязь числа дней с грозой и продолжительности гроз по данным визуальных и инструментальных наблюдений..... 30  
*Брель О.А., Зайцева А.И., Кайзер Ф.Ю.* Кемеровская область в Национальном туристическом рейтинге: сравнительный анализ..... 37  
*Куклина Е.Э., Калашников К.И., Балданов Н.Д., Бешенцев А.Н.* Геоинформационная оценка и картографирование динамики урбанизированной территорииг. Улан-Удэ..... 44

*Adzhiev A.H., Kupovykh G.V., Gyatov R.A., Kerefova Z.M.* Relationship Between the Number of Days with Thunderstorms and the Duration of Thunderstorms According to Visual and Instrumental Observations ..... 30  
*Brel O.A., Zaitseva A.I., Kaizer Ph.Yu.* Kemerovo Region in the National Tourist Rating: a Comparative Analysis ..... 37  
*Kuklina E.E., Kalashnikov K.I., Baldanov N.D., Beshentsev A.N.* Geoinformation Assessment and Mapping of Dynamics of the Urbanized Territory of Ulan-Ude City..... 44

<i>Мансуров М.И., Каландаров Б.Г., Керимли У.И., Гусейнов А.И.</i> Распределение золота и сопутствующих рудогенных элементов в золото-медноколчеданных рудах Кызылбулагского месторождения (Малый Кавказ, Азербайджан).....	51	<i>Mansurov M.I., Galandarov B.H., Karimli U.I., Huseynov A.I.</i> Distribution of Gold and Associated Ore-Bearing Elements in Gold-Copper-Pyrite Ores of the Kyzylbulag Deposit (Lesser Caucasus, Azerbaijan).....	51
<i>Маргарян В.Г.</i> О вопросах закономерностей пространственно-временного распределения климатических характеристик максимального ветра (марз Сюник, Армения) .....	60	<i>Margaryan V.G.</i> On the Regularities of the Spatio-Temporal Distribution of Climatic Characteristics of the Maximum Wind (Syunik Marz, Armenia).....	60
<i>Решетняк О.С.</i> Оценка уровня экологического риска в речных экосистемах арктической зоны России .....	69	<i>Reshetnyak O.S.</i> Assessment of the Level of Environmental Risk in River Ecosystems of the Arctic Zone of Russia.....	69
<i>Ткаченко Ю.Ю., Денисов В.И., Перов Е.А.</i> Роль склоновых стоков в подтоплении населенных пунктов в предгорной части Краснодарского края при выпадении локальных ливневых осадков (на примере станицы Баговской 20 мая 2019 г.) .....	79	<i>Tkachenko Yu.Yu., Denisov V.I., Perov E.A.</i> The Role of Slope Runoff in Flooding of Settlements in the Foothills of the Krasnodar Region When Local Rainstorms Fall (on the Example of Bagovskaya Village on May 20, 2019).....	79

### БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Гобарова А.А., Жадобин А.В., Казеев К.Ш., Федоренко А.Н., Колесников С.И.</i> Сравнительная оценка методов при мониторинге почв в вольерах Ростовского-на-Дону зоопарка.....	91	<i>Gobarova A.A., Zhadobin A.V., Kazeev K.Sh., Fedorenko A.N., Kolesnikov S.I.</i> Comparative Evaluation of Methods in Monitoring Soil in Volleys of Rostov-on-Don Zoo .....	91
<i>Малиновская Ю.В., Миноранский В.А., Колесников С.И., Даньков В.И.</i> Мониторинг пресмыкающихся (Reptilia) на территории заповедника «Ростовский» с середины XX в. до 2020 года.....	98	<i>Malinovskaya Yu.V., Minoranskiy V.A., Kolesnikov S.I., Dankov V.I.</i> Reptile Number Observation on the Rostov Nature Reserve Grounds the Middle of 20th Century to 2020 .....	98
<i>Цепина Н.И., Минникова Т.В., Колесников С.И., Казеев К.Ш.</i> Оценка фитотоксичности серебра на почвах разной устойчивости: бурых лесных, черноземах, серопесках.....	107	<i>Tsepina N.I., Minnikova T.V., Kolesnikov S.I., Kazeev K.Sh.</i> Evaluation of Silver Phytotoxicity on Soils of Different Stability: Brown Forest, Chernozem, Sierosands... ..	107

### BIOLOGICAL SCIENCES

### НАУЧНАЯ ЖИЗНЬ

<i>Ватульян А.О., Жуков М.Ю., Карякин М.И., Наседкин А.В.</i> XX Международная конференция «Современные проблемы механики сплошной среды» к 100-летию со дня рождения академика РАН И.И. Воровича .....	113	<i>Vatulyan A.O., Zhukov M.Yu., Karyakin M.I., Nasedkin A.V.</i> XX International Conference “Modern Problems of Continuum Mechanics” for the 100th Anniversary of Academician I. I. Vorovich.....	113
<i>Миноранский В.А.</i> Государственному природному биосферному заповеднику «Ростовский» – 25 лет.....	115	<i>Minoranskiy V.A.</i> State Natural Biosphere Reserve “Rostovsky” - 25 years .....	115

### SCIENTIFIC LIFE

### НАШИ ЮБИЛЯРЫ

<i>Гежа Е.Г.</i> Любовь Семеновна Ворович (к 90-летию со дня рождения).....	118	<i>Gezha E.G.</i> Lyubov Semyonovna Vorovich (to the 90th Anniversary).....	118
<i>Абанин А.В., Ватульян А.О., Карякин М.И., Климентов С.Б., Кусраев А.Г., Устинов Ю.А.</i> Юрий Федорович Коробейник (к 90-летию со дня рождения)..	120	<i>Abanin A.V., Vatulyan A.O., Karyakin M.I., Klimentov S.B., Kusraev A.G., Ustinov Yu.A.</i> Yuri Fedorovich Korobeinik (to the 90th Anniversary).....	120
<i>Карякин М.И., Ерусалимский Я.М., Кряквин В.Д., Грудский С.М., Карапетянц А.Н., Козак А.В., Пилиди В.С., Самко С.Г.</i> Неутомимость и активность (к 80-летию со дня рождения В.С. Рабиновича) .....	123	<i>Karyakin M.I., Erusalimsky Ya.M., Kryakvin V.D., Grudsky S.M., Karapetyants A.N., Kozak A. V., Pilidi V.S., Samko S.G.</i> Indefatigability and Activity (to the 80th Anniversary of V.S. Rabinovich) .....	123
<i>Карякин М.И.</i> Михаил Иванович Чебаков (к 75-летию со дня рождения) .....	127	<i>Karjakin M.I.</i> Mikhail Ivanovich Chebakov (to the 75th Anniversary) .....	127
<i>Казеев К.Ш.</i> Сергей Ильич Колесников – ученый, педагог, наставник (к 50-летию со дня рождения).....	129	<i>Kazeev K.Sh.</i> Sergey Ilyich Kolesnikov - Scientist, Teacher, Mentor (to the 50th Birthday Anniversary).....	129

### OUR PERSONS

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

## PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

УДК 519.1

DOI 10.18522/1026-2237-2020-3-4-10

## ДВУХРЕСУРСНЫЕ СЕТИ С МАГНИТНОЙ ДОСТИЖИМОСТЬЮ

© 2020 г. Х. Абдулрахман<sup>1</sup>, В.А. Скороходов<sup>2</sup><sup>1</sup>Ростовский государственный экономический университет, Ростов-на-Дону, Россия,<sup>2</sup>Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

## BIRESOURCE NETWORKS WITH MAGNETIC REACHABILITY

H. Abdulrahman<sup>1</sup>, V.A. Skorokhodov<sup>2</sup><sup>1</sup>Rostov State University of Economics, Rostov-on-Don, Russia,<sup>2</sup>Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Абдулрахман Хайдар – ассистент, кафедра фундаментальной и прикладной математики, факультет компьютерных технологий и информационной безопасности, Ростовский государственный экономический университет, ул. Большая Садовая, 69, г. Ростов-на-Дону, 344002, Россия, e-mail: abdulrahm.haidar@gmail.com

Haidar Abdulrahman - Assistant, Department of Fundamental and Applied Mathematics, Faculty of Computer Technologies and Information Security, Rostov State University of Economics, B. Sadovaya St., 69, Rostov-on-Don, 344002, Russia, e-mail: abdulrahm.haidar@gmail.com

Скороходов Владимир Александрович – доктор физико-математических наук, доцент, профессор, кафедра алгебры и дискретной математики, Институт математики, механики и компьютерных наук им. И.И. Воровича, Южный федеральный университет, ул. Мильчакова, 8а, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: pdvaskor@yandex.ru

Vladimir A. Skorokhodov - Doctor of Physics and Mathematics, Associate Professor, Professor, Department of Algebra and Discrete Mathematics, Vorovich Institute of Mathematics, Mechanics and Computer Sciences, Southern Federal University, Milchakova St., 8a, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: pdvaskor@yandex.ru

Изучены эргодические двухресурсные сети с магнитной достижимостью. Особенность распределения двух ресурсов в таких сетях – один из ресурсов имеет приоритет при распределении величин ресурсного потока. Ресурс с большим приоритетом называется первым, или главным. Рассмотрены два случая таких сетей. В первом случае для каждой дуги указана только общая пропускная способность, во втором – две величины пропускной способности  $r_1(u)$  и  $r_2(u)$ . Ставится условие, что для каждой дуги и величина второго ресурса, проходящего по ней, не может превышать величину  $r_2(u)$ . Для каждого вида сетей с магнитной достижимостью адаптированы правила распределения ресурсов, основанные на построении вспомогательной сети; для случая полуэргодической вспомогательной сети модифицирован метод нахождения предельного состояния для произвольной величины суммарного ресурса. Для сетей с двойными пропускными способностями разработан метод нахождения порогового значения  $T'$ . Оно является максимальной величиной первого ресурса, при которой оба ресурса распределяются независимо друг от друга. Значение  $T'$  в каждой сети зависит от суммарной величины второго ресурса.

**Ключевые слова:** ресурсная сеть, двухресурсная сеть, распределение потока, нестандартная достижимость, предельное состояние, пороговое значение.

In this paper, ergodic biresource networks with magnetic reachability are studied. A special feature of the distribution of two resources in such networks is that one of the resources has priority in the distribution of resource flow values. A resource with a high priority is called first or main. Two cases of such networks are considered. In the first case, only the total

throughput is specified for each arc. In the second case, two values of throughput  $r_1(u)$  and  $r_2(u)$  are specified for each arc  $u$ , and there are condition that the value of the second resource which is passing through any arc  $u$  cannot exceed the value  $r_2(u)$ . For each type of networks with magnetic reachability, resource allocation rules, which are based on the construction of an auxiliary network, are adapted. For the case of a semi-ergodic auxiliary network, the method for finding the limit state for an arbitrary value of the total resource is modified. Also, for networks with double throughputs, a method for finding the threshold value  $T'$ , which is the maximum value of the first resource at which both resources are distributed independently of each other, is developed. The value of  $T'$  for each network depends on the total value of the second resource.

**Keywords:** resources network, biresource network, flow distribution, nonstandard reachability, limit state, threshold value.

## Введение

Ресурсные сети впервые введены и довольно хорошо исследованы О.П. Кузнецовым и Л.Ю. Жиликовой в работах [1–6]. В частности, в статьях [3, 4] рассмотрены процессы стабилизации потоков в несимметричных ресурсных сетях. Наиболее полно полученные в этой области результаты изложены в [2]. В работе Е.О. Басанговой и Я.М. Ерусалимского [7] введены в рассмотрение новые графовые объекты – графы с ограничениями на достижимость. На них допустимыми являются не все пути, а только те из них, которые удовлетворяют дополнительным условиям формирования последовательности дуг пути. Такие условия называются ограничениями нестандартной достижимости [7–13]. Наиболее полно общая теория графов с ограничениями на достижимость представлена в [8]. В [14] начато изучение двухресурсных сетей, т.е. ресурсных сетей с распределением двух ресурсов. Отличительная особенность таких сетей – один из ресурсов имеет приоритет при распределении. Изучена модель распределения таких ресурсов, разработан метод нахождения порогового значения  $T$  и предельного состояния  $Q^*$  для произвольных суммарных величин ресурсов. В [15] исследованы процессы распределения ресурсов в эргодических сетях с магнитной достижимостью.

Данная статья является продолжением исследований, начатых в работах [14, 15]. Нами изучены процессы распределения ресурсов в двухресурсных сетях с магнитной достижимостью, разработан метод нахождения порогового значения  $T'$ , а также предельного состояния  $Q^*$  для произвольных величин суммарных ресурсов в случае полуэргодической вспомогательной сети.

### Распределение двух ресурсов в сети с магнитной достижимостью

Рассмотрим ресурсную сеть  $G(X, U, f)$ . Состоянием сети в момент времени  $t$  будем называть пару  $(Q_1(t), Q_2(t))$  такую, что

$$Q_1(t) = \begin{pmatrix} q_1^{k,1}(t) & q_2^{k,1}(t) & \dots & q_n^{k,1}(t) \\ q_1^{k-1,1}(t) & q_2^{k-1,1}(t) & \dots & q_n^{k-1,1}(t) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ q_1^{0,1}(t) & q_2^{0,1}(t) & \dots & q_n^{0,1}(t) \end{pmatrix},$$

$$Q_2(t) = \begin{pmatrix} q_1^{k,2}(t) & q_2^{k,2}(t) & \dots & q_n^{k,2}(t) \\ q_1^{k-1,2}(t) & q_2^{k-1,2}(t) & \dots & q_n^{k-1,2}(t) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ q_1^{0,2}(t) & q_2^{0,2}(t) & \dots & q_n^{0,2}(t) \end{pmatrix},$$

где  $q_i^{j,s}(t)$  – величина  $s$ -го ресурса  $j$ -го уровня магнитности  $i$ -й вершины в момент времени  $t$ ,  $i = 1, \dots, n$ ,  $j = 0, \dots, k$ .

Далее будем полагать, что рассматриваемые двухресурсные сети являются эргодическими, а их вспомогательные графы – полуэргодическими.

Для распределения ресурсов на двухресурсной сети с магнитной достижимостью выделим два случая:

1. Первый ресурс вершины  $x_i^j$  глобально является главным. Это означает, что распределение ресурсов происходит в таком порядке: сначала распределяется первый ресурс, имеющий уровень магнитности, равный  $k$ , затем первый ресурс, имеющий меньшие уровни магнитности, и, наконец, второй.

2. Первый ресурс является главным, но с учетом магнитности. Это означает, что сначала распределяется первый ресурс, имеющий уровень магнитности, равный  $k$ , затем второй ресурс, имеющий уровень магнитности, равный  $k$ , далее первый ресурс, имеющий меньшие уровни магнитности, и, наконец, распределяется второй ресурс.

1. *Первый ресурс глобально является главным.*

Будем полагать, что распределение ресурса на вспомогательном графе  $G'$  (а значит, и на исходном графе  $G$ ) происходит по правилам (правила функционирования сети):

$$q_i^\lambda(t+1) = q_i^\lambda(t) - \sum_{j=1}^n F_{ij}^\lambda(t) + \sum_{j=1}^n F_{ij}^\lambda(t), \quad (1)$$

$$\forall i \in [1; n]_Z, \lambda = \{1, 2\},$$

где  $F_{ij}(t) = F_{ij}^1(t) + F_{ij}^2(t)$ ,  $F_{ij}^1(t)$  и  $F_{ij}^2(t)$  – величины первого и второго ресурсных потоков, проходящих по дуге  $u = (v_i; v_j)$  в момент времени  $t$ , определяются следующим образом:

Шаг 1. Величина потока первого ресурса, проходящего по дуге  $u^k$  в момент времени  $t$ , имеет вид

$$F^1(u^k, t) = \min \left\{ r(u^k), \frac{r(u^k)}{\sum_{v \in [x_i^k]^+} r(v)} \cdot q_i^{k,1}(t) \right\}.$$

Шаг 2. Величина потока первого ресурса, проходящего по дуге  $u'$  в момент времени  $t$ , имеет вид

$$F^1(u', t) = \frac{q_i^{\alpha,1}(t)}{\sum_{\alpha=0}^{k-1} q_i^{\alpha,1}(t)} \cdot \frac{r(u') - g_1(u', t)}{\sum_{v \in [x_i^\alpha]^+} r(v) - \sum_{v \in [x_i^k]^+} F^1(v, t)} \times$$

$$\times \min \left\{ \sum_{\alpha=0}^{k-1} q_i^{\alpha,1}(t), \sum_{v \in [x_i^\alpha]^+} r(v) - \sum_{v \in [x_i^k]^+} F^1(v, t) \right\},$$

$$g_1(u', t) = \begin{cases} \text{дуга } u' \text{ соответствует такой дуге } u, \\ F^1(u^k, t), & \text{что } |A_u| = k + 1; \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Шаг 3. Величина потока второго ресурса, проходящего по дуге  $u^k$  в момент времени  $t$ , имеет вид

$$F^2(u^k, t) = \min \left\{ r'(u^k, t), \frac{r'(u^k, t)}{\sum_{v \in [x_i^k]^+} r'(v, t)} \cdot q_i^{k,2}(t) \right\},$$

где  $r'(u', t) = r(u') - \sum_{v \in A_u} F^1(v, t)$ . В случае если

$$r'(u', t) = 0, \text{ будем полагать } F^2(u^k, t) = 0.$$

Шаг 4. Величина потока второго ресурса, проходящего по дуге  $u'$  в момент времени  $t$ , имеет вид

$$F^2(u', t) = \frac{q_i^{\alpha,2}(t)}{\sum_{\alpha=0}^{k-1} q_i^{\alpha,2}(t)} \cdot \frac{r'(u', t) - g_2(u', t)}{\sum_{v \in [x_i^\alpha]^+} r'(v, t) - \sum_{v \in [x_i^k]^+} F^2(v, t)} \times$$

$$\times \min \left\{ \sum_{\alpha=0}^{k-1} q_i^{\alpha,2}(t), \sum_{v \in [x_i^\alpha]^+} r'(v, t) - \sum_{v \in [x_i^k]^+} F^2(v, t) \right\},$$

$$g_2(u', t) = \begin{cases} F^2(u^k, t), & \text{если дуга } u' \text{ соответствует} \\ \text{такой дуге } u, \text{ что } |A_u| = k + 1; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

**Пример 1.** Рассмотрим эргодическую сеть  $G$  с магнитной достижимостью для  $k = 2$  (рис. 1). Дуги сети  $G$  таковы, что  $f(u_1) = (x_1, x_2)$ ,  $f(u_2) = (x_2, x_1)$ ,  $f(u_3) = (x_2, x_3)$ ,  $f(u_4) = (x_3, x_1)$ . Пропускные способности дуг заданы следующим образом:  $r(u_1) = 4$ ,  $r(u_2) = 2$ ,  $r(u_3) = 3$ ,  $r(u_4) = 5$ . Положим  $U_M = \{u_1, u_3, u_4\}$ ,  $U_H = \{u_2\}$ . Вспомогательный граф  $G'$  также показан на рис. 1.

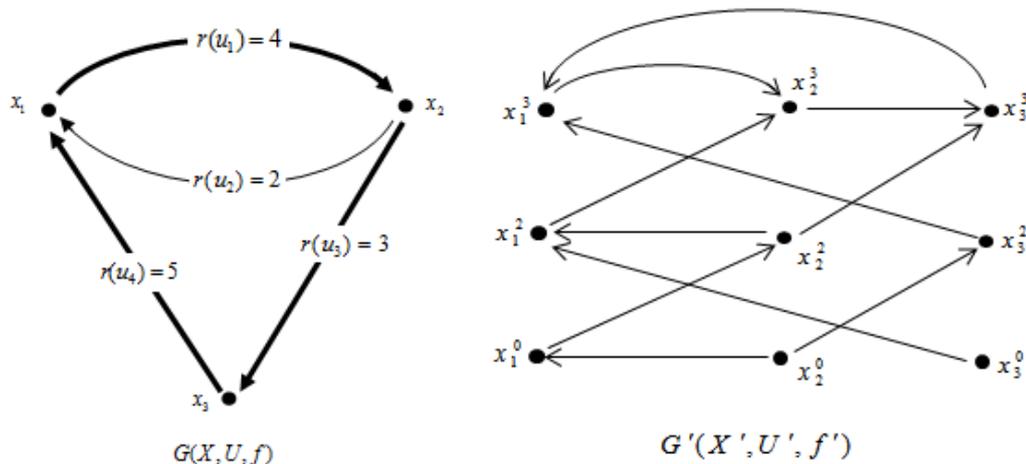


Рис. 1. Сеть  $G$  и вспомогательная сеть  $G'$  / Fig. 1. Network  $G$  and auxiliary network  $G'$

Пусть начальное состояние сети имеет вид

$$\mathbf{Q}_1(0) = \begin{pmatrix} 2 & 2 & 5 \\ 1 & 2 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{Q}_2(0) = \begin{pmatrix} 3 & 3 & 2 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 3 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Вычислим несколько шагов распределения ресурсов и найдём предельное состояние

$$\mathbf{Q}_1(1) = \begin{pmatrix} 5 & 3 & 2,5 \\ 1 & 1,5 & 0,5 \\ 1 & 0,5 & 1 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{Q}_2(1) = \begin{pmatrix} 3 & 3 & 2 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 3 \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{Q}_1(2) = \begin{pmatrix} 4 & 4 & 3 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{Q}_2(2) = \begin{pmatrix} 4 & 3 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 3 \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{Q}_1(3) = \begin{pmatrix} 3 & 5 & 3 \\ 3,5 & 0 & 0 \\ 1,5 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{Q}_2(3) = \begin{pmatrix} 5,25 & 3 & 0 \\ 1,75 & 0 & 0,75 \\ 2 & 0 & 2,25 \end{pmatrix}; \dots;$$

$$\mathbf{Q}_1(11) = \begin{pmatrix} 3 & 9,98 & 3 \\ 0,02 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{Q}_2(11) = \begin{pmatrix} 0 & 11,75 & 0 \\ 2,22 & 0,28 & 0 \\ 0,75 & 0 & 0 \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{Q}_1(12) = \begin{pmatrix} 3 & 10 & 3 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{Q}_2(12) = \begin{pmatrix} 0 & 11,03 & 0 \\ 2,63 & 0,31 & 0 \\ 1,03 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \dots;$$

$$\mathbf{Q}_1^* = \mathbf{Q}_1(12) = \begin{pmatrix} 3 & 10 & 3 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{Q}_2^* = \mathbf{Q}_2(19) = \begin{pmatrix} 0 & 15 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

2. Первый ресурс является главным, но с учетом магнитности.

Будем полагать, что распределение ресурса на вспомогательном графе  $G'$  (а значит, и на исходном графе  $G$ ) происходит по правилам, аналогичным соотношению (1), где величины ресурсных потоков первого и второго ресурсов определяются следующим образом:

Шаг 1. Величины потоков первого и второго ресурсов, проходящих по дуге  $u^k$  в момент времени  $t$ , имеют вид

$$F^1(u^k, t) = \min \left\{ r(u^k), \frac{r(u^k)}{\sum_{v \in [x_i^k]^+} r(v)} \cdot q_i^{k,1}(t) \right\},$$

$$F^2(u^k, t) = \min \left\{ \begin{aligned} & r(u^k) - F^1(u^k, t), \\ & \frac{r(u^k) - F^1(u^k, t)}{\sum_{v \in [x_i^k]^+} r(v) - \sum_{v \in [x_i^k]^+} F^1(v, t)} \cdot q_i^{k,2}(t) \end{aligned} \right\}.$$

Шаг 2. Величины потоков первого и второго ресурсов, проходящих по дуге  $u'$  (где  $(p_1 \circ f)(u') = x_i^\alpha$ ,  $i=1, \dots, n$ ,  $\alpha=0, \dots, k-1$ ) в момент времени  $t$ , имеют вид

$$F^1(u', t) = \frac{q_i^{\alpha,1}(t)}{\sum_{j=0}^{k-1} q_i^{j,1}(t)} \cdot \frac{r(u') - g_3(u', t)}{\sum_{v \in [x_i^\alpha]^+} r(v) - \sum_{v \in [x_i^\alpha]^+} F(v, t)} \times$$

$$\times \min \left\{ \sum_{j=0}^{k-1} q_i^{j,1}(t), \sum_{v \in [x_i^\alpha]^+} r(v) - \sum_{v \in [x_i^\alpha]^+} F(v, t) \right\},$$

$$F^2(u', t) = \frac{q_i^{\alpha,2}(t)}{\sum_{j=0}^{k-1} q_i^{j,2}(t)} \cdot \frac{r(u') - F^1(u', t) - g_3(u', t)}{\sum_{v \in [x_i^\alpha]^+} (r(v) - F^1(v, t)) - \sum_{v \in [x_i^\alpha]^+} F(v, t)} \times$$

$$\times \min \left\{ \sum_{j=0}^{k-1} q_i^{j,2}(t), \sum_{v \in [x_i^\alpha]^+} (r(v) - F^1(v, t)) - \sum_{v \in [x_i^\alpha]^+} F(v, t) \right\},$$

где

$$g_3(u', t) = \begin{cases} F(u^k, t), & \text{если дуга } u' \text{ соответствует} \\ \text{такой дуге } u, \text{ что } |A_u| = k+1; \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

**Пример 2.** Рассмотрим ресурсную сеть  $G$  из примера 1. Начальное состояние определяется по (2)

$$\mathbf{Q}_1(1) = \begin{pmatrix} 5 & 2 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \\ 2 & 1 & 1 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{Q}_2(1) = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 3 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 3 \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{Q}_1(2) = \begin{pmatrix} 3 & 4 & 2 \\ 2,67 & 0,33 & 0 \\ 2,67 & 0,33 & 1 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{Q}_2(2) = \begin{pmatrix} 4 & 3 & 1 \\ 0,33 & 0,67 & 1 \\ 1,33 & 0,67 & 3 \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{Q}_1(3) = \begin{pmatrix} 2 & 4 & 3 \\ 3,67 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0,33 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{Q}_2(3) = \begin{pmatrix} 4,33 & 4 & 0 \\ 2 & 0 & 0,67 \\ 2 & 0 & 2 \end{pmatrix}; \dots;$$

$$\mathbf{Q}_1(18) = \begin{pmatrix} 3 & 9,91 & 3 \\ 0,09 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \mathbf{Q}_2(18) = \begin{pmatrix} 0 & 9,8 & 0 \\ 3,29 & 0,3 & 0 \\ 1,61 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \dots;$$

$$\mathbf{Q}_1(19) = \mathbf{Q}_1^* = \begin{pmatrix} 3 & 10 & 3 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \mathbf{Q}_2(19) = \begin{pmatrix} 0 & 10,41 & 0 \\ 2,98 & 0,3 & 0 \\ 1,31 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \dots;$$

$$\mathbf{Q}_1^* = \begin{pmatrix} 3 & 10 & 3 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \mathbf{Q}_2^* = \mathbf{Q}_2(27) = \begin{pmatrix} 0 & 15 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

### Распределение двух ресурсов в сети с магнитной достижимостью и пропускными способностями для каждого ресурса

Рассмотрим двухресурсную сеть  $G$  такую, что для каждой ее дуги  $u$  указаны две величины пропускной способности:  $r_1(u)$ ,  $r_2(u)$ . При этом имеет место условие: величина второго ресурса, проходящего по дуге  $u$ , не может превышать величину  $r_2(u)$ , т.е.  $F^2(u) \leq r_2(u)$ .

Рассмотрим два случая для распределения ресурса на вспомогательной сети двухресурсной сети с магнитной достижимостью и двумя пропускными способностями: 1. Первый ресурс глобально является главным. 2. Первый ресурс является главным с учётом магнитности.

1. *Первый ресурс глобально является главным.*

Распределение ресурсов на вспомогательном графе  $G'$  происходит следующим образом:

Пусть дуги  $u^k$  и  $u'$ , соответствующие дуге  $u$  исходного графа, такой что  $(p_1 \circ f)(u^k) = x_i^k$ ,  $(p_1 \circ f)(u') = x_i^\alpha$  (где  $i = 1, \dots, n$ ,  $\alpha = 0, \dots, k-1$ ). Тогда в шагах 1 и 2 рассмотрим вспомогательный граф  $G'$  с состоянием  $\mathbf{Q}_1(t)$  и пропускными способностями

$$r_1(u^k) = r_1(u') = r_1(u),$$

$$r_2(u^k) = r_2(u') = r_2(u), \quad \text{т.е.}$$

$$r(u^k) = r_1(u^k) + r_2(u^k) = r(u) \quad \text{и}$$

$r(u') = r_1(u') + r_2(u') = r(u)$ . Для них находим величины потоков первого ресурса на вспомогательном графе, т.е. величины  $F^1(u^k, t)$  и  $F^1(u', t)$ .

В шагах 3 и 4 рассмотрим вспомогательный граф  $G'$  с состоянием  $\mathbf{Q}_2(t)$  и дугами  $u^k$  и  $u'$ , которые имеют пропускные способности

$$r'(u^k, t) = r'(u', t) = \min \left\{ r_2(u), r(u) - \sum_{v \in A_u} F^1(v, t) \right\} \quad \text{в}$$

момент времени  $t$ . Для них находим величины потоков второго ресурса, т.е. величины  $F^2(u^k, t)$  и  $F^2(u', t)$ . Таким образом, проходящие потоки по дугам  $u^k$  и  $u'$  в момент времени  $t$  имеют вид  $F(u^k, t) = F^1(u^k, t) + F^2(u^k, t)$  и  $F(u', t) = F^1(u', t) + F^2(u', t)$  соответственно.

2. *Первый ресурс является главным с учетом магнитности.* Распределение ресурсов на вспомогательном графе  $G'$  происходит следующим образом:

Шаг 1. Величины потоков первого и второго ресурсов, проходящих по дуге  $u^k$  в момент времени  $t$ , имеют вид

$$F^1(u^k, t) = \min \left\{ r(u^k), \frac{r(u^k)}{\sum_{v \in [x_i^k]^+} r(v)} \cdot q_i^{k,1}(t) \right\},$$

$$F^2(u^k, t) = \min \left\{ r_2(u^k), r(u^k) - F^1(u^k, t), \frac{\min \{ r_2(u^k), r(u^k) - F^1(u^k, t) \}}{\sum_{v \in [x_i^k]^+} \min \{ r_2(v), r(v) - F^1(v, t) \}} \cdot q_i^{k,2}(t) \right\}.$$

Шаг 2. Рассмотрим дугу  $u'$ , где  $(p_1 \circ f)(u') = x_i^\alpha$ ,  $i = 0, 1, \dots, n$ ,  $\alpha = 0, \dots, k-1$ , соответствующую дуге  $u$  исходного графа. Данная дуга имеет пропускные способности  $r'_1(u', t) = r_1(u) - \min \{ r_1(u), F^1(u^k, t) \}$  и  $r'_2(u', t) := r_2(u) - F^2(u^k, t)$ . Положим  $r'(u', t) = r'_1(u', t) + r'_2(u', t)$ . Тогда величины потоков первого и второго ресурсов, проходящих по дуге  $u'$  в момент времени  $t$ , имеют вид

$$F^1(u', t) = \min \left\{ r'(u', t), \frac{r'(u', t)}{\sum_{v \in [x_i^\alpha]^+} r'(v, t)} \cdot q_i^{\alpha,1}(t) \right\},$$

$$F^2(u', t) = \min \left\{ r'_2(u', t), r'(u', t) - F^1(u', t), \frac{\min \{ r'_2(u', t), r'(u', t) - F^1(u', t) \}}{\sum_{v \in [x_i^\alpha]^+} \min \{ r'_2(v, t), r'(v, t) - F^1(v, t) \}} \cdot q_i^{\alpha,2}(t) \right\}.$$

$$\left. \begin{array}{l} \min\{r'_2(u',t), r'(u',t) - F^1(u',t)\} \\ \sum_{v \in \{u'_i\}^+} \min\{r'_2(v,t), r'(v,t) - F^1(v,t)\} \cdot q_i^{\alpha,2}(t) \end{array} \right\}.$$

### Предельное состояние и пороговое значение в случае полуэргодической вспомогательной сети

Рассмотрим задачи нахождения предельного состояния и порогового значения  $T'$  в эргодической двухресурсной сети  $G$  с магнитной достижимостью и парой пропускных способностей для каждой дуги, имеющей полуэргодическую вспомогательную сеть  $G'$ . Здесь пороговым значением  $T'$  является максимальная суммарная величина первого ресурса, для которой оба ресурса в сети распределяются независимо друг от друга.

Поскольку вспомогательная сеть  $G'(X',U',f')$  является полуэргодической, на ней можно выделить единственную изолированную компоненту сильной связности  $G''(X'',U'',f'')$ . Заметим, что величины предельных потоков, проходящих по дугам  $U' \setminus U''$ , будут равны нулю. Последнее означает, что в предельном состоянии суммарный поток первого и второго ресурсов распределяется только на подграфе  $G''$ , т.е. пороговое значение  $T'$  можно находить пошагово.

Шаг 1. Рассмотрим вспомогательную сеть  $G'$  с одним ресурсом  $Q_2$  и одной пропускной способностью  $r_2(u')$ . Тогда предельное состояние  $Q_2^*$  и пороговое значение  $T_2$  можно найти так, как это было показано в работе [14]. Здесь отметим два случая.

Если  $W_2 > T_2$ , то предельное состояние  $Q_2^*$  на вспомогательном графе  $G'$  зависит от начального состояния в сети [4, 6].

Если  $W_2 \leq T_2$ , то предельное состояние  $Q_2^*$  существует и единственно в случае регулярности компоненты  $G''$ . Если же компонента является  $k$ -циклической ( $k > 0$ ), то единственность предельного состояния  $Q_2^*$  может быть только в случае  $W_2 = T_2$  [5, 16].

Шаг 2. Обозначим через  $q_v^{2*}$  величину предельного потока, проходящего по дуге  $v$ . Рассмотрим вспомогательный граф  $G'$  с пропускными способностями дуг, равными  $\tilde{r}(v) = r(v) - q_v^{2*}$ , с одним ресурсом  $Q_1$ . Согласно [15], построим систему уравнений, описывающую правила функционирования сети относительно неизвестных  $z_\varepsilon$ . Решение данной системы существует и единственно [15], а

величина порогового значения  $T'$  первого ресурса может быть определена по формуле

$$T' = \sum_{\varepsilon=1}^{n(k+1)} z_\varepsilon.$$

**Пример 3.** Рассмотрим двухресурсную сеть  $G$  из примера 1. Положим  $r_1(u_1) = 4$ ,  $r_2(u_1) = 1$ ,  $r_1(u_2) = 2$ ,  $r_2(u_2) = 3$ ,  $r_1(u_3) = 3$ ,  $r_2(u_3) = 3$ ,  $r_1(u_4) = 2$ ,  $r_2(u_4) = 5$ . Пусть начальное распределе-

ние второго ресурса имеет вид  $Q_2(0) = \begin{pmatrix} 3 & 3 & 2 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 3 \end{pmatrix}$ .

Тогда  $T' = 12$ .

### Литература

1. Kuznetsov O.P., Zhilyakova L.Yu. Bidirectional resource networks: a new flow model // Doklady Mathematics. 2010. Vol. 82, No. 1. P. 643–646.
2. Жилиякова Л.Ю., Кузнецов О.П. Теория ресурсных сетей. М.: РИОР: ИНФРА-М, 2017. 283 с.
3. Zhilyakova L.Yu. Asymmetrical Resource Networks. I. Stabilization Processes for Low Resources // Automation and Remote Control. 2011. Vol. 72, No. 4. P. 798–807.
4. Zhilyakova L.Yu. Asymmetric resource networks. III. A study of limit states // Automation and Remote Control. 2012. Vol. 73, No. 7. P. 1165–1172.
5. Жилиякова Л.Ю. Эргодические циклические ресурсные сети. I. Колебания и равновесные состояния при малых ресурсах // Управление большими системами. М.: ИПУ РАН, 2013. Вып. 43. С. 34–54.
6. Жилиякова Л.Ю. Эргодические циклические ресурсные сети. II. Большие ресурсы // Управление большими системами. М.: ИПУ РАН, 2013. Вып. 45. С. 6–29.
7. Басангова Е.О., Ерусалимский Я.М. Частично ориентированные графы и различные виды смешанной достижимости // Алгебра и дискретная математика. Элиста, 1985. С. 70–75.
8. Ерусалимский Я.М., Скороходов В.А., Кузьмина М.В., Петросян А.Г. Графы с нестандартной достижимостью: задачи, приложения. Ростов н/Д.: Изд-во Южн. фед. ун-та, 2009. 195 с.
9. Ерусалимский Я.М., Скороходов В.А. Достижимость на графах с условиями затухания и усиления // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2004. Спецвыпуск: Математика и механика сплошной среды. С. 110–112.
10. Ерусалимский Я.М., Скороходов В.А. Общий подход к нестандартной достижимости на графах // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2005. Спецвыпуск: Псевдодифференциальные уравнения и некоторые проблемы математической физики. С. 64–67.

11. Ерусалимский Я.М., Скороходов В.А. Графы с вентильной достижимостью. Марковские процессы и потоки в сетях // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2003. № 3. С. 3–5.

12. Ерусалимский Я.М. Графы с затуханием на дугах и усилением в вершинах и маршрутизация в информационных сетях // Инженерный вестник Дона. 2015. № 1. URL: [www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2782](http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2782) (дата обращения: 25.06.2020).

13. Skorokhodov V.A., Chebotareva A.S. The Maximum Flow Problem in a Network with Special Conditions of Flow Distribution // J. of Applied and Industrial Mathematics. 2015. Vol. 9, No. 3. P. 435–446.

14. Абдулрахман Х., Скороходов В.А. Полные двух-ресурсные сети с петлями // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2016. № 2. С. 10–16.

15. Абдулрахман Х., Скороходов В.А. Ресурсные сети с магнитной достижимостью // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2016. № 4. С. 4–10.

16. Скороходов В.А. Задача нахождения порогового значения в эргодической ресурсной сети // Управление большими системами. М.: ИПУ РАН, 2016. Вып. 63.С. 6–23.

#### References

1. Kuznetsov O.P., Zhilyakova L.Yu. (2010). Bidirectional resource networks: a new flow model. *Doklady Mathematics*, vol. 82, No. 1, pp. 643-646.

2. Zhilyakova L.Yu., Kuznetsov O.P. (2017). *The theory of resource networks*. Moscow, RIOR, INFRA-M Publ., 283 p. (in Russian).

3. Zhilyakova L.Yu. (2011). Asymmetrical Resource Networks. I. Stabilization Processes for Low Resources. *Automation and Remote Control*, vol. 72, No. 4, pp. 798-807.

4. Zhilyakova L.Yu. (2012). Asymmetric resource networks. III. A study of limit states. *Automation and Remote Control*, vol. 73, No. 7, pp. 1165-1172.

5. Zhilyakova L.Yu. (2013). Ergodic cyclical resource network. I. Oscillations and equilibrium states with small resources. *Administration of large systems*. Moscow, Institute of Management Problems Puss, RAS, iss. 43, pp. 34-54. (in Russian).

6. Zhilyakova L.Yu. (2013). Ergodic cyclic resource networks. II. Large resources. *Administration of large systems*. Moscow, Institute of Management Problems Puss, RAS, iss. 45, pp. 6-29. (in Russian).

7. Basangova E.O., Erusalimskiy Ya.M. (1985). Partially oriented graphs and various types of mixed reachability. *Algebra and discrete mathematics*, Elista, pp. 70-75. (in Russian).

8. Erusalimskiy Ya.M., Skorokhodov V.A., Kuz'minova M.V., Petrosyan A.G. (2009). *Graphs with non-standard reachability: problems, applications*. Rostov-on-Don, Southern Federal University Press, 195 p. (in Russian).

9. Erusalimskiy Ya.M., Skorokhodov V.A. (2004). Reachability on graphs with attenuation and amplification conditions. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskii region. Estestvennye nauki (Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Science)*. Special Issue: *Mathematics and Continuum Mechanics*, pp. 110-112. (in Russian).

10. Erusalimskiy Ya.M., Skorokhodov V.A. (2005). General approach to nonstandard reachability on graphs. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskii region. Estestvennye nauki (Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Science)*. Special Issue: *Pseudodifferential Equations and Some Problems of Mathematical Physics*, pp. 64-67. (in Russian).

11. Erusalimskiy Ya.M., Skorokhodov V.A. (2003). Graphs with valve reachability. Markov processes and flows in networks. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskii region. Estestvennye nauki (Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Science)*, No. 3, pp. 3-5. (in Russian).

12. Erusalimskiy Ya.M. (2015). Graphs with attenuation on arcs and amplification in vertices and routing in information networks. *Inzhenernyi vestnik Dona*, No. 1. Available at: [www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2782](http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2782) (accessed June 25, 2020). (in Russian).

13. Skorokhodov V.A., Chebotareva A.S. (2015). The Maximum Flow Problem in a Network with Special Conditions of Flow Distribution. *Journal of Applied and Industrial Mathematics*, vol. 9, No. 3, pp. 435-446.

14. Abdulrahman H., Skorokhodov V.A. (2016). Complete biresources networks with loops. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskii region. Estestvennye nauki (Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Science)*, No. 2, pp. 10-16. (in Russian).

15. Abdulrahman H., Skorokhodov V.A. (2016). Resource network with magnetic reachability. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskii region. Estestvennye nauki (Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Science)*, No. 4, pp. 4-10. (in Russian).

16. Skorokhodov V.A. (2016). The problem of finding the threshold value in ergodic resource networks. *Administration of large systems*, Moscow, Institute of Management Problems Puss, RAS, iss. 63, pp. 6-23. (in Russian).

УДК 532.54: 51-72

DOI 10.18522/1026-2237-2020-3-11-18

## АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ ВИХРЕВЫХ ПЯТЕН НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ ТОЧЕЧНЫХ ВИХРЕЙ\*

© 2020 г. В.Н. Говорухин<sup>1</sup><sup>1</sup>Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

## AN ALGORITHM OF VORTEX PATCHES IDENTIFICATION BASED ON MODELS OF POINT VORTICES

V.N. Govorukhin<sup>1</sup><sup>1</sup>Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Говорухин Василий Николаевич – кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра теоретической и компьютерной гидроаэродинамики, Институт математики, механики и компьютерных наук им. И.И. Ворovichа, Южный федеральный университет, ул. Мильчакова, 8а, г. Ростов н/Д, 344090, Россия, e-mail: vngovoruhin@sfnu.ru

Vasily N. Govorukhin - Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Department of Theoretical and Computational Hydroaerodynamics, Vorovich Institute of Mathematics, Mechanics and Computer Science, Southern Federal University, Milchakova St., 8a, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: vngovoruhin@sfnu.ru

Предложен алгоритм идентификации плоского вихревого течения жидкости по известным векторам скорости в конечном наборе точек в области потока. Для описания приближения вихревой структуры используется математическая модель системы точечных вихрей. Параметрами, подлежащими определению и характеризующими течение, являются количество точечных вихрей, их координаты и интенсивность. Неизвестные параметры определяются в результате минимизации функционала, связывающего известные векторы скорости и скорости модельного течения системы вихрей в тех же точках области. Представлена реализация алгоритма с использованием метода градиентного спуска для простейшего случая – одного вихревого пятна. Проведены вычислительные эксперименты, которые показали эффективность разработанного метода.

**Ключевые слова:** идентификация течения жидкости, вихревая структура, точечные вихри, метод градиентного спуска.

An algorithm for identifying a plane vortex fluid flow from known velocity vectors at a finite set of points in the flow region is proposed. To describe the approximation of the vortex structure, a mathematical model of the system of point vortices is used. The parameters to be determined and characterizing the flow are the number of point vortices, their coordinates, and intensity. Unknown parameters are determined as a result of minimizing the functional that relates the known velocity vectors and the velocity model flows of the vortex system at the same points in the region. An implementation of the algorithm for the simplest case, one vortex patch, is presented. Computational experiments were carried out, which showed the effectiveness of the developed method.

**Keywords:** fluid flow identification, vortex structure, point vortices, gradient descent method.

\*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), проект № 19-29-06013\19.

## Введение

Анализ структуры вихревых течений необходим при описании и для понимания многих явлений в гидроаэродинамике. К ним можно отнести оптимизацию характеристик летательных аппаратов, технологических установок, прогнозирование перемещений воздушных и морских масс, и др. Структура течений во многом определяет свойства переноса в потоках, затраты энергии на перемещение, а её перестройка обычно приводит к качественным изменениям гидродинамических процессов. Анализ структуры течения часто сводится к проблеме поиска и распознавания вихревых пятен, которые являются своего рода каркасом потока. Методы идентификации вихрей развиваются уже несколько десятилетий. Анализируются синоптические потоки, астрофизические явления, турбулентность, изучается вихревой след за летательными аппаратами, визуализация течений [1–4]. Наиболее популярные детерминированные методы основаны на компьютерном моделировании процессов с анализом легко вычисляемых характеристик течения (тензор градиента скорости, собственные числа векторного поля, скорость вращения частиц жидкости, и др.). Эффективными являются методы, основанные на подходах теории динамических систем, в частности изучение особых точек поля скорости течения [5]. Сравнительный анализ нескольких методов дан в [1], обзор методов идентификации вихрей на основе вычисления их различных характеристик применительно к проблемам визуализации течений – в [6]. Альтернативными детерминированным являются методы статистического анализа [3] и машинного обучения [7]. Однако для эффективной работы перечисленных подходов необходим большой объём информации о течении.

При исследовании вихревых структур чаще рассматривают прямые задачи, когда известны характеристики моделируемого объекта, а в результате измерений или вычислений получают поле скоростей течения, что позволяет анализировать его структуру [8]. Неменьший интерес представляют обратные задачи, когда известны характеристики потока в некоторых точках или областях течения, а неизвестным является объект (циклон, летательный аппарат или другой источник), порождающий наблюдаемые величины. Одной из возможных постановок обратной задачи идентификации летательных аппаратов может быть восстановление их характеристик по порождаемому полю скорости (завихренности) и оставляемому вихревому следу. По интенсивности вихревых пятен и их расположению можно оценить размеры и тип летательного

аппарата, а по структуре вихревого следа – скорость его перемещения. Известны полуэмпирические методы решения подобных задач, основанные на экспериментальных данных и физических законах, например алгоритмы идентификации вертолета по производимым им акустическим волнам [9]. Обратные задачи обычно не только трудны для решения, но могут оказаться некорректными, а построенные различными методами решения – не единственными.

Решение в полной трехмерной постановке подобных задач требует детальной информации о поле скоростей жидкости или газа и вычислительно затратно. Однако известно, что достаточно сложные вихревые течения жидкости хорошо описываются относительно простыми моделями точечных вихрей.

Цель данной статьи – попытка разработки простого и быстрого алгоритма для оценки расположения и интенсивностей вихрей в структуре плоского течения на основе знания вектора скорости течения в конечном наборе точек с помощью формализма точечных вихрей.

## Формулировка задачи

Сформулируем задачу, рассматриваемую в статье, а также предполагаемые допущения и математический аппарат, используемый для разработки алгоритма анализа структуры течения.

Рассматривается плоское вихревое течение жидкости или газа, для которого известен (в результате измерений, наблюдений или вычислений) вектор скорости в наборе из  $N$  точек в некоторый момент времени:

$$P = \left( x_i, y_i, \mathbf{v}^{(i)} = \left( v_1^{(i)}, v_2^{(i)} \right) \right), i = 1, \dots, N, \quad (1)$$

где  $x_i, y_i$  – координаты точек;  $v_1^{(i)}, v_2^{(i)}$  – соответствующие им компоненты вектора скорости. По данным  $P$  требуется построить приближение поля скорости в окрестности заданных точек, вычислить координаты центров и интенсивности вихревых пятен, формирующих структуру течения.

В общей постановке эта проблема трудно решается. Возможным способом приближения и исследования «моментального» (в конкретный момент времени) поля скорости могут быть его аппроксимация по (1) и последующий анализ структуры течения методами теории динамических систем. Для реализации этого подхода требуется информация для большого набора  $P$ , что не всегда возможно. В статье будем рассматри-

вать небольшие значения  $N$ , когда такой способ практически неприменим.

Известно, что точечные вихри во многих случаях адекватно описывают динамику вихревых течений на плоскости. В частности, в основе широко используемых вихревых численных методов решения нестационарных задач динамики жидкости [10] лежит аппроксимация поля скорости системой точечных вихрей [11]. Структуры линий тока в окрестности точечного и сосредоточенного распределенного вихрей топологически эквивалентны и представляют собой замкнутые окружности. Также качественно одинаковы и векторные поля, порождаемые ими вблизи центров вихрей. Все перечисленное позволяет предположить эффективность использования формализма точечных вихрей для приближенного решения идентификации вихревой структуры.

Далее будем предполагать, что данные набора  $P$  соответствуют вихревой конфигурации, определяющей течение с полем скорости, топологически близким полю, порождаемому системой точечных вихрей. Такими конфигурациями, например, являются изолированный сосредоточенный распределенный вихрь, дипольная структура вихрей, окрестность центра вихревого пятна и многие более сложные конфигурации. Кроме того, будем считать, что известное «моментальное» поле скорости близко к стационарному.

Приведем основные уравнения математической модели системы точечных вихрей на плоскости в отсутствие вязкости жидкости. Подробное изложение теории точечных вихрей можно найти в [12, 13]. Динамика системы  $K$  точечных вихрей с координатами  $(x_k, y_k)$ ,  $k = 1, \dots, K$ , интенсивностями  $\omega_k$  описывается следующей системой  $2K$  обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\dot{x}_k = -\frac{1}{2\pi} \sum_{j \neq k}^K \frac{\omega_j (y_k - y_j)}{d_{kj}^2}, \quad \dot{y}_k = \frac{1}{2\pi} \sum_{j \neq k}^K \frac{\omega_j (x_k - x_j)}{d_{kj}^2}, \quad (2)$$

где  $k = 1, \dots, N$ ; точка обозначает дифференцирование по  $t$ ;  $d_{kj} = \sqrt{(x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2}$  – расстояние между вихрями с номерами  $k$  и  $j$ . Для корректности задачи динамики вихрей система (2) должна быть дополнена начальными условиями при  $t = 0$ . Система уравнений (2) может быть записана в гамильтоновой форме:

$$\omega_k \dot{x}_k = \frac{\partial H}{\partial y_k}, \quad \omega_k \dot{y}_k = -\frac{\partial H}{\partial x_k}, \quad H = -\frac{1}{4\pi} \sum_{j \neq k}^K \omega_k \omega_j \ln d_{kj}^2. \quad (3)$$

Из (3) следует, что значение гамильтониана  $H$  сохраняется со временем  $t$ . Система точечных вихрей в каждый момент времени  $t$  определяет на плоскости поле скорости, которое задается функцией тока

$$\psi(x, y) = -\frac{1}{4\pi} \sum_{j=1}^K \omega_k \ln \left[ (x - x_j)^2 + (y - y_j)^2 \right]. \quad (4)$$

Компоненты скорости в точке с координатами  $(x, y)$  выражаются через функцию тока

$$V_1(x, y) = \frac{\partial \psi(x, y)}{\partial y}, \quad V_2(x, y) = -\frac{\partial \psi(x, y)}{\partial x}. \quad (5)$$

Заметим, что скорость каждого точечного вихря обусловлена всеми вихрями. Динамика частицы жидкости с координатами  $(x(t), y(t))$  и нулевой завихренностью в поле скорости системы точечных вихрей определяется системой уравнений

$$\dot{x}(t) = \frac{\partial \psi(x(t), y(t))}{\partial y}, \quad \dot{y}(t) = -\frac{\partial \psi(x(t), y(t))}{\partial x}. \quad (6)$$

Отметим, что (4) является гамильтонианом системы (6), но зависящим от времени. Имеются аналогичные математические модели динамики точечных вихрей в полуплоскости, ограниченной твердой стенкой [12], кольцевых, прямоугольных и других ограниченных плоских областях [13–15].

### Алгоритм идентификации вихрей

Предположим, что скорости течения набора  $P$  приближаются векторным полем системы точечных вихрей (5). Для реализации алгоритма в первую очередь нужно определить понятие близости векторных полей. То есть какие векторные наборы мы будем считать близкими и в каком смысле. Иными словами, для реализации алгоритма необходимо определить меру сходства между векторными полями.

Сходство между двумя векторами на плоскости можно характеризовать разницей их длин и углом между ними. Обе характеристики должны фигурировать в вычисляемой мере сходства векторных полей. Выберем две простые характеристики. Пусть имеются два вектора  $\mathbf{W} = (W_1, W_2)$  и  $\mathbf{U} = (U_1, U_2)$ . Определим для них следующие характеристики:

$$d(\mathbf{W}, \mathbf{U}) = \frac{\sqrt{(W_1 - U_1)^2 + (W_2 - U_2)^2}}{\|\mathbf{W}\| \|\mathbf{U}\|}, \quad \phi(\mathbf{W}, \mathbf{U}) = 1 - \frac{W_1 U_1 + W_2 U_2}{\|\mathbf{W}\| \|\mathbf{U}\|}. \quad (7)$$

Очевидно, что если векторы  $\mathbf{W}$  и  $\mathbf{U}$  совпадают, то  $d(\mathbf{W}, \mathbf{U}) = 0$  и  $\phi(\mathbf{W}, \mathbf{U}) = 0$ . Если векторы различны, то обе величины (7) положительны. Ситуа-

ция существенно осложняется, если необходимо сравнить два набора из  $N$  векторов, например  $P$  и  $Q = (x_i, y_i, \mathbf{V}^{(i)} = (V_1^{(i)}, V_2^{(i)}))$ ,  $i = 1, \dots, N$ , с совпадающими координатами  $x_i, y_i$ . Нужно определить легко вычисляемую величину, которая будет равна нулю при совпадении всех векторов и положительна – в противном случае. Мы будем использовать следующее выражение, обладающее этим свойством:

$$\sigma(P, Q) = \sum_{i=1}^N c_i d(\mathbf{v}^{(i)}, \mathbf{V}^{(i)}) + \sum_{i=1}^N C_i \phi(\mathbf{v}^{(i)}, \mathbf{V}^{(i)}). \quad (8)$$

В выражении (8)  $c_i$  и  $C_i$  – весовые коэффициенты, которые также могут зависеть от характеристик векторов. Далее в этой работе веса принимаются равными положительным константам для всех  $i$  и каждой из сумм в (8).

Для идентификации вихревой конфигурации  $P$  в качестве второго (поверочного) набора векторов в  $Q$  будем использовать векторное поле (5), порождаемое системой точечных вихрей. Выполнение  $\sigma(P, Q) = 0$  будет означать, что векторное поле  $P$  совпадает с полем скорости  $Q$ , а значит, структура соответствующего вихревого течения в данный момент времени полностью описывается системой точечных вихрей. Однако при количественном различии векторных полей, но качественно эквивалентной их структуре  $\sigma(P, Q) \neq 0$ . Поэтому для приближения  $P$  вместо условия  $\sigma(P, Q) = 0$  мы будем использовать более слабое условие минимизации выражения (5) в пространстве характеристик конфигурации точечных вихрей. Такими характеристиками являются:  $K$  – количество точечных вихрей;  $G = (\omega_k, x_k, y_k)$ ,  $k = 1, \dots, K$ , – их интенсивности и координаты на плоскости. Отметим, что  $K$  – целое число, а остальные величины действительны. Это означает, что для анализа вихревой конфигурации  $P$  нужно последовательно рассматривать системы для  $K = 1, 2, \dots$  до качественного установления результатов. Другим возможным подходом могут быть разбиение области течения на ячейки и анализ приближения для  $K = 1$  в каждой подобласти. В результате может быть оценена структура вихревой конфигурации: приближены центры вихревых пятен, их расположение, оценена их интенсивность.

Для минимизации (8) можно применять методы спуска, Ньютона или комбинированные алгоритмы. В данной работе для этого используется метод градиентного спуска. Далее приведем шаги предлагаемого алгоритма.

0. Поиск максимального по длине вектора  $\mathbf{v}_{\max}$  набора  $P$ . Нормировка векторов  $\mathbf{v}^{(i)} = \frac{\mathbf{v}^{(i)}}{\|\mathbf{v}_{\max}\|}$ . Зада-

ние начального ( $j = 0$ ) приближения конфигурации точечных вихрей  $G^{(0)} = (\omega_k^{(0)}, x_k^{(0)}, y_k^{(0)})$ ,  $k = 1, \dots, K$ . Определение параметров метода: начального шага метода градиентного спуска  $h$ , шага для аппроксимации вектора градиента с помощью центральных разностей  $\delta$ , точности  $\epsilon$ . Вычисление в точках с координатами  $(x_i, y_i)$ ,  $i = 1, \dots, k$ , заданных набором  $P$ , векторов набора  $Q^{(0)}$  с помощью выражений для компонент скорости (5) при параметрах вихревой конфигурации  $G^{(0)}$ .

1. Нормировка поля  $Q^{(j)} = Q^{(j)} / \|\mathbf{v}_{\max}\|$ .  
2. Расчет вектора градиента  $\mathbf{F}^{(j)} = \nabla \sigma(P, Q^{(j)})$  размерностью  $3K$ . По каждой из характеристик  $Q^{(j)}$  вводятся возмущения  $\pm \delta$ , строятся поля вида (5) при возмущениях, рассчитывается соответствующее значение (8), вычисляется аппроксимация компоненты вектора  $\mathbf{F}^{(j)}$  центральными конечными разностями.

3. Проверка условия  $\|\mathbf{F}^{(j)}\| < \epsilon$ . Если условие выполнено, то найдено приближение вихревой конфигурации  $Q^{(j)}, G^{(j)}$  и вычисления останавливаются. Если условие не выполнено, то переход к п. 4 алгоритма.

4. Вычисление  $\hat{G} = G^{(j)} - h\mathbf{F}^{(j)}$ , векторов  $\sigma(P, \hat{Q})$ .

5. Проверка условия  $\sigma(P, \hat{Q}) \leq \sigma(P, Q^{(j)})$ . Если условие выполнено, то  $h=1,05h$ ;  $Q^{(j)} = \hat{Q}$ ; иначе  $h=h/2$ ,  $j = j + 1$ . Переход к п. 1 алгоритма.

## Численные эксперименты

Проведем тестовые расчеты для простейшего случая – одного вихревого пятна на плоскости,  $K = 1$ . В качестве наборов векторов в  $P$  будем рассматривать:

$$\text{а) } P = (x_i, y_i, \mathbf{v}^{(i)} = (V_1(x_i, y_i), V_2(x_i, y_i))), \quad (9)$$

$$i = 1, \dots, N$$

где  $\mathbf{V} = (V_1(x_i, y_i), V_2(x_i, y_i))$  – векторы поля (5), порожденные точечным вихрем с интенсивностью  $\omega_1 = 1$ , расположенным в точке  $x_1 = 0,15$ ,  $y_1 = 0,13$ ;

$$\text{б) } P = (x_i, y_i, \mathbf{v}^{(i)} = (V_1 + rR\|\mathbf{V}\|, V_2 + rR\|\mathbf{V}\|)), \quad (10)$$

$$i = 1, \dots, N.$$

В (10)  $r$  – случайное число из интервала  $[-1,1]$ , а параметр  $R \in [0,1]$ .

Примеры наборов векторов приведены на рис. 1. Целью экспериментов является изучение эффективности алгоритма, зависимости его скорости сходимости от количества известных векторов,

зависимости сходимости от начального приближения.

При проведении экспериментов в (8) использовались весовые коэффициенты  $c_1 = C_1 = 0,5$  и сле-

дующие параметры метода: начальный шаг метода градиентного спуска  $h = 0,001$ , шаг аппроксимации для вычисления вектора градиента  $\delta = 0,005$ , точность минимизации  $\epsilon = 10^{-7}$ .

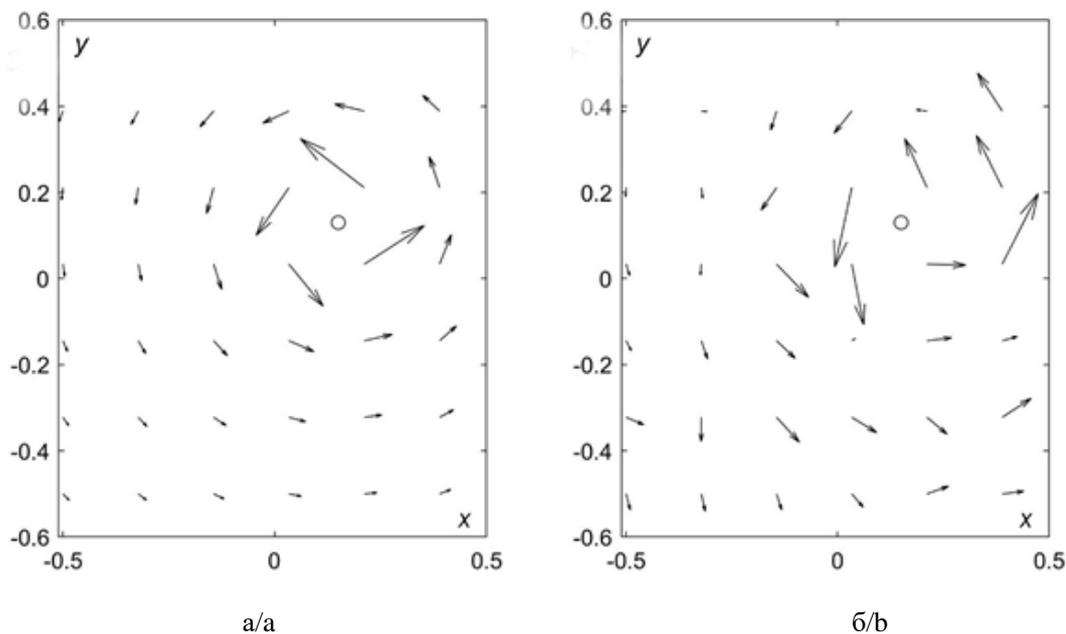


Рис. 1. Примеры наборов  $P$  для анализа структуры течения: а – векторы поля (9) при  $K = 1, \omega_1 = 1, x_1 = 0,15, y_1 = 0,13$ ; б – случайное возмущение (10) набора (9). Окружностью отмечен центр исходного точечного вихря / Fig. 1. Examples of  $P$  sets for analyzing the flow structure: a - field vectors (9) for  $K = 1, \omega_1 = 1, x_1 = 0,15, y_1 = 0,13$ ; b - random perturbation (10) of set (9). The circle marks the center of the initial point vortex

Первая серия расчетов проводилась для разного  $N$  (число векторов в  $P$ ) вида (9). В качестве начального приближения для конфигурации точечных вихрей было выбрано  $G^{(0)} = \begin{cases} \omega_1^{(0)} = 0,5; x_1^{(0)} = \\ = -0,1; y_1^{(0)} = 0,2 \end{cases}$ .

Во всех проведенных экспериментах метод сходился к исходной конфигурации (5) со значениями  $K = 1, \omega_1 = 1, x_1 = 0,15, y_1 = 0,13$ , но скорость сходимости зависела от  $N$ . Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Зависимость числа итераций  $j$  алгоритма от количества  $N$  векторов в  $P$  для сходимости к точному решению / Dependence of the number of iterations  $j$  of the algorithm on the number  $N$  of vectors in  $P$  for the convergence to the exact solution

$N$	3	4	5	8	9	12	18	36	64
$j$	162	49	43	36	56	47	42	32	44

Результаты вычислений показывают, что при таких исходных данных для сходимости метода достаточно небольшого числа известных векторов, а число шагов алгоритма зависит не столько от их числа, сколько от положения и длины известных векторов скорости течения. Положение и длина векторов определяют вид функции  $\sigma(P, Q)$ , от которой зависит сходимость алгоритма. На рис. 2 приведен вид  $\sigma(P, Q)$  на начальном и конечном шаге алгоритма для  $N = 8$ . Здесь  $Q$  является набором векторов

вида (5) с интенсивностью точечного вихря  $\omega_1 = \omega_1^{(j)}$ , центром  $(x_1^{(j)}, y_1^{(j)})$  и координатами, совпадающими с набором  $P$ . На последней итерации  $\omega_1^{(j)} = 1,0$ , а минимум  $\sigma(P, Q)$  достигается в точке  $(x_1^{(j)} = 0,15; y_1^{(j)} = 0,13)$ , что соответствует случаю, порождающему набор  $P$ .

Следующая серия вычислительных экспериментов проводилась с целью анализа работы алгоритма

для идентификации структуры течения по набору случайных векторов. В качестве набора векторов в  $P$  выбирались векторы поля (10), которое является случайным возмущением набора (9). Исследова-

лась зависимость результата работы алгоритма и скорости его сходимости в зависимости от количества векторов  $N$  и величины случайного возмущения, определяемого параметром  $R$ .

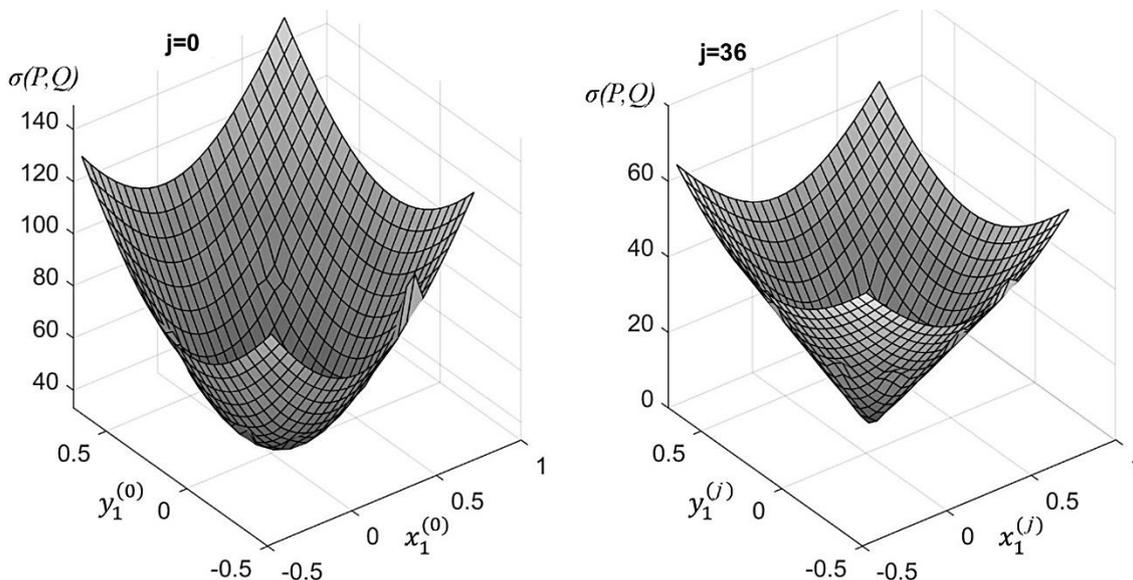


Рис. 2. Зависимость  $\sigma(P, Q)$  от координат приближающего точечного вихря на первой и последней итерациях алгоритма для случая (9) при  $N = 8$  / Fig. 2. Dependence of  $\sigma(P, Q)$  on the coordinates of an approximating point vortex at the first and last iterations of the algorithm for case (9) with  $N = 8$

Результаты численных экспериментов приведены в табл. 2, а примеры построенных векторов приближающей системы вместе с исходными векторами (9) и их случайными возмущениями для  $N = 8$  представлены на рис. 3.

Для приближающего точечного вихря, как и в первой серии экспериментов, использовались следующие начальные условия для алгоритма:  $G^{(0)} = \{\omega_1^{(0)} = 0,5;$

$x_1^{(0)} = -0,1; y_1^{(0)} = 0,2\}$ . Аналогичные результаты получены и для других начальных приближений.

В случае набора векторов вида (10) количество необходимых для сходимости итераций возросло практически во всех расчетах по сравнению с первой серией экспериментов, когда в качестве  $P$  выбирался набор (9).

Таблица 2

Результаты численных экспериментов по анализу работы алгоритма для исходного набора векторов (10) / The results of numerical experiments on the analysis of the algorithm for the initial set of vectors (10)

N	3	4	5	8	9	12	18	36	64
$j$	$\frac{28}{182}$	$\frac{149}{91}$	$\frac{61}{147}$	$\frac{91}{106}$	$\frac{107}{116}$	$\frac{75}{100}$	$\frac{55}{107}$	$\frac{65}{78}$	$\frac{53}{33}$
$\omega_1^{(j)}$	$\frac{0,872}{1,272}$	$\frac{0,909}{0,895}$	$\frac{0,959}{1,574}$	$\frac{1,097}{1,047}$	$\frac{0,972}{1,416}$	$\frac{0,989}{1,237}$	$\frac{1,009}{1,274}$	$\frac{1,018}{1,078}$	$\frac{1,024}{1,203}$
$x_1^{(j)}$	$\frac{0,102}{0,151}$	$\frac{0,136}{0,223}$	$\frac{0,179}{0,182}$	$\frac{0,145}{0,191}$	$\frac{0,132}{1,146}$	$\frac{0,136}{0,074}$	$\frac{0,161}{0,112}$	$\frac{0,157}{0,137}$	$\frac{0,159}{0,185}$
$y_1^{(j)}$	$\frac{-0,04}{0,158}$	$\frac{0,088}{-0,02}$	$\frac{0,143}{0,185}$	$\frac{0,139}{-0,06}$	$\frac{0,122}{0,163}$	$\frac{0,112}{0,204}$	$\frac{0,108}{0,055}$	$\frac{0,137}{0,140}$	$\frac{0,132}{0,137}$

**Примечание.**  $N$  – количество известных векторов в  $P$ ;  $j$  – число итераций для сходимости алгоритма;  $\omega_1^{(j)}, x_1^{(j)}, y_1^{(j)}$  – интенсивность и координаты найденного точечного вихря; в числителе –  $R = 0,2$ ; в знаменателе –  $R = 0,9$ .

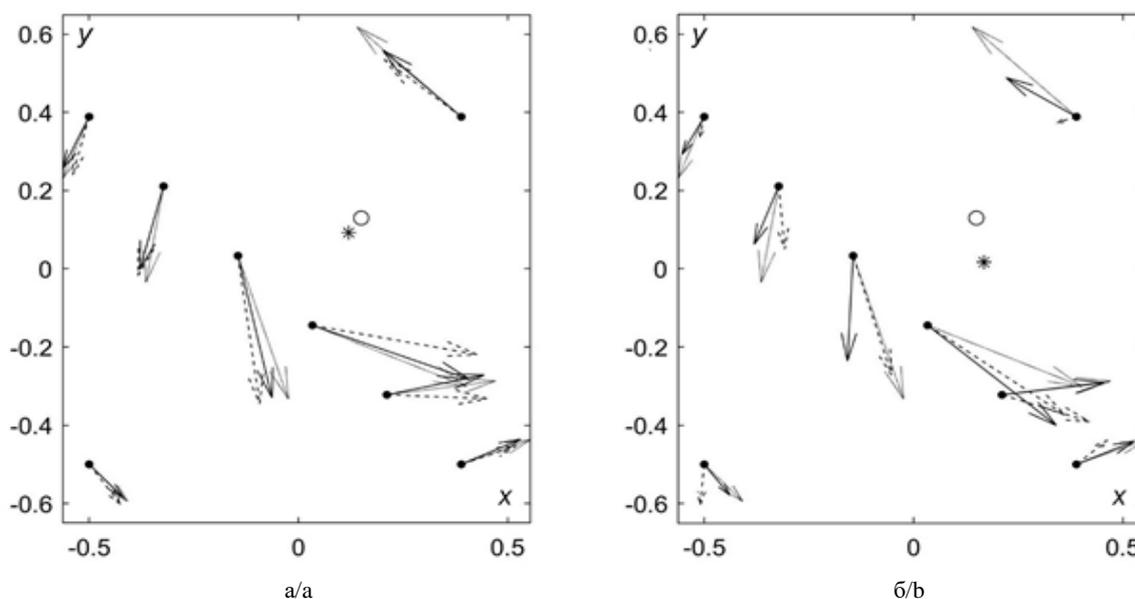


Рис. 3. Результаты вычислений для набора исходных векторов (10) при  $N = 8$ : а – для случайного возмущения набора (9) при  $R = 0,2$ ; б – при  $R = 0,9$ . Точками изображены векторы набора (9) при  $K = 1$ ,  $\omega_1 = 1$ ,  $x_1 = 0,15$ ,  $y_1 = 0,13$ ; пунктиром – векторы набора (10), сплошной линией – векторы поля скорости точечного вихря, полученного в результате работы алгоритма. Кружком обозначено положение точечного вихря набора (9), \* – центр найденного вихря / Fig. 3. The calculation results for the set of initial vectors (10) at  $N = 8$ : a - for a random perturbation of set (9) at  $R = 0.2$ ; b - at  $R = 0.9$ . By the dot line shown the vectors of the set (9) for  $K = 1$ ,  $\omega_1 = 1$ ,  $x_1 = 0.15$ ,  $y_1 = 0.13$ , by the dashed lines depicted the vectors of the set (10), by the solid lines represent the vectors of the velocity field of the point vortex obtained as a result of the algorithm. The circle shows the position of the point vortex of the set (9), and symbol \* indicates the center of the found vortex

Результаты вычислений подтвердили, что скорость сходимости метода зависит не от количества векторов  $N$  в наборе  $P$ , а от их положения и длины. Во всех проведенных расчетах алгоритм сходил к некоторому точечному вихрю, не совпадающему с невозмущенным вихрем, порождающим (9), но имеющему близкую интенсивность и координаты. Кроме того, векторы найденных наборов качественно воспроизводят исходные наборы  $P$  вида (10), что демонстрирует рис. 3. Разница между ними растет с ростом случайного возмущения.

### Обсуждение результатов и направлений развития алгоритма

Предложенный в статье алгоритм предназначен для определения параметров плоской вихревой конфигурации по малому набору векторов скорости течения с помощью математической модели точечных вихрей. С использованием алгоритма проведены тестовые численные эксперименты для идентификации одного вихревого пятна. Во всех рассмотренных случаях метод продемонстрировал достаточно эффективную сходимость. В случае исходного набора векторов, порожденного одним точечным вихрем, алгоритм сходил к точному решению, а при случайном

возмущении набора – к близким к нему значениям. Таким образом, характеристики точечного вихря, полученные в результате работы алгоритма, можно использовать для оценки векторного поля и характеристик вихревого пятна (его интенсивность и центр завихренности).

В статье рассмотрен самый простой вариант алгоритма и его применения, но описанные подходы можно использовать при решении более сложных задач. Например, описанная в работе идентификация одного вихревого пятна совместно с алгоритмами разбиения области данных на ячейки может использоваться для поиска вихревых пятен в области течения. Предложенный метод может быть развит по многим направлениям. Одно из них – усовершенствование минимизируемого функционала (8). Это может включать использование иных видов зависимостей типа (7), учет различных факторов, настройку весовых коэффициентов. Для идентификации весовых коэффициентов могут применяться методы машинного обучения, которые показывают хорошие результаты при решении проблем распознавания образов. Кроме того, описанный подход может быть реализован и с использованием других моделей, например вихревых капель, как это делается в вихревых методах. Перспективным представляется использование алгоритма совмест-

но с анализом фазового пространства области течения методами теории динамических систем.

### Литература

1. Chakraborty P., Balachandar S., Adrian R.J. On the relationships between local vortex identification schemes // *J. of Fluid Mechanics*. 2005. Vol. 535. P. 189–214.
2. Bremer P.-T., Gruber A., Bennett J.C., Gyulassy A., Kolla H., Chen J.H., Grout R.W. Identifying turbulent structures through topological segmentation // *Communications in Applied Mathematics and Computational Science*. 2016. Vol. 11 (1). P. 37–53.
3. Giagkiozis I., Fedun V., Scullion E., Jess D.B., Verth G. Vortex Flows in the Solar Atmosphere: Automated Identification and Statistical Analysis // *Astrophysical J*. 2018. Vol. 869 (2), No. 169.
4. Волков К.Н., Емельянов В.Н., Тетерина И.В., Яковчук М.С. Методы и концепции визуализации вихревых течений в задачах вычислительной газовой динамики // *Вычисл. методы и программирование*. 2016. Т. 17, вып. 1. С. 81–100.
5. Krueger P.S., Hahsler M., Olinick E.V., Williams S.H., Zharfa M. Quantitative classification of vortical flows based on topological features using graph matching // *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 2019. Vol. 475 (2228).
6. Günther T., Theisel H. The State of the Art in Vortex Extraction // *Computer Graphics Forum*. 2018. Vol. 37, No. 6. P. 149–173.
7. Li H., Shen I.-F. Manifold learning of vector fields // *Lecture Notes in Computer Science*. 2006. Vol. 3971. P. 430–435.
8. Jeong J., Hussain F. On the identification of a vortex // *J. of Fluid Mechanics*. 1995. Vol. 285. P. 69–94.
9. Greenwood E., Schmitz F.H. A parameter identification method for helicopter noise source identification and physics-based semiempirical modeling // *J. of the American Helicopter Society*. 2018. Vol. 63, № 3. DOI: 10.4050/JAHS.63.032001.
10. Leonard A. Vortex methods for flow simulation // *J. of Computational Physics*. 1980. Vol. 37, iss. 3. P. 289–335.
11. Cottet G.H., Koumoutsakos P.D. *Vortex Methods: theory and practice*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 320 p.
12. Вилля А. Теория вихрей. Л.; М.: ОНТИ, 1936. 266 с.
13. Ламб Г. Гидродинамика. М.; Л.: Гостехиздат, 1947. 928 с.
14. Fetter A. Low-lying superfluid states in a rotating annulus // *Phys. Rev.* 1967. Vol. 153, No. 1. P. 285–296.
15. Гешев П.И., Черных А.И. Движение вихрей в двумерной ограниченной области // *Теплофизика и аэромеханика*. 2018. № 6. С. 841–854.

### References

1. Chakraborty P., Balachandar S., Adrian R.J. (2005). On the relationships between local vortex identification schemes. *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 535, pp. 189-214.
2. Bremer P.-T., Gruber A., Bennett J.C., Gyulassy A., Kolla H., Chen J.H., Grout R.W. (2016). Identifying turbulent structures through topological segmentation. *Communications in Applied Mathematics and Computational Science*, vol. 11 (1), pp. 37-53.
3. Giagkiozis I., Fedun V., Scullion E., Jess D.B., Verth G. (2018). Vortex Flows in the Solar Atmosphere: Automated Identification and Statistical Analysis. *Astrophysical Journal*, vol. 869 (2), No. 169.
4. Volkov K.N., Emelyanov V.N., Teterina I.V., Yakovchuk M.S. (2016). Methods and concepts of vortex flow visualization in the problems of computational fluid dynamics. *Vychislitel'nye metody i programmirovaniye*, vol. 17, iss. 1, pp. 81-100. (in Russian).
5. Krueger P.S., Hahsler M., Olinick E.V., Williams S.H., Zharfa M. (2019). Quantitative classification of vortical flows based on topological features using graph matching. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 475 (2228).
6. Günther T., Theisel H. (2018). The State of the Art in Vortex Extraction. *Computer Graphics Forum*, vol. 37, No. 6, pp. 149-173.
7. Li H., Shen I.-F. (2006). Manifold learning of vector fields. *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 3971, pp. 430-435.
8. Jeong J., Hussain F. (1995). On the identification of a vortex. *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 285, pp. 69-94.
9. Greenwood E., Schmitz F.H. (2018). A parameter identification method for helicopter noise source identification and physics-based semiempirical modeling. *Journal of the American Helicopter Society*, vol. 63, No. 3. DOI: 10.4050/JAHS.63.032001.
10. Leonard A. (1980). Vortex methods for flow simulation. *Journal of Computational Physics*, vol. 37, iss. 3, pp. 289-335.
11. Cottet G.H., Koumoutsakos P.D. (2000). *Vortex Methods: theory and practice*. Cambridge, Cambridge University Press, 320 p.
12. Villa A. (1936). *Theory of vortices*. Leningrad, Moscow, ONTI Press, 266 p. (in Russian).
13. Lamb G. (1947). *Hydrodynamics*. Moscow, Leningrad, Gostekhizdat Publ., 928 p. (in Russian).
14. Fetter A. (1967). Low-lying superfluid states in a rotating annulus. *Phys. Rev.*, vol. 153, No. 1, pp. 285-296.
15. Geshev P.I., Chernykh A.I. (2018). The motion of vortices in a two-dimensional bounded region. *Thermophysics and Aeromechanics*, vol. 25, No. 6, pp. 809-822.

УДК 514.76

DOI 10.18522/1026-2237-2020-3-19-24

**О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ГЕОМЕТРИИ ПОЧТИ  $C(\lambda)$ -МНОГООБРАЗИЙ**© 2020 г. **А.Р. Рустанов<sup>1</sup>, Е.А. Полькина<sup>1</sup>, С.В. Харитонов<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Московский педагогический государственный университет, Москва, Россия,<sup>2</sup>Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия**ON SOME ASPECTS OF GEOMETRY OF ALMOST  $C(\lambda)$ -MANIFOLDS****A.R. Rustanov<sup>1</sup>, E.A. Polkina<sup>1</sup>, S.V. Kharitonova<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Moscow Pedagogical State University, Moscow, Russia,<sup>2</sup>Orenburg State University, Orenburg, Russia

Рустанов Алигаджи Рабаданович – кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра теоретической и специальной социологии, Институт социально-гуманитарного образования, Московский педагогический государственный университет, пр. Вернадского, 88, г. Москва, 119571, Россия, e-mail: aligadzhi@yandex.ru

Aligadzhi R. Rustanov - Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Department of Theoretical and Special Sociology, Institute of Social Studies and Humanities, Moscow Pedagogical State University, Vernadskogo Ave, 88, Moscow, 119571, Russia, e-mail: aligadzhi@yandex.ru

Полькина Елена Александровна – кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра теоретической физики имени Э.В. Шпольского, Институт физики, технологии и информационных систем, Московский педагогический государственный университет, ул. Малая Пироговская, 29/7, стр. 1, г. Москва, 119435, Россия, e-mail: Polkina.ea@mail.ru

Elena A. Polkina - Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Shpolsky Department of Theoretical Physics, Institute of Physics, of Technology and Information Systems, Moscow Pedagogical State University, Malaya Pirogovskaya St., 29/7, Build. 1, Moscow, 119435, Russia, e-mail: Polkina.ea@mail.ru

Харитонов<sup>2</sup> Светлана Владимировна – кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра геометрии и компьютерных наук, Оренбургский государственный университет, пр. Победы, 13, г. Оренбург, 460018, Россия, e-mail: hcb@yandex.ru

Svetlana V. Kharitonova - Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Department of Geometry and Computer Science, Orenburg State University, Pobedy Ave, 13, Orenburg, 460018, Russia, e-mail: hcb@yandex.ru

Рассматриваются почти  $C(\lambda)$ -многообразия. Получено локальное строение Риччи-плоских почти  $C(\lambda)$ -многообразий. На пространстве присоединенной  $G$ -структуры доказаны необходимые и достаточные условия, при выполнении которых почти  $C(\lambda)$ -многообразия являются многообразиями постоянной кривизны. Получены соотношения, характеризующие эйнштейновы почти  $C(\lambda)$ -многообразия и строение тензора римановой кривизны почти  $C(\lambda)$ -многообразия постоянной кривизны. Доказано, что полное почти  $C(\lambda)$ -многообразие Эйнштейна либо голоморфно изометрично накрывается произведением вещественной прямой на Риччи-плоское кэлерово многообразие, либо компактно и имеет конечную фундаментальную группу. Для почти  $C(\lambda)$ -многообразий, являющихся  $\eta$ -эйнштейновыми, получены аналитические выражения для функций  $\alpha$  и  $\beta$ , характеризующие эти многообразия. Показано, что почти  $C(\lambda)$ -многообразие имеет  $\Phi$ -инвариантный тензор Риччи. Изучаются почти  $C(\lambda)$ -многообразия точно постоянной  $\Phi$ -голоморфной секционной кривизны.

**Ключевые слова:** почти  $C(\lambda)$ -многообразия, многообразия Эйнштейна,  $\eta$ -эйнштейновы многообразия, голоморфная кривизна, косимплектическое многообразие.

In this paper almost  $C(\lambda)$ -manifolds are considered. The local structure of Ricci-flat almost  $C(\lambda)$ -manifolds is obtained. On the space of the adjoint  $G$ -structure, necessary and sufficient conditions are obtained under which the almost  $C(\lambda)$ -manifolds are manifolds of constant curvature and the structure of the Riemannian curvature tensor of an almost  $C(\lambda)$ -manifold of constant curvature is obtained. Relations are obtained that characterize the Einstein almost  $C(\lambda)$ -manifolds. It is proved that a complete almost  $C(\lambda)$ -Einstein manifold is either holomorphically isometrically covered by the product of a real line by a Ricci-flat Kähler manifold, or is compact and has a finite fundamental group. For almost  $C(\lambda)$ -manifolds that are  $\eta$ -Einstein, analytic expressions for the functions  $\alpha$  and  $\beta$  characterizing these manifolds are obtained. It is shown that an almost  $C(\lambda)$ -manifold has an  $\Phi$ -invariant Ricci tensor. We study also almost  $C(\lambda)$ -manifolds of pointwise constant  $\Phi$ -holomorphic sectional curvature.

**Keywords:** almost  $C(\lambda)$ -manifolds, Einstein manifolds,  $\eta$ -Einstein manifolds, holomorphic curvature, cosymplectic manifold.

## Введение

Д. Янссен и Л. Ванхеке исследовали почти  $C(\lambda)$ -многообразия в [1]. Авторы определили такие многообразия условием на тензор кривизны Римана, показали, что примерами почти  $C(\lambda)$ -многообразий являются сасакиевые, косимплектические, а также многообразия Кенмоцу. Они же ввели понятия почти  $\alpha$ -сасакиевых и почти  $\alpha$ -Кенмоцу многообразий и определили их как нормальные почти  $\alpha$ -сасакиевые и почти  $\alpha$ -Кенмоцу многообразия. Показано, что  $\alpha$ -сасакиевые и  $\alpha$ -Кенмоцу многообразия являются  $C(\alpha^2)$ - и  $C(-\alpha^2)$ -многообразиями соответственно. Для почти  $C(\lambda)$ -многообразий водится понятие тензора кривизны  $S$ -Бохнера [1].

В работе [2] почти  $C(\lambda)$ -многообразия появляются как подкласс локально конформно почти косимплектических многообразий. Авторы исследуют  $C(\lambda)$ -многообразия постоянной кривизны.

В [3] изучены конформно плоские почти  $C(\lambda)$ -многообразия. В частности, получены необходимые и достаточные условия того, что почти контактное метрическое многообразие является почти  $C(\lambda)$ -многообразием. Доказано, что на почти  $C(\lambda)$ -многообразиях выполняются контактные аналоги [4] второго и третьего тождеств кривизны А. Грея [5], причём аналог первого тождества Грея выполняется тогда и только тогда, когда многообразие является косимплектическим. Доказано, что конформно плоское почти  $C(\lambda)$ -многообразие является многообразием постоянной кривизны  $\lambda$ .

В работе [6] выделены почти  $C(\lambda)$ -многообразия классов  $CR_1$  и  $CR_2$ , дана их локальная характеристика. Доказано, что почти  $C(\lambda)$ -многообразие является многообразием класса  $CR_1$  тогда и только тогда, когда оно косимплектическое многообразие, т.е. локально эквивалентно произведению кэлерова многообразия на вещественную прямую. Почти  $C(\lambda)$ -многообразие размерности больше 3 является

многообразием класса  $CR_2$  тогда и только тогда, когда оно косимплектическое, т.е. локально эквивалентно произведению кэлерова многообразия на вещественную прямую.

Изучением геометрии почти  $C(\lambda)$ -многообразий занимаются ряд геометров, например А. Акбар, А. Саркар, С.Р. Ашока, С. Багевади и др.

В данной работе исследуются Риччи-плоские, эйнштейновы,  $\eta$ -эйнштейновы почти  $C(\lambda)$ -многообразия и почти  $C(\lambda)$ -многообразия точечно постоянной  $\Phi$ -голоморфной секционной кривизны, рассматриваются почти  $C(\lambda)$ -многообразия с  $\Phi$ -инвариантным тензором Риччи.

## Почти $C(\lambda)$ -многообразия

Пусть  $M$  – гладкое многообразие размерности  $2n + 1$ ;  $\mathcal{X}(M)$  –  $C^\infty(M)$ -модуль гладких векторных полей на многообразии  $M$ ;  $d$  – оператор внешнего дифференцирования;  $\circ$  – операция композиции;  $\otimes$  – тензорное произведение. Все многообразия, тензорные поля и т.п. объекты предполагаются гладкими класса  $C^\infty$ .

**Определение 1** [7, 8]. Почти контактной структурой на многообразии  $M$  называется тройка  $(\eta, \xi, \Phi)$  тензорных полей на этом многообразии, где  $\eta$  – дифференциальная 1-форма, называемая контактной формой структуры;  $\xi$  – векторное поле, называемое характеристическим;  $\Phi$  – эндоморфизм модуля  $\mathcal{X}(M)$ , называемый структурным эндоморфизмом. При этом  $\eta(\xi) = 1$ ;  $\eta \circ \Phi = 0$ ;  $\Phi(\xi) = 0$ ;  $\Phi^2 = -id + \eta \otimes \xi$ .

Если, кроме того, на  $M$  фиксирована риманова структура  $g = \langle \cdot, \cdot \rangle$ , такая что  $\langle \Phi X, \Phi Y \rangle = \langle X, Y \rangle - \eta(X)\eta(Y)$ ;  $X, Y \in \mathcal{X}(M)$ , то четверка  $(\eta, \xi, \Phi, g)$  называется почти контактной метрической (короче,  $AC$ -) структурой. Многообразие, на котором фиксирована почти контактная метрическая структура, называется почти контактным метрическим (короче,  $AC$ -) многообразием.

Пусть  $(\eta, \xi, \Phi, g)$  – почти контактная метрическая структура на многообразии  $M$ . Задание почти контактной метрической структуры на гладком многообразии  $M$  равносильно заданию на этом многообразии присоединенной  $G$ -структуры со структурной группой  $\{e\} \times U(n)$ , состоящей из А-реперов [8, 9]. Такие реперы строятся в каждой точке  $p$  многообразия  $M$  и характеризуются тем, что матрицы тензоров  $\Phi_p$  и  $g_p$  в них выглядят следующим образом:

$$\begin{aligned} (\Phi_j^i) &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sqrt{-1}I_n & 0 \\ 0 & 0 & -\sqrt{-1}I_n \end{pmatrix}, \\ (g_{ij}) &= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I_n \\ 0 & I_n & 0 \end{pmatrix}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $I_n$  – единичная матрица порядка  $n$ .

Подчеркнем, что пространство присоединенной  $G$ -структуры состоит из комплексных реперов, т.е. реперов комплексификации соответствующих касательных пространств. Поэтому, даже имея дело с вещественными тензорами, говоря об их компонентах на пространстве присоединенной  $G$ -структуры, подразумеваем компоненты комплексных расширений этих тензоров. В свою очередь, комплексный тензор является комплексным расширением вещественного тензора тогда и только тогда, когда он инвариантен относительно оператора комплексного сопряжения. Такой тензор называется *вещественным* [9, 10]. В частности, сумма чистого комплексного тензора и комплексно сопряженного является вещественным тензором [9, 10].

На протяжении всей работы будем подразумевать, что индексы  $i, j, k, \dots$  принимают значения от 0 до  $2n$ ,  $a, b, c, d, f, g, \dots$  – от 1 до  $n$ . Положим  $\hat{a} = a + n, \hat{\hat{a}} = a, \hat{0} = 0$ .

Пусть  $\{M^{2n+1}, \eta, \xi, \Phi, g\}$  – АС-многообразие.

**Определение 2** [1, 2]. Почти контактное метрическое многообразие называется *почти  $C(\lambda)$ -многообразием*, если его тензор римановой кривизны удовлетворяет соотношению  $\langle R(Z, W)Y, X \rangle = \langle R(\Phi Z, \Phi W)Y, X \rangle - \lambda\{g(X, W)g(Y, Z) - g(X, Z)g(Y, W) - g(X, \Phi W)g(Y, \Phi Z) + g(X, \Phi Z)g(Y, \Phi W)\}$ , где  $X, Y, Z, W \in \mathcal{X}(M)$ ,  $\lambda$  – вещественное число.

Нормальное почти  $C(\lambda)$ -многообразие называется  *$C(\lambda)$ -многообразием*.

Косимплектическое, сасакиево и Кенмоцу многообразия являются соответственно  $C(0)$ -,  $C(1)$ -,  $C(-1)$ -многообразиями [1].

**Теорема 1** [3]. АС-многообразие является почти  $C(\lambda)$ -многообразием тогда и только тогда, когда компоненты его тензора римановой кривизны на пространстве присоединенной  $G$ -структуры удо-

влетворяют соотношениям:  $R_{bcd}^a = \lambda\delta_{cd}^{ab}, R_{0b0}^a = \lambda\delta_b^a, R_{bcd}^a - R_{bca}^d = -\lambda\delta_{bc}^{ad}$ , а остальные компоненты равны нулю, где  $\lambda$  – вещественное число,  $\delta_{cd}^{ab} = \delta_c^a\delta_d^b - \delta_d^a\delta_c^b$ .

Согласно работе [3], для почти  $C(\lambda)$ -многообразия на пространстве присоединенной  $G$ -структуры ненулевые компоненты тензора Риччи имеют вид

$$S_{00} = 2\lambda n, S_{ab} = S_{ba} = R_{ca\hat{c}}^b + \lambda n\delta_a^b, \quad (2)$$

остальные компоненты нулевые.

**Теорема 2.** Риччи-плоское почти  $C(\lambda)$ -многообразие локально эквивалентно произведению Риччи-плоского кэлерова многообразия на вещественную прямую.

*Доказательство.* Пусть почти  $C(\lambda)$ -многообразие является Риччи-плоским. Тогда из (2) следует, что  $\lambda = 0$ , т.е. многообразие является косимплектическим. Поскольку косимплектическое многообразие локально эквивалентно произведению кэлерова многообразия на вещественную прямую [10, 11], то теорема доказана.

Из (2) для  $\forall X, Y \in \mathcal{X}(M)$  непосредственно получим следующие равенства:

- 1)  $S(\xi, \xi) = 2\lambda n$ ;
- 2)  $S(\xi, \Phi^2 X) = 0$ ;
- 3)  $S(\xi, X) = 2\lambda n\eta(X)$ ;
- 4)  $S(\Phi^2 X, \Phi^2 Y) = S(\Phi X, \Phi Y)$ ;
- 5)  $S(\Phi X, \Phi Y) - S(X, Y) = 2n\lambda\eta(X)\eta(Y) - 2\lambda n\eta(X) - 2\lambda n\eta(Y)$ .

Известно [10], что псевдориманово многообразие является многообразием точечно постоянной кривизны  $k$  тогда и только тогда, когда его тензор римановой кривизны имеет строение:

$$R(X, Y)Z = k(\langle Y, Z \rangle X - \langle X, Z \rangle Y), X, Y, Z \in \mathcal{X}(M).$$

Последнее выражение на пространстве присоединенной  $G$ -структуры равносильно следующим соотношениям для компонент тензора римановой кривизны:

$$R_{bcd}^a = k\delta_{cd}^{ab}; R_{bcd}^a = k\delta_c^a\delta_b^d; R_{0b0}^a = k\delta_b^a. \quad (3)$$

Непосредственно из теоремы 1 и (3) следует

**Предложение 1.** Для того чтобы почти  $C(\lambda)$ -многообразие являлось многообразием точечно постоянной кривизны, необходимо и достаточно, чтобы на пространстве присоединенной  $G$ -структуры компоненты тензора кривизны удовлетворяли соотношению  $R_{\hat{a}bc\hat{d}} = \lambda\delta_c^a\delta_b^d$ .

Применим процедуру восстановления тождества [9, 10] к равенствам:  $R_{\hat{a}bc\hat{d}} = \lambda\delta_c^a\delta_b^d; R_{abcd} = \lambda\delta_c^a\delta_b^d = 0; R_{0bcd} = \lambda\delta_c^0\delta_b^d = 0$ , т.е. к равенствам  $R_{bcd}^i = \lambda\delta_c^i\delta_b^d$ . Последнее равенство запишем в виде  $\{R(\varepsilon_a, \varepsilon_b)\varepsilon_c\}^i = \lambda(\varepsilon_a)^i(\varepsilon_b, \varepsilon_c)$ , т.е.  $R(\varepsilon_a, \varepsilon_b)\varepsilon_c = \lambda(\varepsilon_a)(\varepsilon_b, \varepsilon_c)$ . Так как проекторами  $\mathcal{X}(M)$  на под-

пространства  $D_{\Phi}^{\sqrt{-1}}$  и  $D_{\Phi}^{-\sqrt{-1}}$  являются эндоморфизмы  $\pi = \sigma \circ l = -\frac{1}{2}(\Phi^2 + \sqrt{-1}\Phi)$  и  $\bar{\pi} = \bar{\sigma} \circ l = \frac{1}{2}(-\Phi^2 + \sqrt{-1}\Phi)$ , то  $R(\Phi^2 X + \sqrt{-1}\Phi X, -\Phi^2 Y + \sqrt{-1}\Phi Y)(\Phi^2 Z + \sqrt{-1}\Phi Z) = \lambda(\Phi^2 X + \sqrt{-1}\Phi X)(-\Phi^2 Y + \sqrt{-1}\Phi Y, \Phi^2 Z + \sqrt{-1}\Phi Z)$ ,  $\forall X, Y, Z \in \mathcal{X}(M)$ . Выделяя действительную и мнимую части в последнем равенстве, получим

$$\begin{aligned} & R(\Phi^2 X, \Phi^2 Y)\Phi^2 Z + R(\Phi^2 X, \Phi Y)\Phi Z - \\ & - R(\Phi X, \Phi^2 Y)\Phi Z + R(\Phi X, \Phi Y)\Phi^2 Z = \\ & = \lambda\{\Phi^2 X\langle\Phi^2 Y, \Phi^2 Z\rangle + \Phi^2 X\langle\Phi Y, \Phi Z\rangle - \\ & - \Phi X\langle\Phi^2 Y, \Phi Z\rangle + \Phi X\langle\Phi Y, \Phi^2 Z\rangle\}; \\ & \forall X, Y, Z \in \mathcal{X}(M). \end{aligned}$$

Учитывая, что  $\langle X, \Phi Y \rangle = -\langle \Phi X, Y \rangle$ ,  $\Phi^3 X = -\Phi X$  [9, 10], последнее соотношение можно переписать в виде

$$\begin{aligned} & R(\Phi^2 X, \Phi^2 Y)\Phi^2 Z + R(\Phi^2 X, \Phi Y)\Phi Z - \\ & - R(\Phi X, \Phi^2 Y)\Phi Z + R(\Phi X, \Phi Y)\Phi^2 Z = \\ & = 2\lambda\{\Phi^2 X\langle\Phi Y, \Phi Z\rangle + \Phi X\langle Y, \Phi Z\rangle\}; \end{aligned} \quad (4)$$

$\forall X, Y, Z \in \mathcal{X}(M)$ .

Таким образом, справедлива

**Теорема 3.** Почти  $C(\lambda)$ -многообразие является многообразием точечно постоянной кривизны  $\lambda$  тогда и только тогда, когда его тензор римановой кривизны удовлетворяет тождеству (4).

С учетом предложения 1 из формул (2) получим, что компоненты тензора Риччи почти  $C(\lambda)$ -многообразия точечно постоянной кривизны на пространстве присоединенной  $G$ -структуры имеют вид  $S_{00} = 2\lambda n$ ;  $S_{a\bar{b}} = S_{\bar{b}a} = 2\lambda n\delta_a^b$ . Применяя процедуру восстановления тождества к последним соотношениям, получим равенства, характеризующие тензор Риччи почти  $C(\lambda)$ -многообразия точечно постоянной кривизны: 1)  $S(\xi, \xi) = 2\lambda n$ ; 2)  $S(\xi, \Phi^2 X) = 0$ ; 3)  $S(\xi, X) = 2\lambda n\eta(X)$ ; 4)  $S(\Phi^2 X, \Phi^2 Y) = S(\Phi X, \Phi Y) = 2n\lambda\langle\Phi X, \Phi Y\rangle = -2\lambda n\langle X, Y\rangle - 2\lambda n\eta(X)\eta(Y)$ ;  $\forall X, Y \in \mathcal{X}(M)$ . С учетом этих свойств тензор Риччи почти  $C(\lambda)$ -многообразия точечно постоянной кривизны примет вид  $S(X, Y) = 2\lambda n\{X, Y\} + \eta(X) + \eta(Y) - 2\eta(X)\eta(Y)$ ;  $\forall X, Y \in \mathcal{X}(M)$ .

**Определение 3** [12, 13]. Псевдориманово многообразие  $M$  называется  $\eta$ -эйнштейновым многообразием типа  $(\alpha, \beta)$ , если его тензор Риччи удовлетворяет уравнению  $S = \alpha g + \beta\eta \otimes \eta$ , где  $g$  – (псевдо)риманова метрика;  $\alpha, \beta$  – подходящие гладкие функции. При  $\beta = 0$  многообразие является эйнштейновым с космологической константой  $\alpha$ .

Пусть  $M$  – многообразие Эйнштейна с космологической константой  $\alpha$ , т.е.  $S_{ij} = \alpha g_{ij}$ . Тогда  $S_{00} = 2\lambda n = \alpha$ ,  $S_{a\bar{b}} = R_{ca\bar{c}}^b + \lambda n\delta_a^b = \alpha\delta_a^b$ , откуда  $\alpha = 2\lambda n$ . Сверткой второго равенства по индексам  $a$  и  $b$

получим  $R_{ba\bar{b}}^a = \lambda n^2 = \frac{\alpha n}{2}$ , т.е.  $R_{ca\bar{c}}^b = \alpha\delta_a^b - \lambda n\delta_a^b = \lambda n\delta_a^b$ .

Таким образом, доказано

**Предложение 2.** Если почти  $C(\lambda)$ -многообразие является многообразием Эйнштейна с космологической константой  $\alpha$ , то  $\alpha = 2\lambda n$ ,  $R_{ca\bar{c}}^b = \lambda n\delta_a^b$ .

Поскольку почти  $C(\lambda)$ -многообразие, являющееся многообразием Эйнштейна с нулевой космологической константой  $\alpha = 0$ , есть Риччи-плоское косимплектическое многообразие, то оно голоморфно изометрично покрывается произведением вещественной прямой на Риччи-плоское кэлерово многообразие. Если  $\alpha \neq 0$ , то по классической теореме Майерса [14] в случае полноты  $M$  оно компактно и имеет конечную фундаментальную группу. Таким образом, предложение 2 можно сформулировать следующим образом.

**Теорема 4.** Полное почти  $C(\lambda)$ -многообразие Эйнштейна либо голоморфно изометрично покрывается произведением вещественной прямой на Риччи-плоское кэлерово многообразие, либо компактно и имеет конечную фундаментальную группу.

Из определения 3 следует, что тензор Риччи  $\eta$ -эйнштейнова многообразия типа  $(\alpha, \beta)$  на пространстве расслоения реперов имеет компоненты

$$\begin{aligned} & S_{00} = \alpha + \beta; \quad S_{a0} = S_{0a} = S_{ab} = S_{\bar{a}\bar{b}} = 0; \\ & S_{a\bar{b}} = S_{\bar{b}a} = \alpha\delta_a^b, \end{aligned}$$

где  $\alpha, \beta$  – гладкие функции.

Тогда для почти  $C(\lambda)$ -многообразия на пространстве присоединенной  $G$ -структуры с учетом (2) получим

$$\begin{cases} R_{ca\bar{c}}^b + \lambda n\delta_a^b = \alpha\delta_a^b, \\ 2\lambda n = \alpha + \beta. \end{cases}$$

откуда

$$\begin{cases} \alpha = \frac{1}{n}R_{cb\bar{c}}^a + \lambda n, \\ \beta = -\frac{1}{n}R_{cb\bar{c}}^a + \lambda n. \end{cases} \quad (5)$$

Таким образом, справедлива

**Теорема 5.** Если почти  $C(\lambda)$ -многообразие является  $\eta$ -эйнштейновым многообразием типа  $(\alpha, \beta)$ , тогда на пространстве присоединенной  $G$ -структуры справедливо (5).

### Ф-инвариантность тензора Риччи

Пусть  $\{M, \eta, \xi, \Phi, g\}$  – АС-многообразие.

**Определение 4.** Говорят, что АС-многообразие имеет  $\Phi$ -инвариантный тензор Риччи, если  $\Phi Q = Q\Phi$ , где  $Q$  – оператор Риччи, заданный формулой  $S(X, Y) = g(X, Q(Y))$ .

На пространстве присоединенной  $G$ -структуры определяющее условие  $\Phi$ -инвариантности тензора Риччи  $AC$ -многообразия можно записать в виде  $\Phi_k^i Q_j^k = Q_j^i \Phi_k^i$ . Поскольку  $S_{ij} = g_{ik} Q_j^k$ , последнее равенство с учетом (1) равносильно следующим соотношениям:

$$\begin{aligned} 1) S_{0a} = S_{0\bar{a}} = S_{a0} = S_{\bar{a}0} = 0; \\ 2) S_{ab} = S_{\bar{a}\bar{b}} = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

**Теорема 6.**  $AC$ -многообразия имеет  $\Phi$ -инвариантный тензор Риччи тогда и только тогда, когда на пространстве присоединенной  $G$ -структуры справедливы равенства (6).

Пусть  $M$  – почти  $C(\lambda)$ -многообразие. Тогда с учетом (2) и теоремы 6 имеет место

**Теорема 7.** Почти  $C(\lambda)$ -многообразия имеет  $\Phi$ -инвариантный тензор Риччи.

### Постоянство $\Phi$ -голоморфной секционной кривизны

**Определение 5** [9, 10]. Почти контактное метрическое многообразие  $M$  называется *многообразием точечно постоянной  $\Phi$ -голоморфной секционной кривизны  $c$* , если  $\forall X \in \mathcal{L} \Rightarrow \langle R(X, \Phi X)X, \Phi X \rangle = c \|X\|^4$ , где  $c \in C^\infty(M)$ ,  $\mathcal{L} = \text{Im} \Phi$  – подмодуль  $\mathcal{X}(M)$ . Если к тому же  $c = \text{const}$ , многообразие называется *многообразием глобально постоянной  $\Phi$ -голоморфной секционной кривизны*.

На пространстве присоединенной  $G$ -структуры определяющее равенство запишется в виде  $4R_{\bar{a}bc\bar{d}} X^{\bar{a}} X^b X^c X^{\bar{d}} = -4c g_{\bar{a}b} g_{c\bar{d}} X^{\bar{a}} X^b X^c X^{\bar{d}}$ . С учетом вида матриц структурного оператора и метрического тензора (1) определяющее равенство можно записать в виде  $(R_{\bar{a}bc\bar{d}} + c \delta_b^a \delta_c^{\bar{d}}) X^{\bar{a}} X^b X^c X^{\bar{d}} = 0$ . Поляризация этого соотношения приводит к следующему результату.

**Предложение 3** [9, 10]. Почти контактное метрическое многообразие является многообразием точечно постоянной  $\Phi$ -голоморфной секционной кривизны  $c$  тогда и только тогда, когда

$$R_{(bc)}^{(a \ d)} = \frac{c}{2} \delta_{bc}^{ad}, \quad (7)$$

где  $\tilde{\delta}_{bc}^{ad} = \delta_b^a \delta_c^{\bar{d}} + \delta_c^{\bar{a}} \delta_b^d$ .

Пусть  $M$  – почти  $C(\lambda)$ -многообразия точечно постоянной  $\Phi$ -голоморфной секционной кривизны  $c$ .

Известно, что для почти  $C(\lambda)$ -многообразий

$$R_{bc}^a \delta^d - R_{cb}^a \delta^d = -\lambda \delta_{bc}^{ad}. \quad (8)$$

Распишем левую часть (7)

$$R_{bc}^a \delta^d + R_{cb}^a \delta^d + R_{bc}^d \delta^a + R_{cb}^d \delta^a = 2c \tilde{\delta}_{bc}^{ad}. \quad (9)$$

В силу симметрии тензора Римана-Кристоффеля имеем  $R_{bc}^a \delta^d = R_{cb}^d \delta^a$  и  $R_{cb}^a \delta^d = R_{bc}^d \delta^a$ . Тогда (9) запишется в виде

$$R_{bc}^a \delta^d + R_{cb}^d \delta^a = c \tilde{\delta}_{bc}^{ad}. \quad (10)$$

Таким образом, из (8) и (10) имеем

$$\begin{cases} R_{bc\bar{d}}^a = \frac{1}{2}(c \tilde{\delta}_{bc}^{ad} - \lambda \delta_{bc}^{ad}), \\ R_{cb\bar{d}}^a = \frac{1}{2}(c \tilde{\delta}_{bc}^{ad} + \lambda \delta_{bc}^{ad}). \end{cases} \quad (11)$$

Из предложения 2 и (11) следует, что  $c = \lambda$ , т.е. почти  $C(\lambda)$ -многообразия точечно постоянной  $\Phi$ -голоморфной секционной кривизны  $c$  является многообразием Эйнштейна с космологической постоянной  $\alpha = 2nc$ .

Любое трехмерное почти контактное метрическое многообразие является многообразием точечно постоянной  $\Phi$ -голоморфной секционной кривизны. Как известно, косимплектическое многообразие локально эквивалентно произведению кэлерова многообразия на вещественную прямую [10, 11]. В частности, косимплектическое многообразие постоянной  $\Phi$ -голоморфной секционной кривизны локально эквивалентно произведению комплексной пространственной формы (т.е. кэлерова многообразия постоянной голоморфной секционной кривизны) на вещественную прямую. Всякое полное односвязное кэлерово многообразие нулевой голоморфной секционной кривизны размерности свыше двух голоморфно изометрично комплексному евклидову пространству  $C^n$ , снабженному стандартной эрмитовой метрикой  $\langle \langle \cdot, \cdot \rangle \rangle = ds^2$ , в каноническом атласе задаваемой соотношением  $ds^2 = \sum_{i=1}^n z^i d\bar{z}^i$  [10, гл. 9, п. 7].

**Теорема 8.** Почти  $C(\lambda)$ -многообразия является многообразием постоянной  $\Phi$ -голоморфной секционной кривизны  $c = 0$  тогда и только тогда, когда оно локально эквивалентно комплексному евклидову пространству  $C^n$ , снабженному стандартной эрмитовой метрикой  $\langle \langle \cdot, \cdot \rangle \rangle = ds^2$ , в каноническом атласе задаваемой соотношением  $ds^2 = \sum_{i=1}^n z^i d\bar{z}^i$ .

### Литература

1. Janssen D., Vanhecke L. Almost contact structures and curvature tensors // Kodai Math. J. 1981. Vol. 4. P. 1–27.
2. Olszak Z., Rosca R. Normal locally confomal almost cosymplectic manifolds // Publ. Math. Debrecen. 1991. Vol. 39. P. 315–323.
3. Харитонова С.В. Почти  $C(\lambda)$ -многообразия // Фундаментальная и прикладная математика. 2010. Т. 16, вып. 2. С. 139–146.
4. Волкова Е.С. Тожества кривизны нормальных многообразий киллингова типа // Мат. заметки. 1997. Т. 62, вып. 3. С. 351–362.
5. Gray A. Curvature identities for Hermitian and almost Hermitian manifolds // Tohoku Math. J. 1976. Vol. 28, № 4. P. 601–812.
6. Рустанов А.П., Харитонова С.В., Казакова О.Н. О двух классах почти  $C(\lambda)$ -многообразий // Вестн. Оренбургского гос. ун-та. 2015. № 3. С. 228–231.

7. Blair D.E. Contact manifolds in Riemannian geometry // *Lecture Notes in Mathematics*. Berlin: Springer-Verlag, 1976. Vol. 509. P. 1–146.

8. Кириченко В.Ф. Методы обобщенной эрмитовой геометрии в теории почти контактных многообразий // *Итоги науки и техники. Проблемы геометрии*. 1986. Т. 18. С. 25–71.

9. Кириченко В.Ф., Рустанов А.Р. Дифференциальная геометрия квазисасакиевых многообразий // *Мат. сб.* 2002. Т. 193, № 8. С. 71–100.

10. Кириченко В.Ф. Дифференциально-геометрические структуры на многообразиях. 2-е изд. Одесса: Печатный дом, 2013. 458 с.

11. Kirichenko V.F. Sur le géométrie des variétés approximativement cosymplectiques // *C. R. Acad. Sci. Paris. Sér. I. Math.* 1982. Vol. 295 (1). P. 673–676.

12. Sasaki S. Almost contact manifolds // *I. Lect. Notes*. Tohoku University, 1965. P. 1–250.

13. Бессе А. Многообразия Эйнштейна. М.: Мир, 1990. Т. 1, 2.

14. Myers S.B. Riemannian manifolds in the large // *Duke Math. J.* 1935. Vol. 1. P. 39–49.

4. Volkova E.S. (1997). Curvature identities for normal manifolds of killing type. *Mathematical Notes*, vol. 62, pp. 296–305.

5. Gray A. (1976). Curvature identities for Hermitian and almost Hermitian manifolds. *Tohoku Math. J.*, vol. 28, No. 4, pp. 601–812.

6. Rustanov A.R., Kharitonova S.V., Kazakova O. N. (2015). On two classes of almost  $C(\lambda)$ -manifolds. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, No. 3, pp. 228–231. (in Russian).

7. Blair D.E. (1976). Contact manifolds in Riemannian geometry. *Lecture Notes in Mathematics*. Berlin, Springer-Verlag Publ., vol. 509, pp. 1–146.

8. Kirichenko V.F. (1986). Methods of generalized Hermitian geometry in the theory of almost-contact manifolds. *Itogi nauki i tekhniki. Problemy geometrii*, vol. 18, pp. 25–71. (in Russian).

9. Kirichenko V.F., Rustanov A.R. (2002). Differential geometry of quasi-Sasakian manifolds. *Mathematics*, vol. 193 (8), pp. 1173–1201.

10. Kirichenko V.F. (2013). *Differential geometric structures on manifolds*. 2<sup>nd</sup> ed. Odessa, Pechatnyy Dom Publ., 458 p. (in Russian).

11. Kirichenko V.F. (1982). Sur le géométrie des variétés approximativement cosymplectiques. *C.R. Acad. Sci. Paris. Sér. I. Math.*, vol. 295 (1), pp. 673–676.

12. Sasaki S. (1965). Almost contact manifolds. *I. Lect. Notes*. Tohoku University Press, pp. 1–250.

13. Besse A. (1990). *Einstein's Manifolds*. Moscow, Mir Publ., vol. 1, 2. (in Russian).

14. Myers S.B. (1935). Riemannian manifolds in the large. *Duke Math. J.*, vol. 1, pp. 39–49.

#### References

1. Janssen D., Vanhecke L. (1981). Almost contact structures and curvature tensors. *Kodai Math. J.*, vol. 4, pp. 1–27.

2. Olszak Z., Rosca R. (1991). Normal locally conformal almost cosymplectic manifolds. *Publ. Math. Debrecen*, vol. 39, pp. 315–323.

3. Kharitonova S.V. (2010). Almost  $C(\lambda)$ -manifolds. *Fundamental'naya i prikladnaya matematika*, vol. 16, No. 2, pp. 139–146. (in Russian).

УДК 517.956.223

DOI 10.18522/1026-2237-2020-3-25-29

## О НЕКОТОРЫХ КЛАССАХ КОРРЕКТНЫХ ЗАДАЧ МЕМБРАННОЙ ТЕОРИИ ВЫПУКЛЫХ ОБОЛОЧЕК

© 2020 г. *Е.В. Тюриков*<sup>1</sup><sup>1</sup>Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

## ON SOME CLASSES OF CORRECT PROBLEMS IN THE MEMBRANE THEORY OF CONVEX SHELLS

*E.V. Tyurikov*<sup>1</sup><sup>1</sup>Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Тюриков Евгений Владимирович – доктор физико-математических наук, профессор, кафедра математики, Донской государственный технический университет, пл. Гагарина, 1, г. Ростов-на-Дону, 344000, Россия, e-mail: etyurikov@hotmail.com

Evgenii V. Tyurikov - Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Department of Mathematics, Don State Technical University, Gagarina Sq., 1, Rostov-on-Don, 344000, Russia, e-mail: etyurikov@hotmail.com

На основе теории модифицированной задачи Римана – Гильберта для обобщённых аналитических функций даётся геометрическое описание достаточно широкого семейства корректных по И.Н. Векуа граничных задач мембранной теории выпуклых оболочек с кусочно-гладкой поверхностью. При этом решение соответствующей задачи Римана – Гильберта для эллиптической системы уравнений равновесия отыскивается в классах Н.И. Мухелишвили и реализует состояние безмоментного напряжённого равновесия при условии концентрации напряжений (по терминологии А.Л. Гольденвейзера) в заданных угловых точках границы серединной поверхности оболочки. При этом число условий разрешимости граничной задачи, а также их вид вполне определяются значением граничного условия, для вычисления которого приведена эффективная формула. Найдены семейства оболочек, для которых картина разрешимости основной граничной задачи совпадает с картиной разрешимости задачи И.Н. Векуа для оболочек с гладкой границей.

**Ключевые слова:** выпуклая оболочка, задача Римана – Гильберта, индекс граничного условия.

On the basis of the theory of the modified Riemann-Hilbert problem for generalized analytic functions, a geometric description is given of a fairly wide family of correct by I. N. Vekua of boundary value problems of the membrane theory of convex hulls with a piecewise smooth boundary. Solutions to the corresponding Riemann-Hilbert problem for an elliptic system of equilibrium equations are found in the classes of N.I. Muskhelishvili and realize a state of tense equilibrium under the condition of stress concentration in corner points. An effective formula is given for calculating the index of the boundary condition, which allows us to formulate the results in a visible form. Families of shells are found for which the solvability picture of the main boundary-value problem coincides with the solvability picture of the Vekua problem for shells with a smooth border.

**Keywords:** convex shell, Riemann-Hilbert boundary problem, index of the boundary value condition.

### Введение

В мембранной теории выпуклых оболочек к наименее изученным следует отнести задачу со смешанными граничными условиями, постановка которой восходит к работам И.Н. Векуа [1] и А.Л. Гольденвейзера [2]. Интерес к этой задаче обусловлен её важностью с точки зрения приложе-

ний в технической теории оболочек. Следует отметить также то обстоятельство, что её геометрический аналог [3] есть обобщение граничной задачи теории бесконечно малых изгибаний регулярных выпуклых поверхностей, относящейся к классическим задачам геометрии в целом. Первые результаты в этом направлении были получены автором в работе [4]. Дальнейшее исследование смешанных

граничных задач тесно связано с применением метода И.Н. Векуа к исследованию вопросов разрешимости модифицированной задачи Римана – Гильберта, поставленной в [5].

Пусть  $S$  – односвязная поверхность с кусочно-гладким краем  $L = \bigcup_{j=1}^n L_j$  и угловыми точками  $p_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ). Предполагается, что  $S$  есть внутренняя часть поверхности  $S_0$  строго положительной гауссовой кривизны класса регулярности  $W^{3,r}$ ,  $r > 2$ , а каждая из гладких дуг  $L_j$  принадлежит классу  $C^{1,\varepsilon}$ ,  $0 < \varepsilon < 1$ . Зададим на  $S$  вдоль  $L$  кусочно-непрерывное векторное поле  $\mathbf{r} = \{\alpha(s), \beta(s)\}$ , допускающее разрывы первого рода в точках  $p_j$ , с касательной и нормальной составляющими  $\alpha(s)$ ,  $\beta(s)$  ( $\alpha^2 + \beta^2 = 1$ ,  $\beta \geq 0$ ), где  $s$  – натуральный параметр; функции  $\alpha(s)$ ,  $\beta(s)$  – гёльдеровы на каждой из дуг  $L_j$ . Условие  $\beta \geq 0$  означает, что поле  $\mathbf{r}$  является допустимым [6], т. е. вектор  $\mathbf{r}$  в каждой точке гладкой кривой  $L$  направлен вне поверхности  $S$ .

Введём обозначения:  $J$  – отображение поверхности  $S_0$  на комплексную плоскость  $z = x + iy$ , заданное выбором сопряжённо изометрической параметризации  $(x, y)$  на  $S_0$ ,  $D = J(S)$  – ограниченная в комплексной плоскости  $z$  односвязная область с границей  $\Gamma = \bigcup_{j=1}^n J(\Gamma_j)$  и угловыми точками  $q_i = J(p_i)$ .

Рассматривается задача (задача  $R$ ): найти в области  $D$  комплекснозначное решение уравнения  $w_{\bar{z}}(z) - B(z)w(z) = F(z)$ ,  $z \in D$ , (1) по заданному граничному условию Римана – Гильберта

$$\operatorname{Re}\{\lambda(\zeta)w(\zeta)\} = \gamma(\zeta), \quad (2)$$

где  $w(z)$  – функция изгибаний поверхности  $S$ ,

$$\lambda(\zeta) = s(\zeta)[\beta(\zeta)t(\zeta) - \alpha(\zeta)s(\zeta)], \quad (3)$$

$s(\zeta) = s_1(\zeta) + is_2(\zeta)$ ,  $t(\zeta) = t_1(\zeta) + it_2(\zeta)$ ,  $i^2 = -1$ ,  $s_j$  ( $j = 1, 2$ ) – координаты касательного к  $\Gamma$  орта в точке  $\zeta$ ;  $t_j$  ( $j = 1, 2$ ) – координаты орта направления на плоскости, являющегося  $J$ -образом тангенциального направления на поверхности в точке  $J^{-1}(\zeta)$ ; значения функций  $\alpha(\zeta)$ ,  $\beta(\zeta)$  совпадают со значениями функций  $\alpha$ ,  $\beta$  в соответствующей точке  $c = J^{-1}(\zeta)$ ; функция  $\gamma(\zeta)$  гёльдерова на каждой из дуг  $\Gamma_j = J(L_j)$ ;  $w_{\bar{z}} = \frac{1}{2}(w_x + iw_y)$ ;  $B(z)$ ,  $F(z)$  – заданные в области  $D$  функции класса  $L_r(D)$ ,  $r > 2$ . При этом отыскиваются  $W^{1,r}$ -регулярные в области  $D$  решения  $w(z)$ , непрерывно продолжимые на  $L$ , за исключением точек разрыва  $q_j$ , в окрестности которых имеет место оценка  $|w(z)| < \operatorname{const} \times |z - q_i|^{-\alpha_j}$ ,  $0 < \alpha_j < 1$ .

Задача  $R$  при условиях гладкости границы  $L$  и непрерывности вектор-функции  $\mathbf{r}(M)$  точки  $M \in L$

была поставлена и исследована И. Н. Векуа в [6]. Для произвольных кусочно-непрерывных векторных полей и сферической поверхности  $S_0$  задача  $R$  изучена в [5]. При некоторых дополнительных условиях на геометрию границы и поле направлений в окрестностях угловых точек эффективные формулы для индекса найдены в [7].

### Постановка задачи

Поверхность  $S$  с кусочно-гладким краем  $L$  назовём  $W$ -куполом, если величина  $\nu$  внутреннего угла в угловой точке удовлетворяет условию  $\pi < \nu < 2\pi$ .

*Замечание 1.* В работе [4] для описания таких оболочек был введён термин «впадина», хотя в теории пластин используется термин «входящая угловая точка».

Из результатов работ [8, 9] следует, что задача  $R$  для симметрического  $W$ -куполом является корректной по И.Н. Векуа, т.е. имеет единственное решение в заданном классе при выполнении конечного числа разрешимости интегрального типа. При этом число условий разрешимости и их вид определяются индексом  $k$  граничного условия, для которого выполнено неравенство  $k < -1$ . Цель работы – получить точную картину разрешимости задачи (1)–(3) для  $W$ -куполов, отказавшись от условия локальной симметрии [7–9] в угловых точках.

Для описания граничного условия задачи  $R$  будем полагать, что угловые точки  $p_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) следуют друг за другом при обходе границы  $L$ , а направление поля  $\mathbf{r}$  в каждой угловой точке есть направление обобщённой касательной [10], т. е.  $\mathbf{r}_1 = \mathbf{r}_2$ , где  $\mathbf{r}_i$  ( $i = 1, 2$ ) – односторонние пределы в угловой точке  $p$  касательной к  $L$  единичного вектора  $\boldsymbol{\sigma}$ ;  $\nu$  – величина внутреннего угла в точке  $p$ , заданного векторами  $(-1)^k \boldsymbol{\sigma}^{(k)}$  ( $k = 1, 2$ );  $T(\nu)$  – множество (сектор) всех направлений обобщённой касательной в этой точке;  $\gamma(\boldsymbol{\sigma}^{(1)}, \boldsymbol{\sigma}^{(2)})$  – величина угла между векторами  $\boldsymbol{\sigma}^{(1)}, \boldsymbol{\sigma}^{(2)}$ .

Будем использовать также обозначения:  $\boldsymbol{\sigma}_i^{(s)}$  ( $s = 1, 2$ ) – односторонние пределы в угловой точке  $p_i$  вектор-функции  $\boldsymbol{\sigma}$ ;  $\nu_i$  – величина внутреннего угла;  $T(\nu_i)$  – множество (сектор) направлений обобщённой касательной в этой точке.

Рассмотрим вектор-функцию  $\boldsymbol{\rho} = \{\rho_1(\zeta), \rho_2(\zeta)\}$ , где  $\rho_1(\zeta) + i\rho_2(\zeta) = \beta(\zeta)t(\zeta) - \alpha(\zeta)s(\zeta)$ , обозначив через  $\boldsymbol{\rho}_j^{(k)}$  ( $k = 1, 2$ ) её левый и правый пределы в точке  $q_j$ . Пусть  $\mathbf{s}_j^{(k)} = J(\boldsymbol{\sigma}_j^{(k)})$  ( $k = 1, 2$ ;  $j = 1, \dots, n$ ),  $\varphi_j$  и  $\psi_j$  – величины углов между векторами пар  $(\mathbf{s}_j^{(1)}, \mathbf{s}_j^{(2)})$  и  $(\boldsymbol{\rho}_j^{(1)}, \boldsymbol{\rho}_j^{(2)})$  соответственно.

Для дальнейшего изложения важную роль играет вспомогательная

**Лемма 1** [11]. Индекс  $\kappa$  в классе ограниченных в области  $D$  решений вычисляется по формуле

$$\kappa = -4 + \sum_{i=1}^n \kappa_i, \quad (4)$$

где  $\kappa_i = \left[ \frac{1}{\pi} (\mu_i + \gamma_i) \right]$ ,  $[a]$  – целая часть числа  $a$ ;  $\mu_i$  и  $\gamma_i$  – скачки аргументов функции  $s(\zeta)$  и  $\rho(\zeta) = \rho_1(\zeta) + i\rho_2(\zeta)$  в точке  $q_i$ . При этом  $|\mu_i| < \pi$ ,  $|\gamma_i| < 2\pi$ .

*Замечание 2.* Важно отметить, что индекс  $\kappa$  граничного условия (2) определяется как индекс соответствующей задачи сопряжения [4].

*Замечание 3.* Предполагается, что внутренний угол в точке  $p_j$   $W$ -купола определяется парой  $(-\sigma_j^{(1)}, \sigma_j^{(2)})$ , а его величина  $\nu_j$  – равенством  $\nu_j = 2\pi - \gamma(-\sigma_j^{(1)}, \sigma_j^{(2)})$ ;  $\mu_j = -\gamma(s_j^{(1)}, s_j^{(2)})$ ;  $\gamma_j = -\gamma(\rho_j^{(1)}, \rho_j^{(2)})$  для любого вектора  $\mathbf{r} \in T(\nu_i)$ .

Перейдём к точной формулировке задачи  $R$  для  $W$ -куполов. Пусть  $P = (p_1, \dots, p_n)$  – упорядоченный набор попарно различных точек  $p_j$  поверхности  $S$ ;  $\sigma = (\sigma_1, \dots, \sigma_n)$  – мультивектор, в котором  $\sigma_j$  – произвольно фиксированные векторы на поверхности  $S$  с началом в точках  $p_j$  соответственно;  $\mathbf{v} = (v_1, \dots, v_n)$  – упорядоченный набор вещественных чисел  $\nu_j$ ,  $\pi < \nu_j < 2\pi$ . Пусть далее  $S(P)$  – множество всех односвязных поверхностей, принадлежащих поверхности  $S_0$ , с угловыми точками  $p_1, \dots, p_n$  границы  $L$ ;  $S^{(\sigma)} \subset S(P)$  – семейство поверхностей, для каждой из которых вектор  $\sigma_i$  задаёт направление правой касательной к  $L$  в точке  $p_i$ ;  $S_v^{(\sigma)} \subset S^{(\sigma)}$  – семейство поверхностей с внутренними углами  $\nu_i$  в точках  $p_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ).

Задачу  $R$  для поверхности семейства  $S_v^{(\sigma)}$  при условии принадлежности направления поля  $\mathbf{r}$  в точке  $p_i$  сектору  $T(\nu_i)$  назовём задачей  $R_v^{(\sigma)}$ .

### Разрешимость задачи $R_v^{(\sigma)}$

Пусть  $P = (p_1, \dots, p_n)$  – набор точек поверхности  $S_0$ ,  $\sigma = (\sigma_1, \dots, \sigma_n)$  – мультивектор. Введём обозначения:  $H_0$  – класс решений задачи  $R_v^{(\sigma)}$ , ограниченных в  $\mathbf{D}$ ;  $H^*$  – класс решений [12], допускающих «интегрируемую бесконечность» в угловых точках  $q_i = J(p_i)$  ( $i = 1, \dots, n$ ). Справедливо

**Утверждение 1.** Существуют достаточно малые числа  $\delta_i > 0$  такие, что задача  $R_v^{(\sigma)}$  имеет единственное решение в классе  $H^*$  для любых

$\nu_i \in (\pi, \pi + \delta_i)$  при выполнении 3 условий разрешимости интегрального типа [4].

*Замечание 4.* Утверждение останется справедливым, если в формулировке класс  $H^*$  заменить на  $H_0$ , а число 3 условий разрешимости – на число  $3 + n$ .

Для доказательства обозначим точку  $p_i$  и соответствующие ей величины  $\mu_i, \gamma_i, \varphi_i, \psi_i, \nu_i, \kappa_i, \rho_i^{(k)}$  ( $k = 1, 2$ ) через  $p, \mu, \gamma, \varphi, \psi, \nu, \kappa, \rho^{(k)}$ , а также введём  $\theta$  – величину внутреннего угла в угловой точке  $q = J(p)$ ,  $\pi < \theta < 2\pi$ .

Так как разность  $\nu - \pi$  достаточно мала вместе с разностью  $\theta - \pi$ , то согласно замечанию 3 неравенство  $-\pi < \mu + \gamma < 0$  выполняется для любого  $\mathbf{r} \in T(\nu)$ . Отсюда следует, что  $\frac{1}{\pi} [\mu + \gamma] = -1$  в точке  $q$ . Таким образом, на основании леммы 1 и равенства (4) индекс задачи  $R_v^{(\sigma)}$  в классе  $H_0$  в случае достаточно малых значений  $\nu - \pi$  вычисляется по формуле

$$\kappa = -4 - n. \quad (5)$$

Справедливость утверждения 1 следует из формулы (5) и результатов работы [4].

Рассмотрим теперь  $W$ -купол, для каждой угловой точки  $p$  которого величина  $2\pi - \nu$  достаточно мала. В этом случае для соответствующих величин  $\mu$  и  $\gamma$  в точке  $q = J(p)$  выполняется неравенство  $-3\pi < \mu + \gamma < -2\pi$  для любого направления обобщённой касательной, откуда  $\frac{1}{\pi} [\mu + \gamma] = -3$ . Отсюда на основании леммы 1 имеет место

**Утверждение 2.** Существуют достаточно малые числа  $\delta_i > 0$  такие, что задача  $R_v^{(\sigma)}$  имеет единственное решение в классе  $H^*$  для любых  $\nu_i \in (2\pi, 2\pi - \delta_i)$  при выполнении  $3n + 3$  условий разрешимости интегрального типа [4].

*Замечание 5.* Утверждение остаётся справедливым, если класс  $H^*$  заменить на  $H_0$ , а число  $3n + 3$  – на число  $2n + 3$ .

*Замечание 6.* Из результатов [5] следует, что в случае сферической поверхности  $S_0$  утверждения 1, 2 справедливы для любых чисел  $\delta_i \in (0; \frac{\pi}{3})$ .

### $W$ -купола специального вида

Пусть  $p$  – какая-либо из угловых точек  $p_i$  границы  $L$ ;  $\mathbf{k}_1, \mathbf{k}_2$  – главные направления в этой точке;  $k_1, k_2$  – соответствующие им главные кривизны ( $k_1 > k_2$ ),  $\delta = \sqrt{\frac{k_2}{k_1}}$ .

Рассмотрим семейства  $S_v^{(\sigma)}$  поверхностей, для которых векторы  $\sigma_i$  задают главные направления

$\mathbf{k}_1$  ( $\mathbf{k}_2$ ) в точках  $p_i$  соответственно. Ниже для обозначения указанных семейств будем использовать обозначения  $S_v^{(1)}$  ( $S_v^{(2)}$ ). Нас интересует множество  $W$ -куполов из семейства  $S_v^{(k)}$  ( $k = 1, 2$ ), для которых точная картина разрешимости задачи  $R$  совпадает с картиной разрешимости задачи И.Н. Векуа [6] для оболочек с гладкой границей.

Для определённости дадим описание особенных (по Н.И. Мухелишвили) узлов граничного условия задачи  $R_v^{(2)}$  в случае  $\pi < v_i < \frac{3}{2}\pi$ . Итак, пусть  $p$  – одна из угловых точек  $W$ -куполов из семейства  $S_v^{(2)}$  с внутренним углом  $v$  ( $\pi < v < \frac{3}{2}\pi$ );  $v'$  – величина внутреннего угла в угловой точке  $q = J(p)$  ( $\pi < v' < \frac{3}{2}\pi$ ) границы  $\Gamma$ .

**Лемма 2.** Если направление вектора  $\mathbf{r}$  в точке  $p$  совпадает с направлением левого предела  $\sigma^{(1)}$  в точке  $p$  касательного к  $L$  единичного вектора  $\sigma$ , то точка  $q$  есть *особенный* узел граничного условия (2) тогда и только тогда, когда

$$v = \pi + \arccos \frac{1}{1+\delta}. \quad (6)$$

*Доказательство.* Пусть  $p$  – угловая точка с внутренним углом  $v = \pi + \theta$ ,  $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ . Положим  $v' = \pi + \tau$ ,  $0 < \tau < \frac{\pi}{2}$ . Из условий леммы следует, что  $\rho^{(1)} = -s^{(1)}$ ,  $\mu_i = -\tau$ , причём согласно лемме 1 особенная точка  $q$  как особенный узел определяется равенством  $\mu_i + \gamma_i = -\pi$ . В силу свойств отображения  $J$  [6] на основании очевидных геометрических соображений получаем  $2\tau + v = \pi$  или  $\sin 2\tau = \sin v$ . Используя соотношение [6, гл. 2]

$$\sin \tau = \sqrt{\frac{K}{k_1 k_g}} \quad (K - \text{гауссова кривизна поверхности в точке } p; k_g - \text{нормальная кривизна поверхности в направлении вектора } s^{(1)}), \text{ а также формулу Эйлера для нормальной кривизны [13], получаем}$$

$$\sin \tau = \sqrt{\frac{k_1}{k_1 + k_2 \operatorname{ctg}^2 v}}. \text{ Так как } \cos \tau = \sqrt{\frac{k_2 \operatorname{ctg}^2 v}{k_1 + k_2 \operatorname{ctg}^2 v}},$$

то из последнего равенства имеем  $\frac{2\sqrt{\delta} \operatorname{ctg}^2 v}{1+\delta \operatorname{ctg}^2 v} = \sin v$ , или  $(1 - \delta)\cos^2 v + 2\sqrt{\delta} \cos v - 1 = 0$ , откуда следует лемма.

*Замечание 7.* Утверждение леммы 2 остаётся в силе, если в формулировке заменить семейство  $S_v^{(2)}$  на семейство  $S_v^{(1)}$ , а величину  $\delta$  в равенстве (6) – на величину  $\delta^{-1}$ .

*Замечание 8.* Утверждение леммы 2 остаётся в силе, если в формулировке заменить семейство  $S_v^{(2)}$ ,  $\pi < v_i < \frac{3}{2}\pi$ , на семейство  $S_v^{(2)}$ ,  $\frac{3}{2}\pi < v_i < 2\pi$  ( $i = 1, \dots, n$ ), а равенство (6) – равенством

$$v = 2\pi - \arccos \frac{1}{1+\delta}. \quad (7)$$

В этом легко убедиться, заменив  $\mu_i + \gamma_i = -\pi$  равенством  $\mu_i + \gamma_i = -2\pi$ , определяющим особенный узел в случае  $v > \frac{3}{2}\pi$ , а затем повторить доказательство леммы 2.

Из леммы 2 и замечаний 7, 8 следует, что в узле  $q = J(p)$ , соответствующем угловой точке  $p$  поверхности  $S_v^{(2)}$  и вектору  $\mathbf{r} = \sigma^{(1)}$ , для величины  $\kappa = \left[ \frac{1}{\pi}(\mu + \gamma) \right]$  выполняются равенства:

$$\begin{aligned} \kappa &= -1, \text{ если } \pi < v \leq \pi + \arccos(1 + \delta)^{-1}; \\ \kappa &= -2, \text{ если } \pi + \arccos(1 + \delta)^{-1} < v \leq 2\pi - \\ &\quad - \arccos(1 + \delta)^{-1}; \\ \kappa &= -3, \text{ если } 2\pi - \arccos(1 + \delta)^{-1} < v < 2\pi. \end{aligned} \quad (8)$$

Используя свойства отображения  $J$ , выражение для функции  $\rho_1(\zeta) + i\rho_2(\zeta)$  и очевидные геометрические соображения, нетрудно показать справедливость соотношений (8) для любого вектора  $\mathbf{r} \in T(v)$ .

Введём обозначения:  $k_1^{(i)}$ ,  $k_2^{(i)}$  – главные кривизны поверхности  $S$  в точке  $p_i$  ( $k_1^{(i)} < k_2^{(i)}$ );

$\delta_i = \sqrt{k_2^{(i)}/k_1^{(i)}}$ . Следствием леммы 1 и соотношений (8) является

**Лемма 3.** Индекс задачи  $R_v^{(2)}$  в классе  $H_0$  вычисляется по формулам:

$$\begin{aligned} \kappa &= -4 - n, \text{ если } \pi < v_i \leq \pi + \arccos(1 + \delta_i)^{-1}; \\ \kappa &= -4 - 2n, \text{ если } \pi + \arccos(1 + \delta_i)^{-1} < v_i \leq \\ &\quad \leq 2\pi - \arccos(1 + \delta_i)^{-1}; \\ \kappa &= -4 - 3n, \text{ если } 2\pi - \arccos(1 + \delta_i)^{-1} < v_i < \\ &\quad < 2\pi. \end{aligned} \quad (9)$$

*Замечание 9.* Если класс  $H_0$  заменить на  $H^*$ , равенства  $\kappa = -4 - n$ ,  $\kappa = -4 - 2n$ ,  $\kappa = -4 - 3n$  – на равенства  $\kappa = -4$ ,  $\kappa = -4 - n$ ,  $\kappa = -4 - 2n$  соответственно, а нестрогие неравенства (9) – на строгие, то справедливость леммы 3 не нарушится.

Таким образом, справедлива [4]

**Теорема.** Задача  $R$  для  $W$ -куполов из семейства  $S_v^{(2)}$ ,  $\pi < v_i \leq \pi - \arccos(1 + \delta_i)^{-1}$ , имеет единственное решение в классе  $H_0$  для любого векторного поля  $\mathbf{r}$ , задающего в точках  $p_i$  направления *обобщённых касательных*, при выполнении  $3 + n$  условий разрешимости интегрального типа. Если  $\pi + \arccos(1 + \delta_i)^{-1} < v_i \leq 2\pi - \arccos(1 + \delta_i)^{-1}$ ;  $(2\pi - \arccos(1 + \delta_i)^{-1} < v_i < 2\pi)$ , то число условий разрешимости равно  $3 + 2n$  ( $3 + 3n$ ).

Доказательство проводится по схеме работы [1] с использованием результатов [4].

*Замечание 10.* Утверждение теоремы остается верным, если семейство  $S_v^{(2)}$  заменить на  $S_v^{(1)}$ , а величины  $\delta_i$  – на  $\delta_i^{-1}$ .

## Литература

1. Векуа И.Н. Системы дифференциальных уравнений первого порядка эллиптического типа и граничные задачи с применением к теории оболочек // *Мат. сб.* 1952. Т. 31, № 2. С. 217–314.

2. Гольденвейзер А.Л. Теория упругих тонких оболочек. М.: Наука, 1976. 512 с.

3. Тюриков Е.В. Геометрический аналог задачи Векуа – Гольденвейзера // *Докл. РАН.* 2009. Т. 424, № 4. С. 445–458.

4. Тюриков Е.В. Краевые задачи теории бесконечно малых изгибаний поверхностей // *Мат. сб.* 1977. Т. 7, № 3. С. 445–462.

5. Тюриков Е.В. Об одном классе граничных задач мембранной теории выпуклых оболочек // *Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки.* 2012. № 3. С. 18–24.

6. Векуа И.Н. Обобщённые аналитические функции. М.: Физматлит, 1959. 512 с.

7. Tjurikov E.V. One case of extended boundary value problem of the membrane theory of convex shells by I.N. Vekua // *Issues of Analysis.* 2018. № 7. P. 153–162.

8. Тюриков Е.В. Критерий безусловной разрешимости для одного класса граничных задач теории бесконечно малых изгибаний поверхностей // *Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки.* 2019. № 3. С. 34–38.

9. Тюриков Е.В. Модифицированная задача Римана – Гильберта для обобщённых аналитических функций и её приложения // *Тр. Мат. центра имени Н.И. Лобачевского.* 2019. Т. 57. С. 334–338.

10. Тюриков Е.В. Граничная задача мембранной теории выпуклых оболочек для одного класса симметрических куполов // *Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки.* 2018. № 1. С. 7–12.

11. Тюриков Е.В. Об одной граничной задаче теории бесконечно малых изгибаний поверхностей // *Владикавказский мат. журн.* 2007. Т. 9, № 1. С. 62–68.

12. Мусхелишвили Н.И. Сингулярные интегральные уравнения. М.: Физматлит, 1968. 511 с.

13. Векуа И.Н. Основы тензорного анализа и теории ковариантов. М.: Физматлит, 1978. 296 с.

## References

1. Vekua I.N. (1952). Systems of first-order differential equations of elliptic type and boundary value prob-

lems with application to the theory of shells. *Mat. sb.*, vol. 31, No. 2, pp. 217-314. (in Russian).

2. Goldenweizer A.L. (1976). *Theory of elastic thin shells.* Moscow, Nauka Publ., 512 p. (in Russian).

3. Tyurikov E.V. (2009). Geometric analog of the Vekua - Goldenweizer problem. *Dokl. RAN*, vol. 424, No. 4, pp. 445-458. (in Russian).

4. Tyurikov E.V. (1977). Boundary value problems of the theory of infinitely small surface bends. *Mat. sb.*, vol. 7, No. 3, pp. 445-462. (in Russian).

5. Tyurikov E.V. (2012). On a class of boundary problems of the membrane theory of convex shells. *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestv. nauki (Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Science)*, No. 3, pp. 18-24. (in Russian).

6. Vekua I.N. (1959). *Generalized analytical functions.* Moscow, Fizmatlit Publ., 512 p. (in Russian).

7. Tjurikov E.V. (2018). One case of extended boundary value problem of the membrane theory of convex shells by I. N. Vekua. *Issues of Analysis*, No. 7, pp. 153-162.

8. Tyurikov E.V. (2019). Criterion of unconditional solvability for a class of boundary value problems in the theory of infinitesimal surface bends. *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestv. nauki (Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Science)*, No. 3, pp. 34-38. (in Russian).

9. Tyurikov E.V. (2019). Modified Riemann-Hilbert problem for generalized analytical functions and its applications. *Tr. Mat. tsentra imeni N.I. Lobachevskogo*, vol. 57, pp. 334-338. (in Russian).

10. Tyurikov E.V. (2018). Boundary value problem of the membrane theory of convex shells for a class of symmetric domes. *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestv. nauki (Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Science)*, No. 1, pp. 7-12. (in Russian).

11. Tyurikov E.V. (2007). On a boundary value problem of the theory of infinitesimal surface bends. *Vladikavkazskii mat. zhurn.*, vol. 9, No. 1, pp. 62-68. (in Russian).

12. Muskhelishvili N.I. (1968). *Singular integral equations.* Moscow, Fizmatlit Publ., 511 p. (in Russian).

13. Vekua I.N. (1978). *Fundamentals of tensor analysis and theory of covariants.* Moscow, Fizmatlit Publ., 296 p. (in Russian).

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ

## SCIENCES OF EARTH

УДК 551.515.4

DOI 10.18522/1026-2237-2020-3-30-36

### ВЗАИМОСВЯЗЬ ЧИСЛА ДНЕЙ С ГРОЗОЙ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ГРОЗ ПО ДАННЫМ ВИЗУАЛЬНЫХ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

© 2020 г. А.Х. Аджиев<sup>1</sup>, Г.В. Куповых<sup>2</sup>, Р.А. Гятов<sup>3</sup>, З.М. Кереева<sup>1</sup><sup>1</sup>Высокогорный геофизический институт, Нальчик, Россия,<sup>2</sup>Южный федеральный университет, Таганрог, Россия,<sup>3</sup>Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, Нальчик, Россия

### RELATIONSHIP BETWEEN THE NUMBER OF DAYS WITH THUNDERSTORMS AND THE DURATION OF THUNDERSTORMS ACCORDING TO VISUAL AND INSTRUMENTAL OBSERVATIONS

A.H. Adzhiev<sup>1</sup>, G.V. Kupovykh<sup>2</sup>, R.A. Gyatov<sup>3</sup>, Z.M. Kerefova<sup>1</sup><sup>1</sup>High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Russia,<sup>2</sup>Southern Federal University, Taganrog, Russia,<sup>3</sup>Berbekov Kabardino-Balkarian State University, Nalchik, Russia

Аджиев Анатолий Хабасович – доктор физико-математических наук, профессор, Высокогорный геофизический институт, пр. Ленина, 2, г. Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, 360030, Россия, e-mail: adessa1@yandex.ru

Anatoly H. Adzhiev - Doctor of Physics and Mathematics, Professor, High-Mountain Geophysical Institute, Lenina Ave, 2, Nalchik, Kabardino-Balkar Republic, 360030, Russia, e-mail: adessa1@yandex.ru

Куповых Геннадий Владимирович – доктор физико-математических наук, профессор, Инженерно-технологическая академия, Южный федеральный университет, пер. Некрасовский, 44, г. Таганрог, 347922, Россия, e-mail: kupovykh@sfedu.ru.

Gennady V. Kupovykh - Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Academy for Engineering and Technologies, Southern Federal University, Nekrasovsky St., 44, Taganrog, 347922, Russia, e-mail: kupovykh@sfedu.ru

Гятов Руслан Абусович – аспирант, Кабардино-Балкарский университет им. Х.М. Бербекова, ул. Чернышевского, 173, г. Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, 360004, Россия, e-mail: gyatov88@mail.ru

Ruslan A. Gyatov - Postgraduate, Berbekov Kabardino-Balkarian State University, Chernyshevskogo St., 173, Nalchik, Kabardino-Balkar Republic, 360004, Russia, e-mail: gyatov88@mail.ru

Кереева Залина Музариновна – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник, Высокогорный геофизический институт, пр. Ленина, 2, г. Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, 360030, Россия, e-mail: zknyaz-kbsu@mail.ru

Zalina M. Kerefova - Candidate of Physics and Mathematics, Researcher, High-Mountain Geophysical Institute, Lenina Ave, 2, Nalchik, Kabardino-Balkar Republic, 360030, Russia, e-mail: zknyaz-kbsu@mail.ru

Для изучения взаимосвязи числа дней с грозой, фиксируемых метеостанциями, и продолжительности гроз (в часах) за эти периоды использованы инструментальные наблюдения грозопеленгационной сети ФГБУ «Высокогорный геофизический институт». Используются данные о грозовых явлениях на территории Северного Кавказа за много-

летний период наблюдений – в 2008–2019 гг. На их основе для различных территорий сгруппированы для анализа число дней с грозой в месяц, в год, а также продолжительность грозы в месяц и в год. Выполнен корреляционный анализ между числом дней с грозой и продолжительностью гроз в часах по данным LS 8000.

В результате физико-статистического анализа установлена зависимость количества дней с грозой от продолжительности гроз – с увеличением числа дней с грозой в год в пункте наблюдений растет прямо пропорционально продолжительность грозы в год. С увеличением числа дней с грозой на заданной территории на один день для рассматриваемого месяца продолжительность гроз возрастает на 3,89 ч.

**Ключевые слова:** молния, гроза, грозопеленгация, молниевый разряд, грозовые процессы, продолжительность гроз.

*For study the relationship between number of days with a thunderstorm recorded by weather stations and duration of thunderstorms in hours for these days, instrumental observations of the thunder direction-finding network of High-Mountain Geophysical Institute were used. We used data on thunderstorms in the North Caucasus for a long-term observation period in 2008-2019. Based on these data, they are grouped for various territories for analysis: the number of days with thunderstorms per month, per year, and the duration of thunderstorms per month and per year. A correlation analysis was performed between the number of days with thunderstorms and the duration of thunderstorms in hours according to LS 800 data.*

*Thus, the dependence of the number of days with thunderstorms on the duration of thunderstorms is clearly traced - with an increase in the number of days with thunderstorms per year, the observation point increases in direct proportion to the duration of thunderstorms per year. With an increase in the number of days with thunderstorms on a given territory by one day, for the month in question, the duration of thunderstorms increases by 3.89 hours.*

**Keywords:** lightning, thunderstorm, direction finding of thunderstorms, lightning discharge, storm processes, duration of thunderstorms.

## Введение

Гроза, возникающая в мощных кучево-дождевых облаках при развитии мощных конвективных потоков в атмосфере, относится к числу наиболее опасных атмосферных явлений. Она является быстротекущим, бурным и чрезвычайно опасным атмосферным процессом. Поражающий фактор грозы – молния, мощный разряд с выделением большой электрической энергии (ток  $\sim 10^4$ – $10^5$  А, напряжение  $\sim 10^7$ – $10^9$  В) вследствие разности потенциалов ( $\sim 10^6$  В) между нижней границей облаков и поверхностью земли или разноименно заряженными частями облака. Типы молний разделяются на наземные положительные, наземные отрицательные и облачные. Поражению от грозовой деятельности подвержены как наземные объекты, так и летательные аппараты: самолеты и ракеты.

Методические основы, заложенные в нормативных документах молниезащиты [1–3], в части характеристик грозовой активности и параметров молний устарели в связи с широким внедрением как в России, так и за рубежом новых пассивных радиотехнических средств мониторинга грозовой активности и измерения параметров молний. Намечаемый в России переход к цифровым управляющим системам цифровой экономики требует принципиального повышения надежности функционирования зависимых от молний объектов и управляющих систем в режимах, связанных с воздей-

ствием тока молнии и электромагнитного поля молнии.

Целью работы является исследование взаимосвязи между числом дней с грозой и продолжительностью гроз (в часах) для территорий Северного Кавказа.

## Методика визуальных наблюдений

Число поражений молниями различных промышленных и хозяйственных объектов зависит от их геометрических размеров и удельной плотности молниевых ударов на землю  $n$ ,  $1/(\text{км}^2 \cdot \text{год})$  на рассматриваемой территории.

Подсчет ожидаемого количества  $N$  поражений молнией в год производится по следующим формулам. Для сосредоточенных зданий и сооружений (дымовые трубы, вышки, башни):

$$N = 9h^2n \cdot 10^6, \quad (1)$$

для зданий и сооружений прямоугольной формы:

$$N = [(S + 6h)(L + 6h) - 7,7h^2] \cdot n \cdot 10^{-6}, \quad (2)$$

где  $h$  – наибольшая высота здания или сооружения;  $S$ ,  $L$  – соответственно ширина и длина здания или сооружения;  $n$  – среднегодовое число ударов молнии в  $1 \text{ км}^2$  земной поверхности (удельная плотность, ударов молнии в землю) в месте нахождения здания или сооружения.

Плотность ударов молнии в землю, выраженная через число поражений  $1 \text{ км}^2$  земной поверх-

ности за год, определяется по данным метеорологических наблюдений в месте размещения объекта. Если же плотность ударов молнии в землю  $n$ ,  $1/(\text{км}^2\cdot\text{год})$  неизвестна, ее можно рассчитать по следующей формуле:

$$n = 6,7 \frac{T}{100}, \quad (3)$$

где  $T$  – средняя длительность гроз за год, ч, определяемая по региональным картам интенсивности грозовой деятельности.

В соответствии с руководящим документом [1] территории Российской Федерации районированы по продолжительности гроз. Среднегодовая продолжительность гроз в произвольном пункте на территории бывшего СССР определяется по карте, или по утвержденным для некоторых областей СССР региональным картам продолжительности гроз, или по средним многолетним наблюдениям (не менее 10 лет) метеостанции, ближайшей к месту нахождения здания или сооружения. При этом также имеются карты среднего числа дней с грозой.

Источниками информации о грозах для создания карт являются визуальные наблюдения, которые производятся на метеостанциях по территории России. По этим данным оцениваются другие параметры гроз.

В табл. 1 представлены данные о продолжительности гроз и числе ударов молний типа «облако – земля» [2].

Таблица 1

Среднегодовая продолжительность гроз ( $T$ ) и удельная плотность молниевых ударов ( $n$ ) / The average annual duration of thunderstorms ( $T$ ) and the specific density of lightning strikes ( $n$ )

№	$T$ , ч	$n$ , $1/(\text{км}^2\cdot\text{год})$
1	10–20	1,0
2	20–40	2,0
3	40–60	4,0
4	60–80	5,5
5	80–100	7,0
6	100 и более	8,5

Как видно из данных табл. 1, рост продолжительности гроз в год приводит к повышению удельной плотности ударов молнии в землю.

До настоящего времени в сети Росгидромета основным источником информации является визуальное наблюдение за грозами на метеостанциях в соответствии с нормативными документами [4, 5]. Кроме основных метеорологических параметров,

измеряемых на метеостанциях России, существует еще ряд атмосферных явлений – туман, гроза, град, гало и другие, информация о которых заносится в метеосводки. Но каждое из них оценивается только качественно, по факту его наличия или отсутствия. Также некоторые виды явлений классифицируются по шкале интенсивности (слабое, умеренное или сильное явление), например сильная метель, умеренная гроза [6]. При регистрации гроз дальность действия визуально-слухового метода составляет от 10 до 20 км в зависимости от орографии местности.

Карты районирования территории России по грозовым характеристикам (приложения к [2, 3]) построены на основе многолетних данных метеостанций. Взаимосвязь между значениями числа дней с грозой за год и продолжительностью грозных явлений описывается формулой:

$$T = K \cdot D, \quad (4)$$

где  $T$  – средняя продолжительность гроз за год, ч;  $D$  – число дней с грозой;  $K$  – размерный коэффициент, равный 2 ч/день.

#### Инструментальные наблюдения за грозой и их анализ

В последние десятилетия наряду с визуальными методами наблюдения за грозами [4–6] все более широкое применение получают инструментальные методы [7–14].

В 90-х гг. XX в. стали широко применяться многопунктовые грозопеленгационные системы для определения параметров молний. В настоящее время внедрение компьютерных средств и технологий в радиотехнические системы позволяет осуществлять наблюдения и передачу данных в режиме онлайн, что соответствует современным требованиям потребителей [15, 16]. Подобная система – грозопеленгационная сеть (ГПС) LS 8000 производства фирмы Vaisala – впервые в России в 2008 г. была развернута на территории Северо-Кавказского федерального округа [13, 14, 17].

Используемая система ГПС LS 8000 состоит из четырех грозопеленгаторов и центрального пункта. Центральный пункт обеспечивает прием информации, ее обработку и последующее архивирование округа [13, 14, 17]. Каждый грозопеленгатор имеет два сенсорных датчика: низкочастотный (LF) и высокочастотный (VHF), сопряженные с системой передачи данных в режиме реального времени. Данные наблюдений, полученные от датчиков, обрабатываются центральным процессором для получения физической и статистической информации о параметрах молниевых разрядов и грозопеленгации. На территории РФ комплексы, аналогичные

ГПС LS 8000, размещены и используются в Московской (ФГБУ «НИЦ «Планета»») и Ростовской областях (АО «Стример»).

Для изучения взаимосвязи числа дней с грозой, фиксируемых метеостанциями, и продолжительности гроз в часах за эти дни использованы инструментальные наблюдения ГПС ВГИ. Были отобраны данные о грозовых явлениях на территории Северного Кавказа за многолетний период наблюдений – в 2008–2019 гг. На их основе для различных территорий сгруппированы для анализа число дней с грозой в месяц, в год, а также продолжительность грозы в месяц и в год.

В табл. 2 представлены статистические характеристики гроз и их вариации на Северном Кавказе за июнь 2018 г., полученные на метеостанциях и с использованием LS 8000 ВГИ. Также приведены расчетные значения продолжительности гроз за июнь 2018 г., полученные по формуле (4).

Как видно из данных табл. 2, значения длительности гроз, полученные разными методами, значительно разнятся. Разница в определении длительности грозовых процессов, полученной визуальным методом, по данным 29 метеостанций составляет в среднем 9,1 ч.

Таблица 2

Дни с грозой и продолжительность гроз, полученные на метеостанциях /  
Days with thunderstorms and duration of thunderstorms received at meteorological stations

№	Метеостанция	Число дней с грозой	Длительность грозы по LS 8000, ч	Длительность грозы по формуле (4), ч	Разница, ч
1	Должанская	6	21	12	9
2	Ейск	6	20	12	8
3	Староминская	11	39	22	17
4	Куцевская	11	26	22	4
5	Каневская	8	13	16	–
6	Сосыко (Павловская)	10	17	20	–3
7	Белая Глина	7	20	14	6
8	Приморско-Ахтарск	8	19	16	3
9	Тихорецк	9	29	18	11
10	Тимашевск	8	19	16	3
11	Кореновск	10	28	20	8
12	Кропоткин	7	13	14	–1
13	Кубанская (Темрюк)	3	3	6	–3
14	Славянск-на-Кубани	6	14	12	2
15	Усть-Лабинск	10	33	20	13
16	Анапа	5	11	10	1
17	Крымск	5	18	10	8
18	Краснодар	9	18	18	0
19	Армавир	9	19	18	1
20	Новороссийск	5	21	10	11
21	Горячий Ключ	11	31	22	9
22	Белореченск	8	22	16	6
23	Лабинск	9	26	18	8
24	Геленджик	10	28	20	8
25	Джубга	8	26	16	10
26	Отрадная	4	6	8	–2
27	Туапсе	9	36	18	18
28	Горный	19	78	38	40
29	Псебай	11	27	22	5
	<b>Среднее</b>	<b>9</b>	<b>22,5</b>	<b>16,3</b>	<b>9,1</b>

Наибольшая разница продолжительности грозы, по разным методам, составляет до 18 ч (метеостанция Туапсе). Следует отметить, что, как правило, измеренные средние значения длительности грозы составляют 22,5 ч, а расчетные значения – 16,3 ч.

На основе данных ГПС LS 8000 проведено исследование взаимосвязи между числом дней с грозой и длительностью гроз для различных территорий на Северном Кавказе. Если принять измеренные LS 8000 продолжительности гроз как абсолют-

ные значения, то ошибка в расчетных значениях продолжительности гроз по метеоданным числа дней с грозой составляет 40 %, что значимо при решении задач молниезащиты различных объектов.

По представленным в табл. 2 данным построены графики числа дней с грозой в месяц и продолжительности гроз в часах в месяц по 29 метеостанциям (рис. 1).

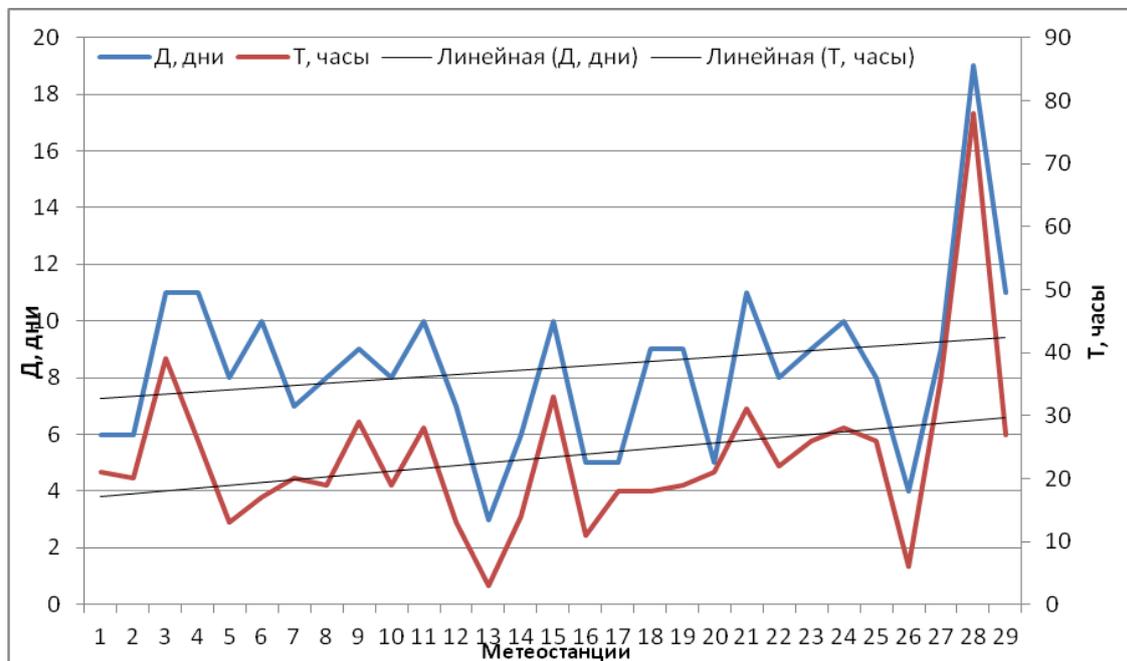


Рис. 1. Динамические ряды данных для метеостанций Краснодарского края /  
Fig. 1. Dynamic data series for meteorological stations in the Krasnodar region

Анализируемые данные ГПС LS 8000 также приведены к зоне сбора данных на метеостанциях – к пунктам наблюдений площадью около 100–1256 км<sup>2</sup>. Площадь сбора грозоразрядной информации установлена экспериментально – сравнением информации, полученной ранее на метеостанциях, с радиолокационными измерениями на полигоне УкрНИГМИ в 60-х гг. XX в. [12]. Для Северного Кавказа, с учетом значительной орографической неоднородности, нами принята площадь визуально-слухового сбора грозовой информации в 700 км<sup>2</sup>.

Как видно из рис. 1, достаточно четко прослеживается синхронный ход по всем метеостанциям значений числа дней с грозой  $D$  и продолжительности гроз  $T$  в год.

Приведенные на рис. 1 тренды аппроксимированы выражениями:

$$T = 0,45 \cdot X + 16,8, \quad (5)$$

$$D = 0,077 \cdot X + 7,19, \quad (6)$$

где  $X$  – номер метеостанции от 1 до 29;  $T$  – длительность гроз в год, ч;  $D$  – число дней с грозой.

Анализ трендов на рис. 1 свидетельствует, что отношение  $T/D$  варьируется от 2,4 до 3,2 при среднем значении 2,8.

Выполнен корреляционный анализ между числом дней с грозой и продолжительностью гроз в часах по данным LS 8000, приведенным в табл. 2 для метеостанций Краснодарского края. На рис. 2 представлена линия регрессии, связывающая количество дней с грозой  $D$  с продолжительностью гроз  $T_{LS}$ .

Для времени продолжительности гроз получено выражение:

$$T_{LS} = K_{LS} \cdot D - 9,04, \quad (7)$$

где  $T_{LS}$  – продолжительность гроз, ч;  $K_{LS}$  – размерный множитель, равный 3,8985 ч/день;  $D$  – дни. Выражение справедливо для количества дней  $D \geq 3$ .

В результате исследования статистической зависимости между числом дней с грозой  $D$  в год и продолжительностью гроз в часах  $T$  в год в пунктах наблюдений – метеостанций получен высокий и статистически значимый коэффициент корреляции, равный 0,89. Следовательно, возможно построение регрессионной модели, отражающей реальные закономерности взаимосвязи между числом дней с грозой  $D$  в год и продолжительностью гроз в часах  $T$  в год в пунктах наблюдений – метеостанций.

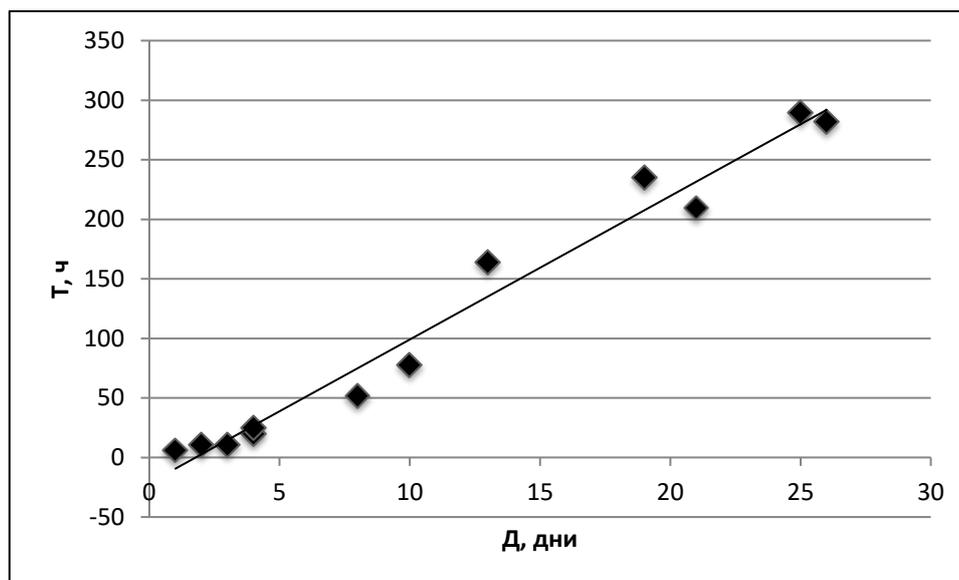


Рис. 2. Линия регрессии, связывающая количество дней с грозой  $D$  с продолжительностью гроз  $T_{LS}$  /

Fig. 2. Regression line linking the number of days with thunderstorms  $D$  with the duration of thunderstorms  $T_{LS}$

### Заключение

В результате проведённых наблюдений и статистического анализа данных установлена зависимость количества дней с грозой от продолжительности гроз – с увеличением числа дней с грозой в год в пункте наблюдений растёт прямо пропорционально продолжительность грозы в год. С увеличением числа дней с грозой на заданной территории на один день для рассматриваемого месяца продолжительность гроз возрастает на 3,89 ч.

### Литература

1. РД 34.21.122-87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений: утв. главтехуправлением Минэнерго СССР 12.10.1987. М., 1987.
2. СО 153-34.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. М., 2004.
3. ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок. 7-е изд.: утв. Министерством энергетики Российской Федерации, приказ от 08.07.2002 № 204.
4. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 300 с.
5. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, ч. II: Обработка материалов метеорологических наблюдений. СПб.: Гидрометеоздат, 2001. 90 с.

6. Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений. ВМО № 8. Женева: ВМО, 2014. 778 с.

7. Мареев Е.А., Трахтенгерц В.И. Загадки атмосферного электричества // Природа. 2007. № 3. С. 24–33.

8. Trakhtengerts V.Y., Iudin D.I., Kulchitsky A.V., Hayakawa M. Electron acceleration by a stochastic electric field in the atmospheric layer // Phys. Plasmas. 2003. Vol. 10, № 8. P. 3290–3296.

9. Price C., Rind D. Possible implications of global climate change on global lightning distribution and frequencies // J. Geophys. Res. 1994. Vol. 99. P. 10823–10831.

10. Grandt Ch. Global thunderstorm monitoring by using the ionospheric propagation of VLF lightning pulses with applications to climatology. Bonn, 1991. P. 134–142.

11. Abdu M.A., Batista I.S., Piazza L.R., Massambani O. Magnetic storm associated enhanced particle precipitation in the South Atlantic anomaly: evidence from VLF phase measurements // J. Geophys. Res. Space Phys. 1981. Vol. 86 (A9). P. 7533–7542.

12. Дивинская Б.И. К вопросу о методике определения частоты гроз в пункте и ограниченных площадях // Труды ГГО. 1964. Вып. 159. С. 79–84.

13. Аджиев А.Х., Кулиев Д.Д., Аджиева А.А., Куповых Г.В., Тумгоева Х.А. Определение параметров молниевых разрядов с использованием грозорегистратора LS 8000 // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2018. № 3. С. 55–63.

14. Аджиев А.Х., Куповых Г.В., Андриевская В.Ю., Юрченко Н.В., Кудринская Т.В., Редин А.А. Мониторинг характеристик грозовой активности на юге европейской части России // Изв. ЮФУ. Техн. науки. 2017. № 4. С. 212–223.

15. Inampues J., Aranguren D., Torres H., Montanya J., Santoyo I., Olarte E., Younes C. Analysis of lightning forecasts in Colombia based on the lightning detection network data // X International Symposium on Lightning Protection. Curitiba, Brasil: SIPDA, 2009. P. 209–229.

16. Murphy M.J. Probabilistic early warning of cloud-to-ground lightning at an airport // 16th Conference on Probability and Statistics in the Atmospheric Sciences. Orlando, Florida, 2002. P. 71.

17. Аджиев А.Х., Тапашханов В.О., Стасенко В.Н. Система грозопеленгации на Северном Кавказе // Метеорология и гидрология. 2013. № 1. С. 5–11.

#### References

1. RD 34.21.122-87. *Instructions for lightning protection of buildings and structures*. (1987). Approved by the Main Technical Department of the Ministry of Energy of the USSR, October 12, 1987. Moscow. (in Russian).

2. CO 153-34.21.122-2003. *Instructions for lightning protection devices for buildings, structures and industrial communications*. (2004). Moscow. (in Russian).

3. PUE 7. *Rules for the installation of electrical installations*. 7th ed. Approved by the Ministry of Energy of the Russian Federation, order dated July 8, 2002 No. 204. (in Russian).

4. *Manual to hydrometeorological stations and posts*. (1985). Leningrad, Hydrometeoizdat Publ. 300 p. (in Russian).

5. *Guidance document. Manual to hydrometeorological stations and posts. Issue 3, part II. Processing of meteorological observation materials*. (2001). Saint Petersburg, Gidrometeoizdat Publ. 90 p. (in Russian).

6. *Guidance on meteorological instruments and methods of observation*. (2014). WMO No. 8. Geneva, WMO Press, 778 p. (in Russian).

7. Mareev E.A., Trakhtengerts V.I. (2007). Riddles of atmospheric electricity. *Priroda*, No. 3, pp. 24-33. (in Russian).

8. Trakhtengerts V.Y., Iudin D.I., Kulchitsky A.V., Hayakawa M. (2003). Electron acceleration by a stochastic electric field in the atmospheric layer. *Phys. Plasmas*, vol. 10, No. 8, pp. 3290-3296.

9. Price C., Rind D. (1994). Possible implications of global climate change on global lightning distribution and frequencies. *J. Geophys. Res.*, vol. 99, pp. 10823-10831.

10. Grandt Ch. (1991). *Global thunderstorm monitoring by using the ionospheric propagation of VLF lightning pulses with applications to climatology*. Bonn, pp. 134-142.

11. Abdu M.A., Batista I.S., Piazza L.R., Massambani O. (1981). Magnetic storm associated enhanced particle precipitation in the South Atlantic anomaly: evidence from VLF phase measurements. *J. Geophys. Res. Space Phys.*, vol. 86 (A9), pp. 7533-7542.

12. Divinskaya B.I. (1964). To the question of the methodology for determining the frequency of thunderstorms in a point and limited areas. *Trudy GTO*, iss. 159, pp. 79-84. (in Russian).

13. Adzhiev A.Kh., Kuliyeu D.D., Adzhieva A.A., Kupovykh G.V., Tumgoeva H.A. (2018). Determining the parameters of lightning discharges using the Is 8000 lightning recorder. *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestv. nauki (Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Science)*, No. 3, pp. 55-63. (in Russian).

14. Adzhiev A.Kh., Kupovykh G.V., Andrievskaya V.Yu., Yurchenko N.V., Kudrinskaya T.V., Redin A.A. (2017). Monitoring of thunderstorm activity characteristics in the South of the European part of Russia. *Izv. SFU. Technical science*, No. 4, pp. 212-223. (in Russian).

15. Inampues J., Aranguren D., Torres H., Montanya J., Santoyo I., Olarte E., Younes C. (2009). Analysis of lightning forecasts in Colombia based on the lightning detection network data. *X International Symposium on Lightning Protection*. Curitiba, Brasil, SIPDA Press, pp. 209-229.

16. Murphy M.J. (2002). Probabilistic early warning of cloud-to-ground lightning at an airport. *16th Conference on Probability and Statistics in the Atmospheric Sciences*. Orlando, Florida, p. 71.

17. Adzhiev A.Kh., Tapashkanov V.O., Stasenko V.N. (2013). Lightning direction finding system in the North Caucasus. *Meteorologiya i gidrologiya*, No. 1, pp. 5-11. (in Russian).

УДК 379.851, 338.48

DOI 10.18522/1026-2237-2020-3-37-43

## КЕМЕРОВСКАЯ ОБЛАСТЬ В НАЦИОНАЛЬНОМ ТУРИСТИЧЕСКОМ РЕЙТИНГЕ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

© 2020 г. *О.А. Брель<sup>1</sup>, А.И. Зайцева<sup>1</sup>, Ф.Ю. Кайзер<sup>1</sup>*  
<sup>1</sup>Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

### KEMEROVO REGION IN THE NATIONAL TOURIST RATING: A COMPARATIVE ANALYSIS

*O.A. Brel<sup>1</sup>, A.I. Zaitseva<sup>1</sup>, Ph.Yu. Kaizer<sup>1</sup>*  
<sup>1</sup>Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

*Брель Ольга Александровна – доктор педагогических наук, доцент, заведующая кафедрой геологии и географии, Институт биологии, экологии и природных ресурсов, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия, e-mail: brel\_o\_a@mail.ru*

*Olga A. Brel - Doctor of Pedagogics, Associate Professor, Head of Geology and Geography Department, Institute of Biology, Ecology and Natural Resources, Kemerovo State University, Krasnaya St., 6, Kemerovo, 650000, Russia, brel\_o\_a@mail.ru*

*Зайцева Анна Игоревна – кандидат экономических наук, доцент, кафедра геологии и географии, Институт биологии, экологии и природных ресурсов, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия, e-mail: lit-ani@mail.ru*

*Anna I. Zaitseva - Candidate of Economics, Associate Professor, Geology and Geography Department, Institute of Biology, Ecology and Natural Resources, Kemerovo State University, Krasnaya St., 6, Kemerovo, 650000, Russia, e-mail: lit-ani@mail.ru*

*Кайзер Филипп Юрьевич – аспирант, ассистент, старший преподаватель, кафедра геологии и географии, Институт биологии, экологии и природных ресурсов, Кемеровский государственный университет, ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Россия, e-mail: filipp.kaizer@yandex.ru*

*Philipp Yu. Kaizer - Postgraduate, Assistant, Senior Lecturer, Geology and Geography Department, Institute of Biology, Ecology and Natural Resources, Kemerovo State University, Krasnaya St., 6, Kemerovo, 650000, Russia, e-mail: filipp.kaizer@yandex.ru*

*Представлен сравнительный анализ изменения позиций, занимаемых Кемеровской областью в рейтинге туристской привлекательности регионов России. Подчеркивается, что рейтинговые оценки выполняют различные функции, а составляемые на их основе различные виды рейтингов являются популярным инструментом для определения уровня развития той или иной сферы или состояния в целом. Анализируется изменение показателей, характеризующих состояние туристской отрасли Кемеровской области за последние шесть лет, определяется их роль в повышении конкурентоспособности региона. Сделан вывод о том, что положительная динамика основной части показателей оценки туристской привлекательности Кемеровской области отразилась на улучшении ее позиции в Национальном туристическом рейтинге. За 6 лет область показала прирост 31,3 балла. Среди факторов, сдерживающих рост туристской привлекательности региона, отмечены неблагоприятное экологическое состояние региона, низкий уровень развития гостиничного бизнеса и инфраструктуры, недостаточное продвижение региона на рынке, слабая поддержка общественных инициатив со стороны местного населения.*

**Ключевые слова:** *рейтинговая оценка, сравнительный анализ, туристский потенциал, туристская индустрия, инфраструктура, регион, показатель, развитие.*

The article is devoted to a comparative analysis of the positions held by the Kemerovo region in the rating of tourist attractiveness of Russian regions. It is emphasized that rating assessments perform various functions. Various types of ratings compiled on the basis of such assessments are a popular tool for determining the level of development of a particular social or economic sphere or their condition as a whole. The authors demonstrate and analyze the change in indicators characterizing the state of the tourism industry of the Kemerovo region within the past six years, determine their role in increasing the competitiveness of the region. It is concluded that the positive dynamics of the main part of the indicators affected the improvement of its position in the National Tourism Rating. The region showed an increase of 31.3 points for this period. The unfavorable ecological state of the region, the low level of development of the hotel business and tourist infrastructure, insufficient promotion of the region in the tourist market, weak support of public initiatives by the local population are among the factors restraining the growth of tourist attractiveness of the Kemerovo region.

**Keywords:** rating assessment, comparative analysis, tourism potential, tourism industry, infrastructure, region, indicator, development.

## Введение

Неравномерность экономического и социального развития регионов Российской Федерации является объективной закономерностью для такой обширной по площади и разнообразной по природным условиям страны. Регионы отличаются друг от друга природным потенциалом, хозяйственной специализацией, степенью развития промышленного комплекса, наличием или отсутствием тех или иных ресурсов, в том числе рекреационных. Все это предопределяет разнообразие социально-экономических особенностей региона и его привлекательность для потенциальных потребителей туристского продукта.

Выявление адекватных причин отставания в социально-экономическом плане отдельных регионов на основе оценивания критериев и показателей является важной задачей стратегического планирования развития как отдельных субъектов, так и страны в целом. Для проведения объективного сравнительного анализа, позволяющего осуществить комплексную оценку состояния туристской отрасли регионов и сформировать их рейтинг по уровню

развития туризма, используется совокупность количественных и качественных показателей, описывающих рекреационный потенциал региона, уровень развития туристской и сопутствующей инфраструктуры, динамику развития туризма и др.

Подобные рейтинги используются при принятии решений и разработке рекомендаций в сфере регулирования туризма и предоставляют возможность оценки как отдельных факторов, влияющих на развитие туристской сферы, так и их совокупности. Рейтинги позволяют странам и регионам адекватно определять свою позицию и роль в развитии туризма, оценивать свои конкурентные преимущества, усиливающие туристскую привлекательность территории.

Так, В.И. Кружалин, Н.В. Шабалина, Н.И. Тульская, Е.К. Рыцарева и другие авторы выделяют следующие функции туристских рейтингов: информационная, стимулирующая, посредническая, контрольная [1, 2]. Взяв за основу предложенную классификацию, мы дополнили ее идентификационной, прогнозирующей и адаптационной функциями. В табл. 1 отображены краткая их характеристика, а также нацеленность на определенные субъекты экономических отношений.

Таблица 1

Функции туристских рейтингов / Functions of tourist ratings

Функция	Краткая характеристика	Нацеленность
Информационно-диагностическая	Комплексная информация об оцениваемом объекте, объективное выявление позиции оцениваемого объекта	Бизнес, власть, наука, общество, турист
Мотивационно-стимулирующая	Стимулирование оцениваемого объекта к принятию мер по улучшению своих позиций, потребительским предпочтениям участников туристского рынка	Бизнес, власть, наука
Посредническая	Взаимодействие между разными субъектами экономических отношений	Бизнес, власть, наука, общество, турист
Контрольная	Использование самим объектом оценки для разработки стратегии развития туризма	Бизнес, власть, наука
Идентификационная	Выявление соответствий между показателями рейтинга и реальной ситуацией	Бизнес, власть, наука, общество, турист
Прогнозирующая	Прогнозирование позиций оцениваемого объекта среди конкурентов	Бизнес, власть, наука
Адаптационная	Выражение потребности оцениваемого объекта в приспособлении к туристским трендам и лучшим практикам	Бизнес, власть, наука

В настоящее время применяются четыре группы рейтингов: глобальные, национальные, региональные и специализированные. В мировой практике наиболее содержательным является международный рейтинг «Индекс глобальной конкурентоспособности в сфере туризма и путешествий» (ТТСИ), создаваемый раз в два года Центром по глобальной конкурентоспособности и эффективности при Всемирном экономическом форуме (г. Давос). В течение нескольких лет Всемирный экономический форум активно занимается исследованием национальной конкурентоспособности, чтобы лучше понять движущие силы роста и благосостояния. Цель составления рейтинга заключается в предоставлении инструментов для сравнительного анализа, которые позволят странам выявить ключевые препятствия для конкурентоспособности и обеспечить платформу для диалога между правительством, бизнесом и гражданским обществом для обсуждения лучших способов их устранения [3].

Ситуация, сложившаяся в 2014 г. на мировой экономической и политической арене, политика санкций, введенная по отношению к России, снижение курса рубля по сравнению с главными мировыми валютами и ряд других факторов, отразившихся на состоянии туристской сферы и продолживших свое влияние в последующие годы, привели к необходимости переориентации российского туристского рынка с выездного на въездной и внутренний. На всех уровнях власти заговорили о значимости туризма для национальной экономики. Практически сразу же была озвучена проблема не-

освоенности большей части регионов России, которая вызвала значительное число дискуссий и обнажила необходимость оценки и поиска возможностей для реализации туристского потенциала страны. Тем не менее курс на развитие внутреннего туризма продолжился.

Череда внешнеполитических событий 2015 г. еще больше обострила обстановку между Россией и рядом зарубежных стран. Закрытие для выезда двух наиболее популярных у российских туристов направлений усугубило вопрос о необходимости проведения политики импортозамещения в туристской сфере.

В связи с данными событиями в целях развития внутреннего туризма и определения туристской привлекательности регионов России в 2015 г. центром информационных коммуникаций «Рейтинг» совместно с журналом «Отдых в России» впервые был составлен рейтинг туристской привлекательности субъектов РФ [4].

### Материалы и методы исследования

Главной методической особенностью Национального туристического рейтинга являются его максимальная прозрачность и простота. Для получения достоверных результатов в регионах страны была создана экспертная сеть, включающая более 300 экспертов, которые на условиях строгой анонимности выражали своё мнение о ситуации и тенденциях развития туризма в регионах по критериям, которые в общих чертах отображены на рис. 1.

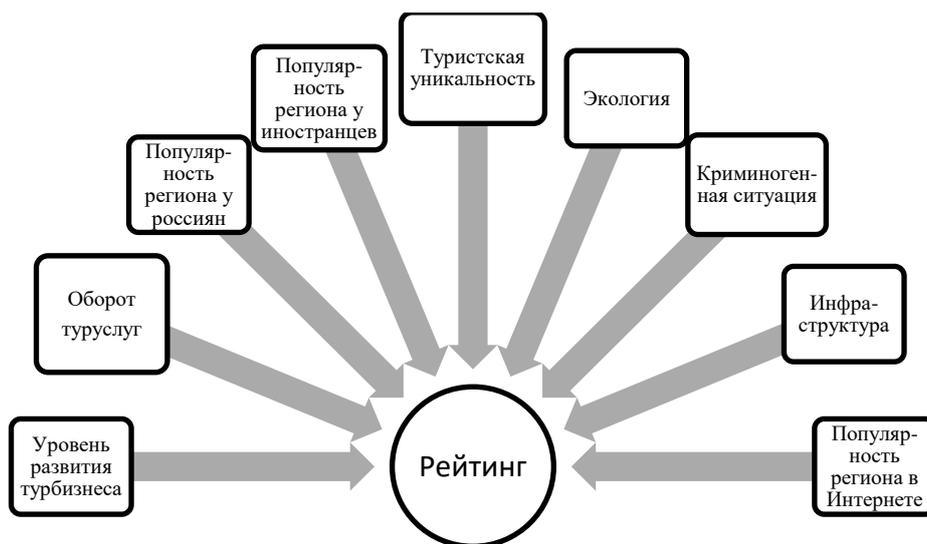


Рис. 1. Критерии составления Национального туристического рейтинга  
 / Fig. 1. Criteria for compiling a National Tourism Rating

На основе анализа открытых источников и ведомственной статистики экспертами по каждому из критериев было проведено соответствующее ранжирование. По результатам рейтинговой оценки все 85 субъектов РФ были разделены на три группы по уровню развития туризма. В *первую группу* вошли 16 субъектов, преодолевших 50-балльный порог. Это известные туристские центры, среди которых Краснодарский край, города Санкт-Петербург и Москва, Московская, Калининградская области, Алтайский край и другие субъекты РФ.

*Вторую группу* рейтинга представляют регионы, набравшие от 30 до 50 баллов и занявшие позиции с 17-й по 65-ю включительно. Для многих регионов этой группы (Республики Хакасия и Якутия, Амурская область, Чукотский АО и др.) факторами, снижающими их привлекательность, стали географическая удаленность от центра и слабый уровень развития инфраструктуры.

*Третья группа* объединила регионы, занявшие места с 66-го по 85-е и набравшие меньше 30 баллов. Сюда отнесены Томская, Курская, Орловская области, Забайкальский край, республики Кавказа – Северная Осетия–Алания, Дагестан и другие субъекты РФ. В эту же группу вошла и Кемеровская область, которая заняла 70-ю позицию и получила 28,8 балла. Эксперты единогласно отмечают, что регионы этой группы, несмотря на наличие туристской изюминки отличает то, что они находятся в начале пути по освоению и рациональному использованию своего туристского потенциала. Кроме того, в соответствии с классификацией социально-

экономического состояния регионов РФ большинство субъектов этой группы относятся к числу депрессивных: для них характерны невысокий уровень жизни, низкие доходы населения, слабо развитая инфраструктура [4, 5].

Результаты первого Национального туристического рейтинга вызвали, с одной стороны, огромный интерес у туристского бизнес-сообщества и активные обсуждения гражданами. С другой – представители органов власти восприняли их как вызов по отношению к результатам собственной политики в сфере туризма. Таким образом, первый туристский рейтинг остро обозначил существующие проблемы, что еще больше усилило интерес к въездному и внутреннему туризму.

Учитывая недостатки первого рейтинга, в 2016 г. критерии оценки туристской привлекательности были усовершенствованы. Так, к девяти показателям прошлого года был добавлен десятый показатель, выделивший в особую группу вопрос продвижения туристского потенциала региона в информационном пространстве.

#### Результаты работы и их обсуждение

В табл. 2 представлены данные по основным показателям оценки туристской привлекательности Кемеровской области, используемые с 2015 по 2019 г. Источниками первичной информации послужили данные интернет-порталов Федеральной службы государственной статистики по Кемеровской области и Федерального агентства по туризму РФ.

Таблица 2

Показатели оценки туристской привлекательности Кемеровской области /  
Indicators of assessment of tourist attractiveness of the Kemerovo region [6]

№	Показатель	2015	2016	2017	2018	2019
1	Число коллективных средств размещения	302	275	323	330	324
2	Число мест в коллективных средствах размещения	20866	19108	25572	22380	22296
3	Число турфирм	303	235	254	244	246
4	Доля занятых в сфере туризма и гостеприимства от общего населения региона, %	0,23	0,24	0,25	0,26	0,26
5	Доходы коллективных средств размещения, тыс. р.	3734009	3543541	3925719	4241154	4939560
6	Объем платных туристских услуг населению, млн р.	4256,5	3884,7	3996	4116	4 468
7	Оборот предприятий общественного питания, млн р.	17508	18441	19042	20149	22086
8	Объем платных услуг санаторно-курортных организаций, млн р.	1398	1051	1414	1052	1120
9	Число граждан РФ, размещенных в коллективных средствах размещения	476931	429060	540580	586179	604605
10	Число ночевков в коллективных средствах размещения	2661583	2253872	2740100	2703683	2702488
11	Численность иностранных граждан, размещенных в коллективных средствах размещения	9491	10614	13470	14200	14553 (январь – декабрь)
12	Количество совершенных преступлений на 1000 жителей региона	23	21,49	21,06	19,7	20,1

Анализ статистических данных позволяет сделать вывод о том, что по отдельным оцениваемым показателям (число коллективных средств размещения, число граждан РФ, размещенных в коллективных средствах размещения, объем платных туристских услуг населению, доходы коллективных средств размещения) наблюдается положительная динамика за анализируемый период.

В целом, как показывают приведенные показатели, результаты второго и последующего рейтингов показали существенное изменение позиций Кемеровской области в лучшую сторону. Так, по результатам 2016 г. регион перешел из третьей группы во вторую, заняв 51-е место и набрав 43,3 балла. По оценкам экспертов, регионы второй группы имеют хороший потенциал для развития туризма. Отмечаются заинтересованность и значительное внимание органов региональной власти к развитию туризма в регионах этой группы [4].

Основными элементами, составляющими туристский потенциал Кемеровской области, являются природные рекреационные ресурсы. Они выступают базой для развития спортивно-оздоровительного, экстремального, экологического и других видов активного туризма. Историко-культурное наследие региона рассматривается как основа для развития экскурсионно-познавательного, религиозного и научного туризма. Социально-экономический потенциал территории позволяет формировать необходимую туристскую инфраструктуру [7, 8].

Однако, по мнению экспертов, несмотря на то что в Кузбассе имеются все предпосылки для развития многих видов туризма, региону не хватает ярких событий, вызывающих рост турпотока, и системности в развитии туристско-рекреационного потенциала и продвижении регионального турпродукта.

В 2017 г. критерии и показатели рейтинговой оценки туристской привлекательности регионов в очередной раз были изменены и уточнены, но сама методика и принципы оценки остались прежними [4].

В итоге по результатам оценки туристской привлекательности регионов РФ в 2017 г. Кемеровская область продемонстрировала рост значений отдельных показателей и общего числа баллов в рейтинге. Регион остался во второй группе, при этом усилив позиции до 43-го места (+10,3 балла к результатам 2016 г.). Сдерживающими рост туристской привлекательности факторами по-прежнему остаются неблагоприятное экологическое состояние региона, низкий уровень развития гостиничного бизнеса и инфраструктуры, а также недостаточное продвижение региона на туристском рынке. В то же время эксперты отмечают попытки активизировать развитие индустриального туризма, что для Кемеровской области является не менее актуальным, чем горнолыжный туризм. В регионе уже имеются успешные примеры музеефикации горноугольного индустриального наследия [9].

В конце 2018 г. был составлен четвертый Национальный туристический рейтинг регионов РФ. В очередной раз были дополнены показатели по отдельным критериям. По результатам этого рейтинга Кемеровская область сохранила свои позиции во второй группе, названной экспертами «крепкие профи». Кемеровская область осталась на прежнем 43-м месте, однако общее число баллов немного увеличилось (+3 к результатам 2017 г.).

По результатам рейтинга 2019 г. Кемеровская область улучшила свои позиции, поднявшись вверх на один пункт. В итоге область заняла 42-е место и получила 60,2 балла по оценкам экспертов. На рис. 2 представлена динамика баллов региона в рейтинге туристской привлекательности.

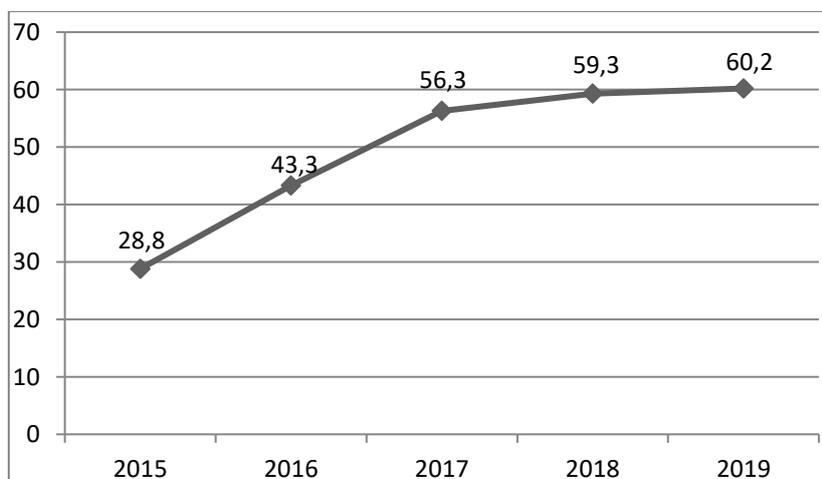


Рис. 2. Результаты рейтинговой оценки туристской привлекательности Кемеровской области, баллы /  
 Fig. 2. The results of the rating assessment of the tourist attractiveness of the Kemerovo region, points

Сравнительный анализ показал, что за 5 лет регион существенно изменил свои позиции в рейтинге, поднявшись с 70-й позиции на 42-ю, прирост в баллах составил +31,3.

Таким образом, результаты оценки и анализ позиций, которые занимает Кемеровская область в Национальном туристическом рейтинге, свидетельствуют о том, что имеющийся потенциал используется во благо экономического и социального развития региона.

Регионы, не специализирующиеся на туристской деятельности, но при этом обладающие богатыми туристско-рекреационными ресурсами и потенциалом их использования, столкнулись с необходимостью диверсификации структуры своей экономики. Наиболее остро данная проблема встала в регионах ресурсного типа, в том числе и в Кемеровской области, где уже укрепился сугубо промышленный образ территории, а это, в свою очередь, усложняет его модификацию на туристский. Для успешной реализации политики диверсификации ресурсного региона особенно важными являются необходимость развития туристской инфраструктуры, создание оптимальных законодательных и налоговых условий ведения туристского бизнеса в регионе, поддержка инициатив развития со стороны местного населения как потенциальных занятых в данной сфере, подготовка соответствующих кадров и т.д. [10].

Туризм для Кемеровской области играет важную роль в решении социально-экономических проблем, обеспечивая развитие малого и среднего предпринимательства в малых городах, муниципальных районах, моногородах, реструктурируя сферу занятости местного населения с промышленного профиля в сферу услуг. При этом необходимо отметить, что сама промышленность региона (в том числе угольная) испытывает качественные и количественные изменения, переходя на современные технологии, что уменьшает востребованность в количестве рабочей силы на добывающих и обрабатывающих промышленную продукцию предприятиях. Это способствует росту дифференциации экономически активного населения в Кузбассе.

Подводя итоги, необходимо отметить, что изменение рейтинговых оценок заставляет по-новому взглянуть на проблему конкурентоспособности как отдельных предприятий туристской индустрии, так и туристских дестинаций разного уровня: муниципального, регионального, федерального. Рейтинги полезны на начальной стадии диагностики, когда высока степень неопределенности, недостаточно информационно-аналитических материалов и знаний об объекте планирования. На этапе целеполагания ряд целей может быть трансформирован для удер-

жания или усиления позиций объектов в рейтингах. Рейтинги могут рассматриваться и в качестве информационной основы при проведении стратегического анализа, и как действенный инструмент фиксации достижений в повышении конкурентоспособности и привлекательности регионов и городов.

## Литература

1. Крузжалин В.И., Шабалина Н.В., Тульская Н.И. Научные подходы к формированию рейтингов регионов России по уровню развития индустрии туризма // Право и экономика. 2011. № 4. С. 2–6.
2. Рыцарева Е. Рейтинг и «рейтинги» // Эксперт. 2006. № 37. С. 174–177.
3. Dwyer L., Forsyth P., Dwyer W. Tourism and economic development. Three tools of analysis // Tourism Recreation Research. 2009. Vol. 34, No. 3. P. 307–318. DOI: 10.1080/02508281.2009.11081605.
4. Спецпроекты. Национальный туристический рейтинг // Национальный рейтинг. URL: <http://russia-rating.ru/info/category/спецпроекты> (дата обращения: 18.04.2020).
5. Захаров К.С., Волков П.А. Необходимость и опыт оценки туристской привлекательности регионов России // Экономика и предпринимательство. 2017. № 5-1 (82). С. 384–387.
6. Официальная статистика // Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Кемеровской области. URL: <https://kemerovostat.gks.ru/ofstatistics> (дата обращения: 10.04.2020).
7. Зайцева А.И. Общие вопросы краеведения: туристско-рекреационный потенциал Кемеровской области. Кемерово: Изд-во КемГУ, 2017. 118 с.
8. Стратегия развития туризма в Кемеровской области до 2025 г.: распоряжение коллегии администрации Кемеровской области № 194-р от 01.03.2013. URL: [https://ako.ru/upload/medialibrary/14e/Strategija\\_razvitiya\\_turizma\\_v\\_Kemeroskoj\\_oblasti\\_do\\_2025\\_goda.doc](https://ako.ru/upload/medialibrary/14e/Strategija_razvitiya_turizma_v_Kemeroskoj_oblasti_do_2025_goda.doc) (дата обращения: 10.04.2020).
9. Zaytseva A., Brel O., Kaize Ph. Russian Experience of Conservation and Renovation of Industrial Regions' Heritage // J. of Environmental Management and Tourism. 2018. Vol. IX, No. 4 (28). P. 766–770. DOI: 10.14505/jemt.v9.4(28).10.
10. Брель О.А., Кайзер Ф.Ю. Туристская привлекательность как фактор диверсификации экономики ресурсного региона // Вестн. Кемеровского гос. ун-та. Политические, социологические и экономические науки. 2017. № 3. С. 25–28.

## References

1. Kruzhalin V.I., Shabalina N.V., Tulskaia N.I. (2011). Scientific approaches to the formation of ratings of

Russian regions by the level of development of the tourism industry. *Pravo i ekonomika*, No. 4, pp. 2-6. (in Russian).

2. Rytsareva E. (2006). Rating and "ratings". *Ekspert*, No. 37, pp. 174-177. (in Russian).

3. Dwyer L., Forsyth P., Dwyer W. (2009). Tourism and economic development. Three tools of analysis. *Tourism Recreation Research*, vol. 34, No. 3, pp. 307-318. DOI: 10.1080/02508281.2009.11081605.

4. *Special projects. National tourist rating*. Available at: <http://russia-rating.ru/info/category/спецпроекты> (accessed April 18, 2020). (in Russian).

5. Zakharov K.S., Volkov P.A. (2017). The necessity and experience of assessing the Russian regions tourist attractiveness. *Ekonomika i predprinimatel'stvo*, vol. 5-1, No. 82, pp. 384-387. (in Russian).

6. Official statistics. *Territorial Authority of the Federal State Statistics Service for the Kemerovo region*. Available at: <https://kemerovostat.gks.ru/ofstatistics> (accessed April 10, 2020). (in Russian).

7. Zaytseva A.I. 2017, *General issues of local history: tourist and recreational potential of the Kemerovo region*. Kemerovo, Kemerovo State University Press, 118 p. (in Russian).

8. *Tourism Development Strategy in the Kemerovo region until 2025*. Available at: [https://ako.ru/upload/medialibrary/14e/Strategija\\_razvitiya\\_turizma\\_v\\_Kemerovskoj\\_oblasti\\_do\\_2025\\_goda.doc](https://ako.ru/upload/medialibrary/14e/Strategija_razvitiya_turizma_v_Kemerovskoj_oblasti_do_2025_goda.doc) (accessed April 10, 2020). (in Russian).

9. Zaytseva A., Brel O., Kaizer Ph. (2018). Russian Experience of Conservation and Renovation of Industrial Regions' Heritage. *J. of Environmental Management and Tourism*, vol. IX, No. 4(28), pp. 766-770. DOI: 10.14505/jemt.v9.4(28).10.

10. Brel O.A., Kajzer Ph.Yu. (2017). Tourist attractiveness as a factor of diversification of the economy of the resource region. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta. Politicheskie, sociologicheskie i ekonomicheskie nauki*, No. 3, pp. 25-28. (in Russian).

---

*Поступила в редакцию / Received*

*26 апреля 2020 г. / April 26, 2020*

---

УДК 332.3, 528.91

DOI 10.18522/1026-2237-2020-3-44-50

## ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ ОЦЕНКА И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ Г. УЛАН-УДЭ

© 2020 г. **Е.Э. Куклина<sup>1</sup>, К.И. Калашников<sup>1</sup>, Н.Д. Балданов<sup>1</sup>, А.Н. Бешенцев<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.П. Филиппова, Улан-Удэ, Россия,<sup>2</sup>Байкальский институт природопользования СО РАН, Улан-Удэ, Россия

## GEOINFORMATION ASSESSMENT AND MAPPING OF DYNAMICS OF THE URBANIZED TERRITORY OF ULAN-UDE CITY

**E.E. Kuklina<sup>1</sup>, K.I. Kalashnikov<sup>1</sup>, N.D. Baldanov<sup>1</sup>, A.N. Beshentsev<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Filippov Buryat State Agricultural Academy, Ulan-Ude, Russia,<sup>2</sup>Baikal Institute of Nature Management, SB RAS, Ulan-Ude, Russia

Куклина Евгения Эрдэмовна – кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая кафедрой кадастра и права, Институт землеустройства, кадастров и мелиорации, Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.П. Филиппова, ул. Пушкина, 8, г. Улан-Удэ, 670024, Россия, e-mail: kadastr@bgsha.ru

Evgenia E. Kuklina - Candidate of Agricultural Sciences, Head of Department of Cadastre and Law, Institute of Land Management, Cadastres and Melioration, Filippov Buryat State Agricultural Academy, Pushkina St., 8, Ulan-Ude, 670024, Russia, e-mail: kadastr@bgsha.ru

Калашников Кирилл Иванович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заместитель директора по научно-исследовательской работе, Институт землеустройства, кадастров и мелиорации, Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.П. Филиппова, ул. Пушкина, 8, г. Улан-Удэ, 670024, Россия, e-mail: izkim@bgsha.ru

Kirill I. Kalashnikov - Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Deputy Director for Research, Institute of Land Management, Cadastres and Melioration, Filippov Buryat State Agricultural Academy, Pushkina St., 8, Ulan-Ude, 670024, Russia, e-mail: izkim@bgsha.ru

Балданов Нимбу Доржижапович – кандидат сельскохозяйственных наук, и.о. заведующего кафедрой мелиорации и охраны земель, Институт землеустройства, кадастров и мелиорации, Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.П. Филиппова, ул. Пушкина, 8, г. Улан-Удэ, 670024, Россия, e-mail: mel\_izkim@bgsha.ru

Nimbu D. Baldanov - Candidate of Agricultural Sciences, Acting Head of Department of Land Reclamation and Protection, Institute of Land Management, Cadastres and Melioration, Filippov Buryat State Agricultural Academy, Pushkina St., 8, Ulan-Ude, 670024, Russia, e-mail: mel\_izkim@bgsha.ru

Бешенцев Андрей Николаевич – доктор географических наук, профессор РАН, заведующий лабораторией геоинформационных систем, Байкальский институт природопользования СО РАН, ул. Сахьяновой, 6, г. Улан-Удэ, 670047, Россия, e-mail: abesh@mail.ru

Andrey N. Beshentsev - Doctor of Geography, Professor, RAS, Head of Laboratory of Geographic Information Systems, Baikal Institute of Nature Management, SB RAS, Sakhyanova St., 6, Ulan-Ude, 670047, Russia, e-mail: abesh@mail.ru

Представлены сведения о методах и технологиях, используемых при оценке динамики урбанизированной территории, дана их краткая характеристика, обозначены преимущества и недостатки. Сформулировано понятие геоинформационного мониторинга урбанизированной территории. Для интеграции разнородных и разноформатных данных и оценки динамики селитебного природопользования на примере г. Улан-Удэ (Республика Бурятия) разработана проблемно ориентированная ГИС мониторинга урбанизированной территории. Представлена функциональная структура ГИС, состоящей из измерительного, аналитического и картографического блоков, дана характеристика каждого блока. Плановой базой ГИС является топографическая основа трех пространственных уровней: регионального (1:200 000) для мониторинга агломераций и больших городов; локального (1:50 000, 1:100 000) для оценки динамики селитебного освоения территории; детального (1:10 000, 1:25 000) для оценки динамики объектов недвижимости и земельных участков. Основой для оценки высот урбанизированной территории является цифровая модель рельефа, позволяющая произвести оценку морфометрических параметров системы селитебного природополь-

зования. Выполнена оценка динамики урбанизированной территории г. Улан-Удэ по шести временным срезам. Определены физико-географические особенности развития урбанизированной территории, составлена карта динамики города за весь период селитебного освоения, представлен прогноз дальнейшего развития урбанизированной территории по фоновой и локальной застройке.

**Ключевые слова:** урбанизированная территория, селитебное природопользование, динамика, мониторинг, геоинформационная технология, ГИС.

*The article presents information about methods and technologies used in assessing the dynamics of urbanized territory, gives a brief description of them, and identifies advantages and disadvantages. The concept of geoinformation monitoring of an urbanized territory is formulated. To integrate heterogeneous and multiformat data and assess the dynamics of residential environmental management, a problem-oriented GIS for monitoring urbanized territories has been developed on the example of Ulan-Ude city (Republic of Buryatia). The functional structure of GIS, consisting of measuring, analytical and cartographic blocks, is presented, and the characteristics of each block are given. The planned basis of GIS is the topographic basis of three spatial levels: regional (1:200 000) for monitoring agglomerations and large cities; local (1:50 000, 1:100 000) to assess the dynamics of residential development of the territory; detailed (1:10 000, 1:25 000) to assess the dynamics of real estate and land plots. A digital terrain model is used as a high-altitude basis for the assessment of urbanized territories, which allows the assessment of morphometric parameters of the residential nature management system. The dynamics of the urbanized territory of Ulan-Ude was estimated using six time sections. The physical and geographical features of the urbanized territory development are determined, the map of the city dynamics for the entire period of residential development is compiled, and the forecast of the further development of the urbanized territory for background and local buildings is presented.*

**Keywords:** urbanized territory, residential nature management, dynamic, monitoring, geoinformation technology, GIS.

## Введение

Современное исследование динамики города предполагает его поэтапное рассмотрение на большой исторической дистанции, выявление внутренней логики самоорганизации в едином пространстве-времени, определение общезначимых и локальных закономерностей территориального развития. Кроме того, процесс урбанизации характеризуется непрерывной динамикой природных ландшафтов, которая является индикатором преобразования человеком географической среды. Мониторинг и картографирование этих изменений имеют большое практическое значение, так как позволяют определить уровень антропогенного воздействия на природные ландшафты, выявить негативные стороны селитебного природопользования, осуществить кадастровую оценку земельных участков и объектов недвижимости, сформулировать рекомендации по оптимизации для органов управления.

В настоящее время исследования развития городов в первую очередь сосредоточены на комплексной экологической оценке динамики городской среды в целом [1–6], городских лесов и парковых территорий [7–9], состояния атмосферного воздуха [10, 11], а также на оценке отдельных компонентов среды. Использование геоинформационной технологии (ГИС-технологии) при оценке урбанизированной территории повышает точность и оперативность исследований, снижает уровень субъективизма, обеспечивает возможность систе-

матизировать значительные объемы пространственных данных. Источником данных для ГИС городов служат технические и технологические инновации, оценка точности и оперативности которых представляет собой важное исследовательское направление. Создание на основе ГИС-технологии надежного методического аппарата, позволяющего хранить большие объемы пространственных данных, анализировать их и получать новую информацию о городских территориях, отвечать на запросы пользователя и оперативно составлять карты, является актуальной задачей.

## Материалы и методы

Под понятием «урбанизированная территория» (УТ) мы понимаем участок суши, занятый поселением городского типа и связанными с ним производственными, транспортными и инженерными сооружениями [12].

Под геоинформационным мониторингом УТ (ГМУТ) мы понимаем процесс реализации программно-управляемой системы периодической информационной регистрации физико-географических параметров УТ, позволяющей в интерактивном режиме оценивать и моделировать долговременную динамику селитебного освоения земной поверхности.

При ГМУТ используется комплекс методов и технологий. **Картографический метод исследования** позволяет оценивать динамику УТ за наиболее длительный период. Карты разных лет издания

Корпуса военных топографов, ГУГиК, Генерально-го штаба СССР и Роскартографии создаются около 300 лет в единых картографических проекциях и системах координат, характеризуются общностью картографируемых объектов, сходством классификаций, методов составления и принципов генерализации, полнотой содержания и достоверностью. Именно по этой причине они могут служить информационной основой для современного ГМУТ и оценки долговременной динамики УТ и городской среды в целом. Внедрение ГИС-технологии позволяет автоматизировать механизм использования разновременных карт для исследований динамики городских структур жизнеобеспечения и антропогенного преобразования земной поверхности.

Для долгосрочного ГМУТ г. Улан-Удэ используются план г. Верхнеудинска масштаба 1:70 000 издания примерно 1800 г.; листы топокарты масштаба 1:84 000 издания 1896–1914 гг.; листы топокарты масштаба 1:50 000 издания 1952 г.; листы топокарты масштаба 1:100 000 издания 1974 г.; листы топокарты масштаба 1:100 000 издания 2015 г. (рис. 1).

**Статистический метод** применяется при оценке временных изменений физико-географических параметров УТ и качественно-количественных характеристик объектов недвижимости и земельных участков. Этот метод предполагает построение динамических рядов развития объектов и математический анализ этих рядов.

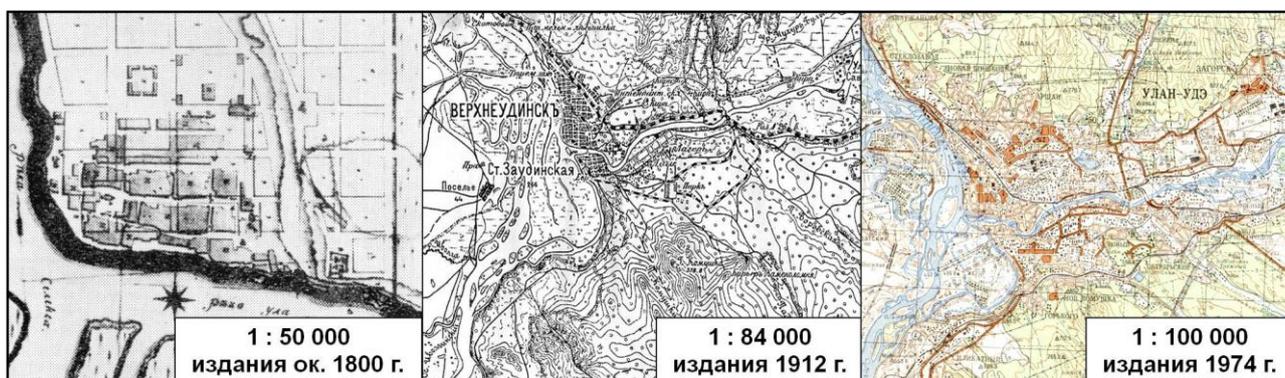


Рис. 1. Разновременные карты г. Улан-Удэ / Fig. 1. Different-time maps of the Ulan-Ude city

**Метод дистанционного зондирования.** Получение разновременных данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ) является начальным этапом исследования динамики УТ, а их дешифри-

рование и анализ результатов дешифрирования – итогом этих исследований. При этом следует отметить, что оценка динамики УТ может быть выполнена лишь за последние 30–40 лет (рис. 2).



Рис. 2. Разновременные ДДЗЗ г. Улан-Удэ / Fig. 2. Different-time remote sensing data of the Ulan-Ude city

**Геодезические методы** обеспечивают пространственное определение УТ и местоположение

объектов недвижимости на земной поверхности. При организации локальных городских структур и

малых городов используются геометрические методы оценки территории, не учитывающие кривизну Земли и базирующиеся на местных системах координат. При оценке региональных агломераций и больших городов используются геодезические методы, позволяющие выполнять оценку значительных территорий земной поверхности на основе геодезической системы координат. Одним из геодезических методов является технология глобального позиционирования, позволяющая оперативную регистрацию границ УТ и объектов недвижимости с помощью треков и полигонов.

**Технология локальной околоземной съемки** с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА) является оперативным и наименее трудозатратным способом регистрации УТ и объектов недвижимости. Ортотрансформированные изображения, получаемые на основании данных БПЛА, являются важным источником информации, позволяющим выявлять объекты недвижимости, производить их метрическую планово-высотную оценку, а также прогнозировать воздействие опасных природных процессов на УТ (рис. 3).

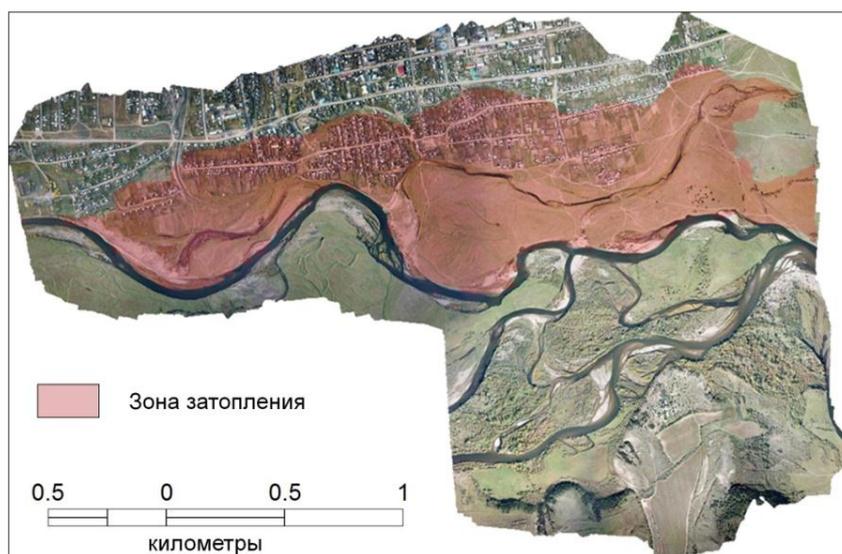


Рис. 3. Ортофотоплан пригорода Улан-Удэ с возможной зоной затопления при наводнении / Fig. 3. Orthophotomap of a suburb of Ulan-Ude city with a possible flood zone during flooding

Эти материалы позволяют уточнить пространственные данные государственных и муниципальных информационных ресурсов и других поставщиков данных. Они могут использоваться в качестве доказательств для разрешения конфликтов между собственниками, а также для выявления объектов налогообложения в части имущественных налогов, нарушений земельного и градостроительного, лесного, водного законодательства и во многих других случаях.

Одной из новейших геодезических технологий в настоящее время является **лазерное сканирование**, позволяющее представить сканируемый объект или участок местности в виде набора точек с известными пространственными координатами. Дальнейшая визуализация результатов измерений может осуществляться в различных формах: двумерные цифровые карты, трехмерные модели, наборы поперечных сечений, статистические массивы и другие, исходя из целей исследования.

**Геоинформационная технология.** Для интеграции больших объемов разнородных разновременных данных о развитии УТ в Институте землеустройства, кадастров и мелиорации БГСХА им. В.Р. Филиппова создана ГИС на базе программного пакета ArcGIS, состоящая из отдельных блоков. Техническую базу *измерительного блока* составляют геохимические и геофизические приборы, предназначенные как для полевой регистрации селитебных объектов и территорий, так и для камеральной обработки геоданных. *Аналитический блок* решает задачи обработки геоданных, анализа и получения новой геоинформации. Он представлен необходимыми техническими и программными средствами, системой запросов, обслуживается квалифицированным персоналом, выполняющим ввод, обработку, анализ и хранение пространственной и атрибутивной информации, и обеспечивает надежное функционирование всех операций исследования селитебного природопользования. *Карто-*

графический блок содержит картографическую базу данных территории, снабжен алгоритмами геоинформационного картографирования и моделирования, позволяет оперативное создание и обновление картографической продукции, обеспечивает возможность автоматизированного картосоставления, а также интерактивную работу пользователя в режиме запроса.

Информационное содержание ГИС составляют разновременные цифровые карты, ДДЗЗ, статистическая, литературная информация, фотографические материалы, разновременные геохимические и геофизические данные. Плановой базой ГИС является топографическая основа трех пространственных уровней: регионального (1:200 000) для мониторинга агломераций и больших городов; локального (1:50 000, 1:100 000) для оценки динамики селитебного освоения территории; детального (1:10 000, 1:25 000) для оценки динамики объектов недвижимости и земельных участков. Основой для оценки высот УТ является цифровая модель рельефа, позволяющая произвести оценку морфометрических параметров системы селитебного природопользования; определение углов наклона и экспозиции склонов; построение трехмерных изображений объектов, профилей поперечного сечения; оценку форм склонов.

В результате автоматизации данных создаются геоинформационные ресурсы для ГМУТ, регистрирующие разновременные физико-географические

параметры УТ в виде совокупности векторных слоев (shp-файлы) и однозначных таблиц-атрибутов (dbf-таблицы). Информационная структура базы данных ресурсов разработана на основе элементов содержания топографических карт.

### Обсуждение результатов

Город Улан-Удэ (Верхнеудинск) начал свое развитие в качестве опорного пункта русских за Байкалом. Удобное географическое положение в короткий срок определило его как важный транзитный и торговый населенный пункт. Первоначально Верхнеудинск представлял собой посад, занимающий подгорную и луговую территорию, непосредственно примыкающую к правобережью р. Уды, и деревянную крепость, расположенную на Батарейной горе. Территория, занимаемая городом, представляет собой разновидность горных западнобайкальских ландшафтов даурского типа.

Развитие города началось с западного склона Батарейной горы. Пионерное заселение происходило в западном направлении вдоль ограничивающего рубежа – правого берега р. Уды до высоты 515 м. К 1750 г. площадь селитебной территории составляла 0,6 км<sup>2</sup>, и она достигла следующего водного рубежа – р. Селенги, ее развитие продолжилось преимущественно в северном направлении между Селенгой и ее старицей. В этот же период (около 1780 г.) началось заселение левого берега р. Уды до высоты 520 м (рис. 4).

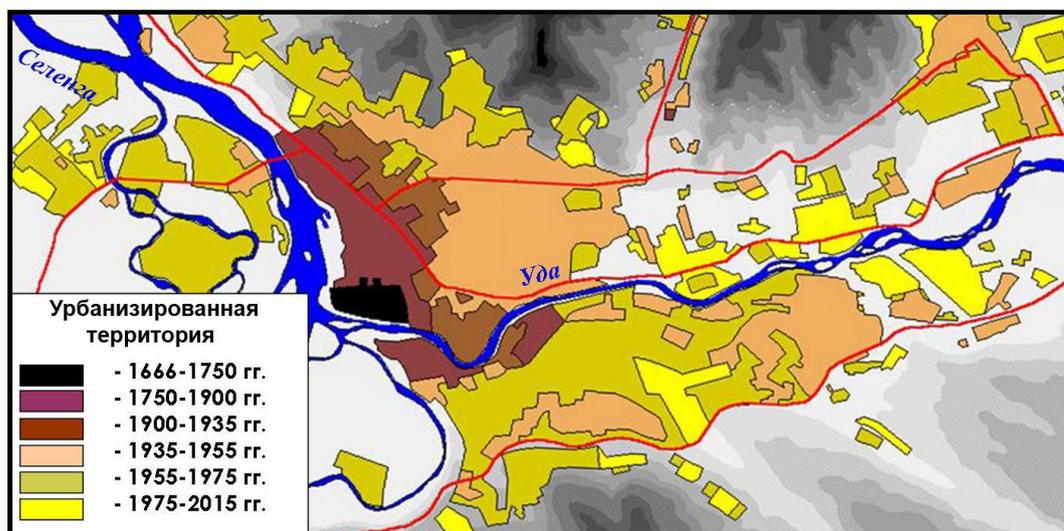


Рис. 4. Карта динамики УТ г. Улан-Удэ / Fig. 4. Map of the dynamics of the urban area of Ulan-Ude city

Начавшееся строительство Транссиба (ок. 1900 г.) обусловило равномерное параллельное заселение вверх по юго-западному склону подножия хребта

Улан-Бургасы до высоты 550 м с минимальной скоростью. К этому времени уже началось освоение долины р. Верх. Березовки. Этот этап характеризу-

ется континуальным центробежным движением селитбы на участках ниже 560 м с преобладанием низкоэтажной неогнестойкой застройки.

Период с 1910 по 1934 г. характеризуется равномерным развитием селитебной территории в северо-восточном направлении до высоты 580 м, а также активным заселением восточного склона Батарейной горы и прилегающего участка с высотой до 520 м при ограничивающем воздействии антропогенного рубежа – Транссиба.

Временной отрезок 1934–1952 гг. характеризуется наибольшим развитием селитебной территории и дорожной сети, строительством промышленных объектов, которые определили новые центры селитбы. Восточная граница города переместилась на 2–3 км, северная поднялась до высоты 640 м. Были заселены оставшаяся территория между р. Удой и Транссибом и юго-восточный склон хребта Улан-Бургасы с наибольшей скоростью

освоения за весь исследуемый период. Этот этап определяется возникновением дискретных центров селитбы, интенсивной застройкой, освоением левого берега р. Селенги, дифференциацией селитебной территории по социально-экономическим функциям.

Современный г. Улан-Удэ представляет собой сложившуюся урбогеосистему площадью 365 км<sup>2</sup> с оформившимися функциональными зонами и районами. Современная территориальная организация города и структура его развития определяют два основных стратегических направления дальнейшей застройки. Это территориальные ресурсы юго-восточного (падь р. Воровка) и юго-западного участков, примыкающих к городу. Также важными и перспективными градостроительными ресурсами являются территория Батарейной горы в центре города и территория воинской части в центре Октябрьского района (рис. 5).

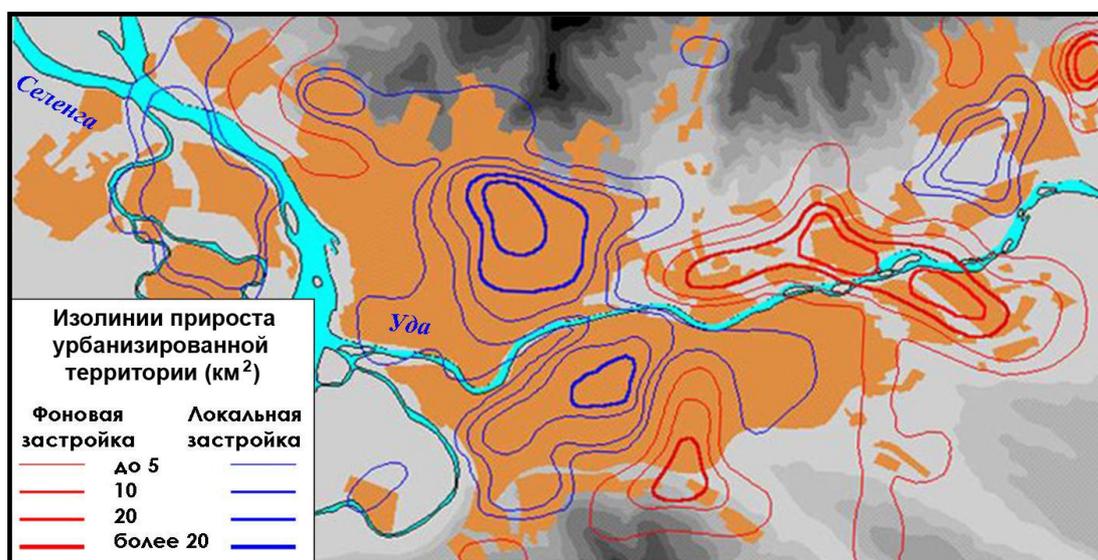


Рис. 5. Прогноз развития УТ г. Улан-Удэ / Fig. 5. Forecast of the development of the urban area of the Ulan-Ude city

### Заклучение

Созданная ГИС мониторинга г. Улан-Удэ представляет собой программно-технический модуль реализации землеустроительных и земельно-кадастровых проектов, способствует снижению трудозатрат и оперативности обновления кадастровой документации, оптимизирует решение традиционных задач при оценке земельно-имущественных отношений. Она обеспечивает высокую точность математической основы карт, возможность интерактивного редактирова-

ния кадастровых материалов на всех этапах составления и подготовки к изданию, а также автоматизированную реализацию всех аспектов пространственной и качественно-количественной оценки УТ и селитебного природопользования в целом. ГИС соответствует всем международным требованиям для аналогичных продуктов, открыта для дополнения любой геоинформацией, методически проста и управляема. Управление системой предполагает возможность создания различных карт и геоинформационных запросов развития селитебных объектов.

## Литература

## References

1. Горохов И.Н. Дистанционный экологический мониторинг урбанизированных территорий // Экологические системы и приборы. 2008. № 2. С. 10–11.

2. Крутских Н.В., Кравченко И.Ю. Использование космоснимков Landsat для геоэкологического мониторинга урбанизированных территорий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15, № 2. С. 159–170.

3. Разяпов А.З. Экологический мониторинг урбанизированных территорий // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2011. № 8. С. 33–54.

4. Маракулина Н.А., Разяпов А.З. О проблемах экологического мониторинга урбанизированных территорий // Экология Центрально-Черноземной области Российской Федерации. 2013. № 1–2 (30–31). С. 143–151.

5. Кобалинский М.В., Симонов К.В. Информационное обеспечение экологического мониторинга урбанизированных территорий // Информация и связь. 2013. № 2. С. 118–121.

6. Савченко А.Б. Мониторинг качества развития высокоурбанизированных территорий // Экология урбанизированных территорий. 2015. № 2. С. 6–10.

7. Рысин Л.П., Савельева Л.И., Рысин С.Л. Мониторинг лесов на урбанизированных территориях // Экология. 2004. № 4. С. 243–248.

8. Николаева О.Н., Трубина Л.К., Муллаярова П.И. Цифровое картографическое обеспечение для управления городскими зелеными насаждениями // Вестн. СГУГиТ. 2019. Т. 24, № 4. С. 132–141.

9. Погорелов А.В., Липилин Д.А. Зеленые насаждения города Краснодара. Оценка и многолетние изменения // Вестн. Пермского национального исследовательского политехнического ун-та. Прикладная экология. Урбанистика. 2017. № 3 (27). С. 192–205.

10. Скобелева Е.А., Абрамов А.В., Пилипенко О.В., Пчеленок О.А., Родичева М.В. Прогнозирование динамики воздушной среды в городской застройке // Строительство и реконструкция. 2019. № 1 (81). С. 106–114.

11. Шумилин А.Д., Вершинин Н.Н., Авдонина Л.А. Мониторинг и прогнозирование влияния автомобильного транспорта на воздушный бассейн города Пенза // Надежность и качество сложных систем. 2016. № 2 (14). С. 97–103.

12. Дедю И.И. Экологический энциклопедический словарь / предисл. В.Д. Федорова. Кишинев: Гл. ред. Молд. сов. энциклопедии, 1990. 406 с.

1. Gorokhov I.N. (2008). Remote environmental monitoring of urban areas. *Ekologicheskiye sistemy i pribory*, No. 2, pp. 10-11. (in Russian).

2. Krutskikh N.V., Kravchenko I.Yu. (2018). The use of Landsat satellite imagery for geoecological monitoring of urbanized territories. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, vol. 15, No. 2, pp. 159-170. (in Russian).

3. Razyapov A.Z. (2011). Ecological monitoring of urban areas. *Problemy okruzhayushchey sredy i prirodnikh resursov*, No. 8, pp. 33-54. (in Russian).

4. Marakulina N.A., Razyapov A.Z. (2013). On the problems of environmental monitoring of urbanized territories. *Ekologiya Tsentral'no-Chernozemnoy oblasti Rossiyskoy Federatsii*, No. 1-2 (30-31), pp. 143-151. (in Russian).

5. Kobalinsky M.V., Simonov K.V. (2013). Information support of environmental monitoring of urban areas. *Informatsiya i svyaz'*, No. 2, pp. 118-121. (in Russian).

6. Savchenko A.B. (2015). Monitoring the quality of development of highly urbanized territories. *Ekologiya urbanizirovannykh territorii*, No. 2, pp. 6-10. (in Russian).

7. Rysin L.P., Savelyeva L.I., Rysin S.L. (2004). Forest monitoring in urban areas. *Ekologiya*, No. 4, pp. 243-248. (in Russian).

8. Nikolaeva O.N., Trubina L.K., Mullayarova P.I. (2019). Digital cartographic support for urban green space management. *Vestnik SGUGiT*, vol. 24, No. 4, pp. 132-141. (in Russian).

9. Pogorelov A.V., Lipilin D.A. (2017). Green spaces of the city of Krasnodar. Assessment and long-term changes. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika*, No. 3 (27), pp. 192-205. (in Russian).

10. Skobeleva E.A., Abramov A.V., Pilipenko O.V., Pchelenok O.A., Rodicheva M.V. (2019). Prediction of the dynamics of the air in urban areas. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*, No. 1 (81), pp. 106-114. (in Russian).

11. Shumilin A.D., Verшинin N.N., Avdonina L.A. (2016). Monitoring and forecasting the impact of road transport on the air basin of the city of Penza. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem*, No. 2 (14), pp. 97-103. (in Russian).

12. Dedyu I. I. (1990). *Ecological Encyclopedic Dictionary*. Kishinev, Gl. red. Mold. sov. entsiklopedii Publ., 406 p. (in Russian).

УДК 553.3/4

DOI 10.18522/1026-237-2020-3-51-59

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОЛОТА И СОПУТСТВУЮЩИХ РУДОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗОЛОТО-МЕДНОКОЛЧЕДАНЫХ РУДАХ КЫЗЫЛБУЛАГСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (МАЛЫЙ КАВКАЗ, АЗЕРБАЙДЖАН)

© 2020 г. М.И. Мансуров<sup>1</sup>, Б.Г. Каландаров<sup>1</sup>, У.И. Керимли<sup>1</sup>, А.И. Гусейнов<sup>1</sup><sup>1</sup>Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан

## DISTRIBUTION OF GOLD AND ASSOCIATED ORE-BEARING ELEMENTS IN GOLD-COPPER-PYRITE ORES OF THE KYZILBULAG DEPOSIT (LESSER CAUCASUS, AZERBAIJAN)

M.I. Mansurov<sup>1</sup>, B.H. Galandarov<sup>1</sup>, U.I. Karimli<sup>1</sup>, A.I. Huseynov<sup>1</sup><sup>1</sup>Baku State University, Baku, Azerbaijan

Мансуров Мамой Ибрагим-оглы – доцент, кафедра полезных ископаемых, геологический факультет, Бакинский государственный университет, ул. З. Халилова, 23, г. Баку, AZ1148, Азербайджан, e-mail: mamoy\_mansurov@mail.ru

Mamoy I. Mansurov - Associate Professor, Department of Minerals Geology, Geological Faculty, Baku State University, Z. Khalilova St., 23, Baku, AZ1148, Azerbaijan, e-mail: mamoy\_mansurov@mail.ru

Каландаров Багадур Гасан-оглы – профессор, кафедра полезных ископаемых, геологический факультет, Бакинский государственный университет, ул. З. Халилова, 23, г. Баку, AZ1148, Азербайджан

Bahadur H. Galandarov - Professor, Department of Minerals Geology, Geological Faculty, Baku State University, Z. Khalilova St., 23, Baku, AZ1148, Azerbaijan

Керимли Улькер Ибрагим-кызы – доцент, кафедра полезных ископаемых, геологический факультет, Бакинский государственный университет, ул. З. Халилова, 23, г. Баку, AZ1148, Азербайджан, e-mail: ulker76@hotmail.com

Ulker I. Karimli - Associate Professor, Department of Minerals Geology, Geological Faculty, Baku State University, Z. Khalilova St., 23, Baku, AZ1148, Azerbaijan, e-mail: ulker76@hotmail.com

Гусейнов Азер Ибат-оглы – аспирант, преподаватель, кафедра полезных ископаемых, геологический факультет, Бакинский государственный университет, ул. З. Халилова, 23, г. Баку, AZ1148, Азербайджан, e-mail: azer\_guseynov79@mail.ru

Azer I. Huseynov - Postgraduate, Department of Minerals Geology, Geological Faculty, Baku State University, Z. Khalilova St., 23, Baku, AZ1148, Azerbaijan, e-mail: azer\_guseynov79@mail.ru

Представлены результаты исследований распределения золота и сопутствующих рудогенных элементов в золото-медноколчеданных рудах Кызылбулагского месторождения. Установлено, что элементный состав руд и вмещающих пород месторождения включает Cu, Pb, Au, Ag, Ni, As, Sb, Bi и Mo, из которых Au, Cu, Ag и Zn наиболее устойчивы. Исследовано поведение элементов также для всего рудного тела, в результате чего они кластерным анализом при R (5 %) – 0,1 разделены на две группы: 1) Au, Cu и Ag; 2) Pb и Zn. Наиболее тесная связь в первой группе обнаружена между Au и Cu, Au и Ag, Ag и Cu, а во второй – между Pb и Zn. Полученные результаты подтверждают, что золото и медь являются главными компонентами руд месторождения, в минеральном парагенезисе представлены халькопирит-самородным золотом, которое проявлено в самостоятельной гидротермальной стадии рудоотложения.

**Ключевые слова:** золото-медноколчеданные руды, рудогенные элементы, рудообразующие минералы, горизонты, распределение золота, рудоотложение, геохимические ореолы, статистическая обработка.

The article presents the results of studies of the distribution of gold and associated ore elements in gold-copper pyrite ores of the Kyzylbulag deposit. It was established that the elemental composition of ores and host rocks of the deposit includes Cu, Pb, Au, Ag, Ni, As, Sb, Bi, and Mo, of which Au, Cu, Ag, and Zn are the more stable. The behavior of elements was also stud-

ied for the entire ore body, as a result of which they are divided by cluster analysis at  $R(5\%) - 0.1$  into two groups: 1) Au, Cu and Ag; 2) Pb and Zn. The closest relationship in the first group was found between Au and Cu, Au and Ag, Ag and Cu; and in the second, between Pb and Zn. Acquired results confirm that gold and the copper are the major components of ore in the field expressed generally in the mineral paragenesis of chalcopyrite - native gold shown in the independent hydrothermal stage of ore deposition.

**Keywords:** gold-copper pyrites, ore elements, ore-forming minerals, horizons, gold distribution, ore deposition, geochemical halos, statistical processing.

## Введение

Мехманинский рудный район расположен в северо-западной части Нагорного Карабаха и является одним из перспективных на медные, свинцово-цинковые, золоторудные, серебряные и молибденовые руды площадей Сомхито-Карабахской зоны.

В геологическом строении рудного района принимают участие средне- и верхнеюрские вулканогенные, ниже- и верхнемеловые осадочные и вулканогенно-осадочные породы. Здесь пространственно сопряжены разнотипные золотосодержащие сульфидные месторождения: в одном случае на медно-порфировое оруденение накладывается более поздняя сульфидная минерализация, в другом – последняя, значительно концентрируясь на некотором удалении, образует промышленные скопления других, в частности, жильных типов руд. Рудоконтролирующими структурами являются узлы пересечения разрывных нарушений северо-западного, северо-восточного и субширотного направлений. Вдоль широтного разлома по течению р. Тертер расположены Кызылбулагское золото-медноколчеданное, Мехманинское полиметаллическое, Гюльятагское и Хазинадагское медноколчеданные, Дамирлинское и Агдаринское медно-порфировые и целый ряд других золотосодержащих месторождений и проявлений.

## Материалы и методы исследований

При проведении работ задокументирован и опробован керн более 80 скважин. При изучении образцов использовались следующие методы: оптическая микроскопия, сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ. Подготовлены пробы и с помощью электронно-микроскопических методов изучен минеральный и химический состав около 130 образцов.

Проведена статистическая обработка результатов более 1000 спектральных, 500 химических, пробирных и атомно-абсорбционных анализов пород и руд, около 50 силикатных, которые были отобраны из наземных и подземных горных выработок и керна разведочных скважин. Статистические параметры распределения содержаний золота и сопутствующи-

щих рудогенных элементов изучались с помощью математической обработки.

**Особенности геологического строения месторождения.** Кызылбулагское рудное поле приурочено к центральной части Дромбонской вулканокупольной структуры – сильноэродированному стратовулкану, в пределах которого сформировались несколько вулканических аппаратов различных размеров, охвативших длительные отрезки геологического времени и расположенных в центральном, переходном к Ходжавендскому прогибу, отрезке Мехмана-Далидагского поперечного поднятия. Само Кызылбулагское месторождение размещено в высокоприподнятом блоке, ограниченном в центре Кочаготским, на севере – Мехманинским, на юге – Арутюногерским и на западе – Тертерским разломами [1] (рис. 1).

Т.Г. Гаджиев и Ю.Р. Ширинов [2] структуру месторождения рассматривают как синвулканическое поднятие биклиналильного типа, осложненное разломом, в прикупольной части и северо-восточном крыле которого среди кислых грубообломочных туфов жерловой фации верхнего байоса локализуется рудная залежь. Лавы андезитов и андезитидцитов бата, перекрывающие рудную залежь, служили экраном для восходящих рудообразующих растворов. Вулканическая постройка характеризуется сложным внутренним строением.

В центральной части ее отмечается небольшая просадка, представляющая кальдеру обрушения и заполненная лавово-пирокластическими породами дацит-риодацитового состава [3], которая с запада и востока ограничена разрывными нарушениями, а с северо-востока – дуговыми разломами, к которым приурочены пластовые субвулканические интрузивные тела кварцевых диоритов и диоритовых порфиринов [4].

Насыщенность блока субвулканическими образованиями свидетельствует о том, что отрезок поперечного поднятия одновременно с воздыманием был также подвержен интенсивной вулканической деятельности (рис. 2).

Важную роль в локализации оруденения сыграл пологопадающий в разные стороны срыв, проходящий по подошве верхнебайосских образований и упирающийся в рудоконтролирующий разлом.

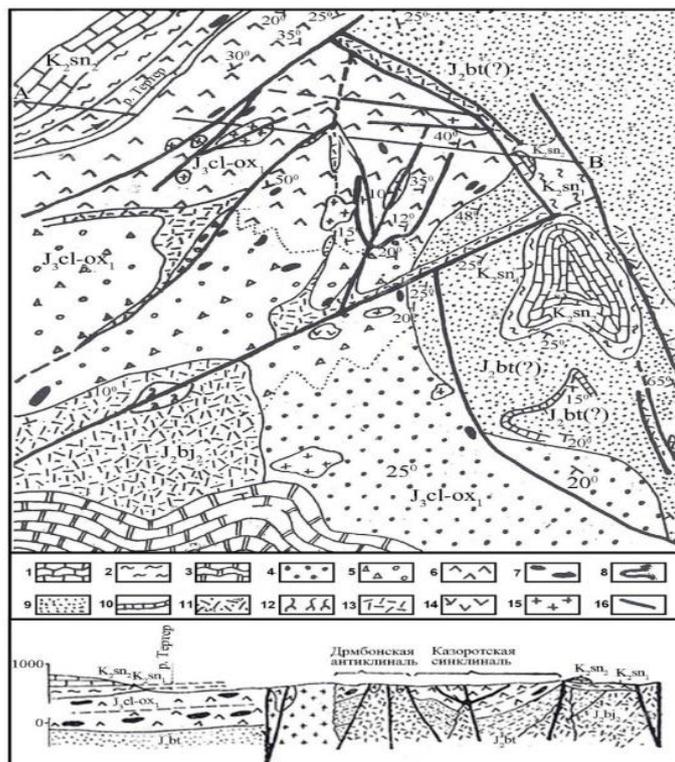


Рис. 1. Схематическая геологическая карта и геологический профиль по линии А – В Кызылбулагского рудного поля: 1 – верхние сенон-детрусивые известняки; 2 – нижние сенон-терригенные породы; 3 – верхние оксфорд-киммеридж-кремнистые известняки, андезит-базальты, пирокластиты; 4–8 – келловей – нижний оксфорд (Кызылбулагская свита); 4 – туфоконгломераты с прослоями и пачками туфопесчаников и туфоалевролитов (краевая фация вулкана); 5 – туфоконгломераты, туфы и реже андезиты и андезидациты (близжерловая фация); 6 – андезиты, андезидациты, пирокластиты (прижерловая фация); 7 – линзы органогенно-обломочных известняков; 8 – туфопесчаники, туфоалевролиты; 9–10 – батский ярус: 9 – туфопесчаники, туфы, туфогравелиты; 10 – каолинизированные туфы и туффиты; 11–12 – верхний байос: 11 – плагиориолит-порфиры, пирокласты; 12 – субвулканические интрузии кварцевых порфиров; 13 – субвулканические интрузивы риолитовых, риодацитовых порфиров (келловей – нижний оксфорд); 14 – андезитовые порфириты (келловей – нижний оксфорд); 15 – диоритовые порфириты (позднеюрские); 16 – разрывные нарушения / Fig. 1. Schematic geological map and geological profile along the line A-B of the Kyzylbulag ore field: 1 - upper Senon-detrusive limestones; 2 - lower Senon-terrigeneous rocks; 3 - upper Oxford-Kimmeridge-siliceous limestones, andesite basalts, pyroclastoliths; 4-8 - Callovian-Lower Oxford (Kyzylbulag formation); 4 - tuff conglomerates with interbeds and packs of tuff sandstones and tuff aleurolites (volcano edge facies); 5 - tuff conglomerates, tuffs and less commonly andesites and andesidacites (near vent facies); 6 - andesites, andesidacites, pyroclastoliths (at vent facies); 7 - organogenic clastic limestone lenses; 8 - tuff sandstones, tuff aleurolites; 9-10 - bathonian age: 9 - tuff sandstones, tuffs, tuff-gravelites; 10 - kolinized tuffs; 11-12 - Upper Bajocian: 11 - plagiioriolite-porphiry, pyroclasts; 12 - subvolcanic intrusions of quartz porphyry; 13 - subvolcanic intrusions of rhyolitic, rhyodacitic porphyry (Callovian-Early Oxford); 14 - andesitic porphyrites (Callovian-Early Oxford); 15 - diorite porphyrites (Late Jurassic); 16 - fault-fracture violations

Неоднократно возобновляющиеся интенсивные тектонические деформации привели к окончательному формированию срыва и возникновению зоны милонитизации мощностью от 0,5 до 5–6 м.

На основании морфоструктурных построений и результатов опробования выделяются три рудных тела, разобнесенных друг от друга пострудными нарушениями. Первое рудное тело, имея крайне сложную морфологию, локализовано в прикупольной части и северо-восточном крыле биклиальной структуры среди кислых лав и туфов жерловой фации позднего байоса, перекрывающихся разновозрастными лавами риодацитов и риолитов. Оно представлено линзовидным телом и не имеет выхода на дневную поверхность. Высокая концентрация

полезных компонентов, как основных (Au, Cu), так и сопутствующих (Ag, Se), преимущественно отмечается в висячем боку рудного тела.

Второе рудное тело, как и первое, не имея выхода на дневную поверхность, расположено в юго-восточной части месторождения и занимает куполообразную структуру. Более богатая часть его аналогично первому сконцентрирована по висячему боку.

Третье рудное тело расположено в юго-западной, более приподнятой части месторождения. На дневной поверхности оно имеет сложную линзовидную форму. Его богатая часть размыта эрозией. В окисленной части рудного тела развиваются малахит, азурит, халькозин, ковеллин. Мощность зоны колеб-

лется от 8 до 15 м. Нижнюю часть зоны окисления составляет зона вторичного сульфидного обогащения. Здесь на первичные пирит-кварц-халькопи-

ритовые руды наложены вторичные сульфиды меди – халькозин, ковеллин, борнит (гипергенный), местами карбонаты меди – малахит и азурит [5].

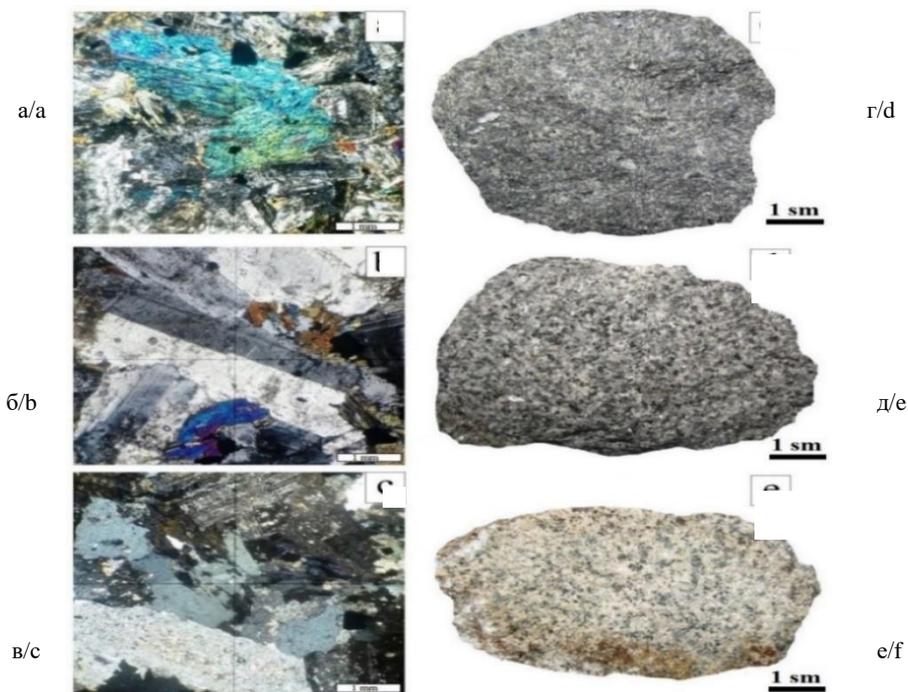


Рис. 2. Породы гранитоидной фазы многофазного Мехманинского интрузивного комплекса. Микроскопические изображения: а – урани- тизированный кварцевый диорит; б – кварцевый диорит; в – гранодиорит. Образцы породы: г – урани- тизированный кварцевый диорит; д – кварцевый диорит; е – гранодиорит / Fig. 2. Rocks of the granitoid phase of the multiphase Mehman intrusive complex. Microscopic images: а - uranitized quartz diorite; б - quartz diorite; в - granodiorite. Rock samples: г - uranitized quartz diorite; д - quartz diorite; е - granodiorite

Главными рудообразующими минералами являются пирит и халькопирит, широко развит марказит; второстепенные – сфалерит, галенит, борнит (гипо- генный), тетраэдрит, пирротин, жильные – кварц и карбонат, иногда барит. Для руд характерны высокие концентрации марказита, относительно большое содержание фтора, форма нахождения которого не выяснена, частая встречаемость [6] селена, теллура, висмута, индия, таллия, галлия, германия, кадмия, рения, молибдена, кобальта, серебра, значительные содержания главных минералов (халькопирит, сфалерит и борнит), определяющих промышленную ценность месторождения, частая встречаемость и высокие содержания самородного золота, присутствие мышьяка в блеклых рудах [7]. Отчетливо проявляются признаки стадийности: 1) кварц-пиритовая с золо- том; 2) кварц-пирит-халькопиритовая, золотоносная с серебром (главная продуктивная); 3) кварц-сфалерит-галенитовая.

### Результаты и их обсуждение

*Распределение золота и сопутствующих рудо- генных элементов в золото-медноколчеданных ру-*

*дах.* Для выявления характера распределения золо- та и основных сопутствующих элементов в рудах и вмещающих породах месторождения, которые необходимы при решении различных генетических вопросов, связанных с процессом рудообразования, рассмотрены их концентрации в рудной залежи на поверхности, на горизонтах штолен № 3 (755 м) и 4 (725 м), во вмещающих породах и мономинералах (в пирите).

Элементный состав руд и вмещающих пород ме- сторождения включает Cu, Pb, Au, Ag, Ni, As, Sb, Bi и Mo, из которых Au, Cu, Ag и Zn наиболее устойчивы. Устойчивыми элементами для первого горизонта (дневная поверхность) являются Au, Ag и Cu, средние содержания которых соответственно составляют 4,32 г/т, 9,52 г/т и 1,73 %. Высокие значения средне- квадратичного отклонения по Ag и Cu свидетель- ствуют о неравномерном их распределении. Золото имеет равномерное распределение. По сравнению с поверхностью на горизонте шт. № 3 его содержание сильно увеличивается (7,68–7,18 г/т), а серебро, наоборот, несколько уменьшается (7,8–7,4 г/т). Увели- чиваются их показатели неравномерности. Содержа- ние меди на этом горизонте 1,86 %. Распределение ее тоже неравномерно.

В таблице и на рис. 3 приводятся статистические параметры распределения, корреляционная связь и кластер-анализ золота и рудогенных элементов на дневной поверхности месторождения.

Au и Ag в рудах образуют высокие концентрации. Руды обогащены Zn, а также Mo, Co и др. Cu тесно коррелируется с золотом (0,801) и серебром (0,830).

Содержания элементов в золото-медноколчеданных рудах Кызылбулагского месторождения [9] /  
Content of elements in gold-copper pyrite ores of the Kyzylbulag deposit [9]

Элемент	Пределы*	Содержание, г/т (Au, Ag), % – остальные					Закон распределения***
		Количество анализов с «ураганным» содержанием	Среднее**	Доверительный интервал**	Дисперсия**	Коэффициент вариации**	
I. В рядовых пробах (количество анализов 88)							
Au	0,05–32,00 (36,00–49,00)	3	4,54 (5,81)	3,0–6,1 (3,8–7,8)	71,2 (116,1)	1,86 (1,85)	–
Ag	0,05–42,00 (70,00)	1	7,19 (7,90)	5,2–9,2 (5,6–10,2)	119,9 (163,3)	1,52 (1,62)	–
Cu·10 <sup>-3</sup>	5,00–1000,0	–	493,94	423,8–574,1	169830,0	0,83	–
Hg·10 <sup>-6</sup>	2,0–18,0 (20,0–800,0)	13	4,59 (36,30)	3,7–5,4 (13,1–59,5)	18,0 (16240,6)	0,93 (3,51)	–
Zn·10 <sup>-2</sup>	0,4–1000,0	–	102,5	50,4–154,6	81660,4	2,79	–
Pb·10 <sup>-3</sup>	0,40–8,00 (15,0–50,0)	10	4,88 (7,70)	3,7–4,4 (5,7–9,8)	3,0 (126,9)	0,42 (1,46)	H
Mo·10 <sup>-4</sup>	2,0–200,0 (300,0)	2	56,8 (61,2)	47,7–61,4 (51,1–72,2)	2058,7 (3848,1)	0,81 (0,91)	–
Co·10 <sup>-3</sup>	1,0–50,0 (60,0)	1	15,86 (16,36)	13,9–17,8	111,9 (132,7)	0,67 (0,7)	–
Mn·10 <sup>-2</sup>	0,1–4,0 (5,5–9,0)	6	1,32 (1,7)	14,3–18,5	1,1 (3,1)	0,8 (1,04)	–
Ti·10 <sup>-3</sup>	4,5–200,0 (250,0–900,0)	12	60,01 (120,57)	1,1–1,5 (1,4–2,0)	2839,3 (32353,5)	0,75 (1,49)	–
V·10 <sup>-3</sup>	3,00–60,00	–	25,24	51,2–68,9 (87,8–153,4)	225,1	0,59	H
Cr·10 <sup>-3</sup>	0,30–4,0 (10,0)	1	2,02 (2,11)	22,5–28,0	0,6 (1,3)	0,38 (0,51)	H
Ni·10 <sup>-2</sup>	0,5–5,0 (8,0–10,0)	4	2,07 (2,11)	1,9–2,2 (1,9–2,3)	1,0 (3,4)	0,49 (0,77)	–
II. В пробах, обогащенных медью (количество анализов 33)							
Au	0,50–49,4	–	14,73	10,50–99,0	188,9	0,93	H
Ag	0,50–42,20 (70,0)	1	15,59 (17,40)	11,2–20,0 (12,2–22,6)	190,8 (202,9)	0,89 (0,97)	H
Hg·10 <sup>-6</sup>	2,0–18,0 (30,0–800,0)	4	6,08 (54,1)	4,5–7,6 (1,0–169,2)	21,6 (31580,0)	0,76 (3,28)	H
Zn·10 <sup>-2</sup>	4,0–1000,0	–	147,5	42,0–253,0	115885,0	2,31	–
Pb·10 <sup>-3</sup>	30,0–50,0	–	13,78	8,6–18,9	275,9	1,21	–
Mo·10 <sup>-4</sup>	10,0–100,0 (150,0–200,0)	2	53,86 (61,0)	45,4–63,3 (49,0–78,0)	539,7 (1505,8)	0,44 (0,64)	H
Co·10 <sup>-3</sup>	8,6–50,0	–	20,55	17,3–23,8	107,7	0,50	H
Mn·10 <sup>-2</sup>	0,2–6,0 (8,0)	1	2,36 (2,54)	1,9–2,9 (2,0–3,1)	2,5 (3,5)	0,67 (0,73)	H
Ti·10 <sup>-3</sup>	4,5–150,0 (200,0–500,0)	2	48,38 (68,48)	36,4–60,3 (39,6–97,4)	1375,8 (8688,0)	0,77 (1,36)	–
V·10 <sup>-3</sup>	7,00–50,0	–	22,43	18,3–26,6	180,4	0,60	H
Cr·10 <sup>-3</sup>	0,8–4,0	–	2,16	1,9–2,4	0,6	0,36	H
Ni·10 <sup>-2</sup>	0,8–3,5 (10,0)	2	1,81 (2,66)	1,6–2,1 (1,7–3,0)	0,6 (4,9)	0,42 (0,93)	H

**Примечание.** \* – в скобках – «ураганные» содержания; \*\* – в скобках – параметры с учетом «ураганных» содержаний; \*\*\* – H – нормальное распределение; прочерк – не установлено.

Высок групповой (Cu, Au, Ag) коэффициент корреляции (0,772), коррелируется с Zn (0,598); относительно слабая корреляция отмечена для (Co, Ni), (Co, V, Ni), (Ti, Cr) и (Co, Mo, Ni, V) с коэффициентами соответственно 0,521, 0,479, 0,478, 0,404 [9]. Исследовано [10] поведение элементов для рудной залежи в целом, кластерным анализом при R (5 %) – 0,1 они разложены на две группы: 1) Au, Cu и Ag; 2) Pb и Zn. Наиболее тесная связь в первой группе обнаружена между Au и Cu, Au и Ag, Ag и Cu, а во второй – между Pb и Zn.

Авторами [10] для выявления характера распределения золота и основных сопутствующих элементов рассмотрены их концентрации в рудной

залежи на поверхности, на горизонтах штолен № 3 (755 м) и 4 (725 м), во вмещающих породах и мономинералах. Устойчивыми элементами для первого горизонта (дневная поверхность) являются Au, Ag и Cu, средние содержания которых соответственно составляют 4,32 г/т, 9,52 г/т и 1,73 %.

Поведение рудогенных элементов в рудах третьего горизонта (шт. № 4) примерно такое же, как и во втором (шт. № 3). Здесь, при R=(5 %) – 0,17 значении, наблюдается [10] отчетливое увеличение степени связи золота с медью и серебром. Существенная положительная связь установлена между серебром и медью, заметная связь между свинцом и цинком отсутствует.

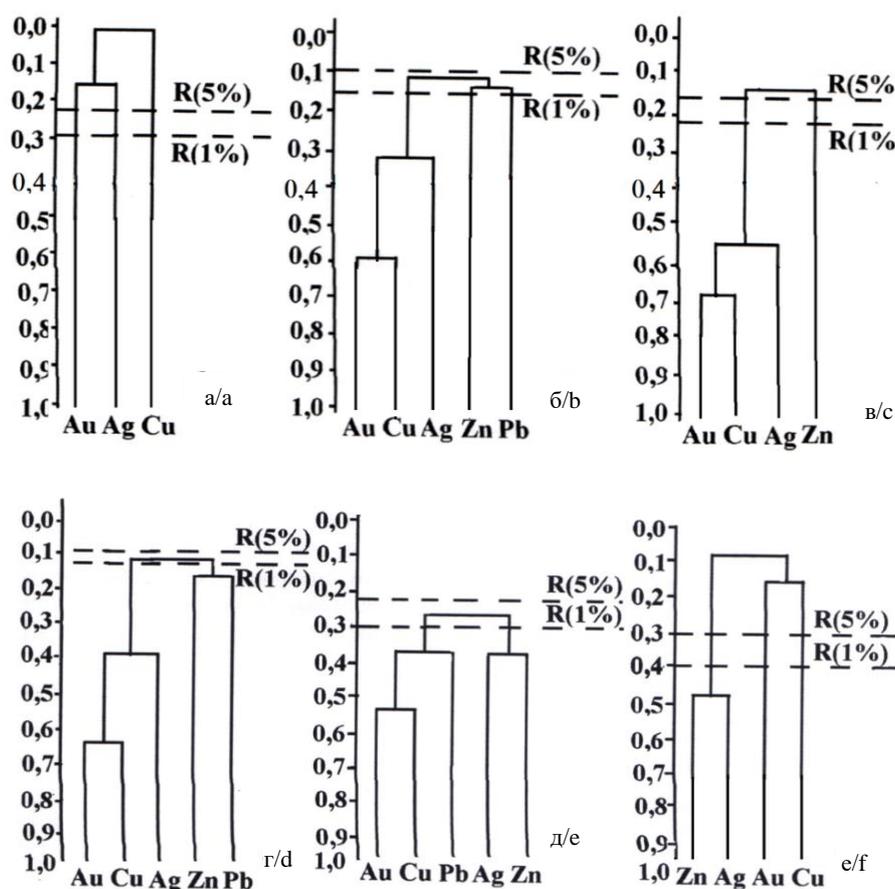


Рис. 3. Дендограммы кластерного анализа рудообразующих элементов Кызылбулагского месторождения: а – поверхности; б – горизонт шт. № 3 (755 м); в – горизонт шт. № 4 (726 м); г – рудное тело; д – кварц-пирит-халькопиритовая руда; е – вмещающая порода / Fig. 3. Dendrogram of cluster analysis of ore-forming elements of the Kyzylbulag deposit: a - surface; b - level of the adi No. 3 (755m); c - level of the adit No. 4 (726m); d - ore body; e - quartz-pyrite-chalcopyrite ore; f - hosting rock

Для выявления благородных элементов (Au, Ag) нижних горизонтов и флангов месторождения использованы данные геохимического опробования. На основании полученных аналитических данных установлены геохимические ореолы золота и серебра по трем горизонтам, конфигурации которых зависят от тектонических особенностей месторождения

и морфологии рудных тел. Геохимические ореолы золота и серебра составлены по результатам химических и спектральных анализов образцов, отобранных вкрест простирания рудной залежи.

Ореолы золота и серебра на горизонте штольни № 4 (725 м) имеют вытянутую морфологию, окаймляющую рудную залежь и примыкающие к

ним вмещающие породы в близширотном направлении. Большая часть исследуемой площади характеризуется низкими содержаниями металлов – от кларковых до 0,1–1,0 г/т. Ореолы с относительно высокими содержаниями золота и серебра (1,0–3,0 и 1,0–5,0 г/т) обрисовывают последние, повторяя их очертания. Изометричные эндогенные ореолы с высокими концентрациями золота (5–24 г/т) на горизонте штольни № 4 (рис. 4) простран-

ственно также совпадают с таковыми серебра (10,0–25,0 г/т), которые по сравнению с первыми более широкопольные (рис. 5). Выявлены они в центральных частях рудной залежи вдоль зон рудоконтролирующих и рудовмещающих разрывов близширотного и СВ простираний. Последние оконтуриваются ореолами низких содержаний Au (3,0–5,0 г/т) и Ag (5,0–10,0 г/т), вытянутыми близ-меридионально на запад и восток.

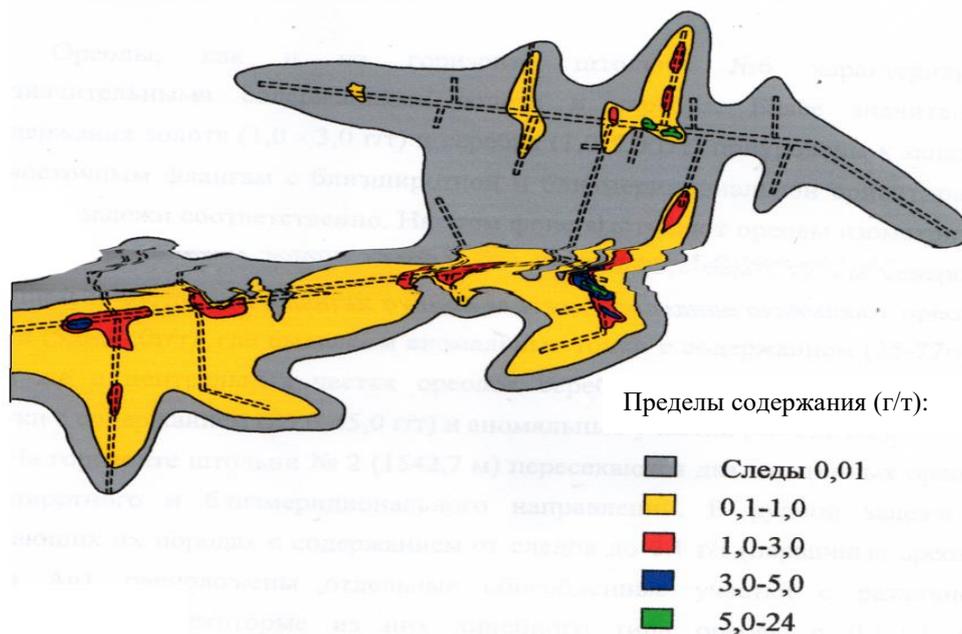


Рис. 4. Ореолы распределения Au по горизонту штольни № 4 / Fig. 4. Au halos distribution at the horizon of the adit No. 4

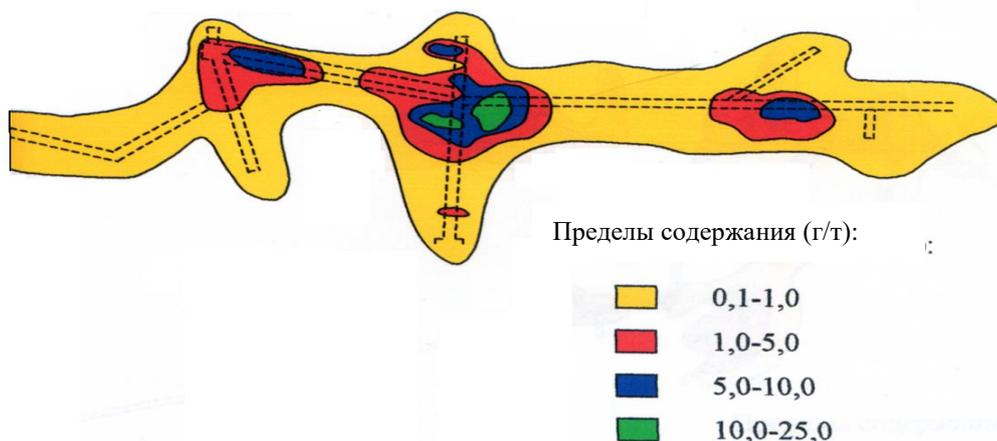


Рис. 5. Ореолы распределения Ag по горизонту штольни № 4 / Fig. 5. Ag halos distribution at the horizon of the adit No. 4

Руды горизонта шт. № 3 и 4 характеризуются более высокими содержаниями сопутствующих рудных компонентов. Микроскопическими исследованиями, проведенными по мономинеральным фракциям пирита и халькопирита, установлено, что

в них присутствует тонкодисперсное золото. Это вообще характерно для тех типов золоторудных месторождений, где постоянно присутствует ранняя генерация самородного золота, которая представлена тонкодисперсными частицами, рассеян-

ными в пирите, халькопирите, борните и арсенопирите [11]. В целом, для золота, находящегося в этих минералах в онкодисперсном состоянии, главным минералом-концентратором и минералом – носителем руд месторождения является халькопирит. Возможность вхождения золота в химически связанном состоянии в сульфиды меди, в том числе в халькопирит и особенно в борнит, экспериментально доказана А.Г. Мироновым и др. [12].

### Заключение

Анализ результатов статистической обработки материалов о распределении золота и сопутствующих элементов в различных горизонтах Кызылбулагского месторождения и сопоставление их с данными, изложенными В.М. Баба-заде и др. [13], подтверждает, что золото и медь являются главными компонентами руд месторождения, представленными в минеральном парагенезисе халькопирит-самородным золотом, которое проявлено в самостоятельной гидротермальной стадии рудоотложения. Свинец и цинк, проявленные в минеральном парагенезисе галенит-сфалеритом, также являются продуктами самостоятельной стадии, наложенной на золото-халькопиритовую.

Рассматривая распределение золота и основных сопутствующих рудогенных элементов в рудах различных горизонтов месторождения, можно прийти к выводу, что наиболее высокие концентрации этого металла, а также серебра и меди отмечаются в рудах горизонта шт. № 3, в массивных медноколчеданных рудах, которые рассеяны многочисленными кварц-пирит-халькопиритовыми прожилками. Эти и другие вышеперечисленные факты еще раз подтверждают, что распределение золота на Кызылбулагском месторождении тесно связано с медной минерализацией.

### Литература

1. Баба-заде В.М., Кекелия С.А., Абдуллаева Ш.Ф., Кекелия М.А. Золотосодержащие сульфидные месторождения островодужных палеосистем, их металлогенические особенности и условия геодинамического развития (на примере Альпид Малого Кавказа). Баку: CBS-PP, 2015. 309 с.
2. Гаджиев Т.Г., Ширинов Ю.Р. Условия локализации колчеданного оруденения в палеовулканической структуре в зоне сопряжения Карабахского и Агдамского антиклинорий // Тез. V Всесоюзного вулканологического совещания. Тбилиси, 1980. С. 58–59.

3. Абдуллаев Р.Н., Мустафаев Г.В., Мустафаев М.А., Алиев И.А. Мезозойские магматические формации Малого Кавказа и связанное с ними эндогенное оруденение. Баку: Элм, 1988. 254 с.

4. Геология Азербайджана. Магматизм. Баку: Nafta-Press, 2003. Т. III. 524 с.

5. Мансуров М.И., Каландаров Б.Г., Тахмазова Т.Г., Мамедов З.И., Гусейнов А.И. Геолого-генетические особенности Гызылбулагской рудно-магматической системы Агдамского горст-поднятия (Малый Кавказ, Азербайджан) // Изв. Сибирского отделения наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2014. № 1 (44). С. 13–23.

6. Гаврилюк П.С., Магриби А.А., Русинов В.Л., Носик Л.П. Условия формирования Кызылбулагского золотоносного медноколчеданного месторождения (Малый Кавказ) // Геология рудных месторождений. 1991. № 1. С. 56–59.

7. Викентьев И.В., Молошаг В.П., Юдовская М.А. Формы нахождения и условия концентрирования благородных металлов в колчеданных рудах Урала // Геология рудных месторождений. 2006. Т. 48, № 2. С. 91–125.

8. Сулейманов Э.С. Золоторудные формации Малого Кавказа. Баку: Элм, 1982. 280 с.

9. Мамедов З.И. Геолого-структурные особенности формирования и закономерности размещения медно-золотых руд Гызылбулагского месторождения: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Баку, 2005. 24 с.

10. Baba-zade V.M., Mammadov Z.I., Khasayev A.I., Galandarov B.H., Mansurov M.I., Tahmazova T.H., Abdullayeva Sh.F. Distribution of the ore elements in ores of the Gyzybluqaq // The Caspian Sea. Natural resources. 2008. № 2. P. 22–29.

11. Петровская Н.В. Самородное золото. М.: Недра, 1973. 347 с.

12. Миронов А.Г., Гелетий В.Ф., Нестеров И.Н. Экспериментальное изучение микропримесей золота в сульфидах и магнетитах (с использованием радиоизотопов) // Геохимия. 1985. № 3. С. 703–715.

13. Баба-заде В.М., Мусаев Ш. Д., Насибов Т.Н., Рамазанов В.Г. Золото Азербайджана. Баку: Аз. Милли Энциклопедиясы, 2003. 424 с.

### References

1. Baba-zade V.M., Kekelia S.A., Abdullaeva Sh.F., Kekelia M.A. (2015). *Gold-bearing sulfide deposits of island-arc paleosystems, their metallogenic features and conditions of geodynamic development (for example, Alpids of the Lesser Caucasus)*. Baku, CBS-PP Publ., 309 p. (in Russian).
2. Gadzhiev T.G., Shirinov Yu.R. (1980). Localization conditions for pyrite mineralization in a paleovolcanic structure in the conjugation zone of the Karabakh and

Agdam anticlinoria. *Thesis of the V All-Union Volcanological Conference*. Tbilisi, pp. 58-59. (in Russian).

3. Abdullaev R.N., Mustafaev G.V., Mustafaev M.A., Aliyev I.A. (1988). *Mesozoic igneous formations of the Lesser Caucasus and associated endogenous mineralization*. Baku, Elm Publ., 254 p. (in Russian).

4. *Geology of Azerbaijan. Magmatism*. (2003). Baku, Nafta-Press, vol. 3, 524 p. (in Russian).

5. Mansurov M.I., Kalandarov B.G., Takhmazova T.G., Mamedov Z.I., Huseynov A.I. (2014). Geological and genetic features of the Gizilbulag ore-magmatic system of the Agdam horst-uplift (Lesser Caucasus, Azerbaijan). *Izv. Sibirskogo otdeleniya nauk o Zemle RAEN. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenii*, No. 1 (44), pp. 13-23. (in Russian).

6. Gavriilyuk P.S., Magribi A.A., Rusinov V.L., Nosik L.P. (1991). Formation conditions of the Kyzylbulag gold-bearing copper pyrite deposit (Lesser Caucasus). *Geologiya rudnykh mestorozhdenii*, No. 1, pp. 56-59. (in Russian).

7. Vikentiev I.V., Moloshag V.P., Yudovskaya M.A. (2006). Forms and conditions for the concentration of precious

metals in the pyrite ores of the Urals. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii*, vol. 48, No. 2, pp. 91-125. (in Russian).

8. Suleymanov E.S. (1982). *Gold ore formations of the Lesser Caucasus*. Baku, Elm Publ., 280 p. (in Russian).

9. Mammadov Z.I. (2005). *Geological and structural features of the formation and patterns of the distribution of copper-gold ores of the Gizilbulag deposit*. Baku, 24 p. (in Russian).

10. Baba-zade V.M., Mammadov Z.I., Khasayev A.I., Galandarov B.H., Mansurov M.I., Tahmazova T.H., Abdullayeva Sh.F. (2008). Distribution of the ore elements in ores of the Gyzybulag. *The Caspian Sea. Natural Resurces*. No. 2, pp. 22-29.

11. Petrovskaya N.V. (1973). *Native gold*. Moscow, Nedra Publ., 347 p. (in Russian).

12. Mironov A.G., Geletiy V.F., Nesterov I.N. (1985). An experimental study of gold microimpurities in sulfides and magnetites (using radio isotopes). *Geokhimiya*, vol. 3, pp. 703-715. (in Russian).

13. Baba-zade V.M., Musayev Sh. D., Nasibov T.N., Ramazanov V.G. (2003). *Gold of Azerbaijan*. Baku, Az. Milli Ensiklopediasy Publ., 424 p. (in Russian).

УДК 551.553

DOI 10.18522/1026-2237-2020-3-60-68

## О ВОПРОСАХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО ВЕТРА (МАРЗ СЮНИК, АРМЕНИЯ)

© 2020 г. В.Г. Маргарян<sup>1</sup><sup>1</sup>Ереванский государственный университет, Ереван, Армения

## ON THE REGULARITIES OF THE SPATIO-TEMPORAL DISTRIBUTION OF CLIMATIC CHARACTERISTICS OF THE MAXIMUM WIND (SYUNIK MARZ, ARMENIA)

V.G. Margaryan<sup>1</sup><sup>1</sup>Yerevan State University, Yerevan, Armenia

Маргарян Вардуи Гургеновна – кандидат географических наук, доцент, кафедра физической географии и гидрометеорологии, географический и геологический факультет, Ереванский государственный университет, ул. Алека Манукяна, 1, г. Ереван, 0025, Армения, e-mail: vmargaryan@ysu.am

Vardui G. Margaryan - Candidate of Geography, Associate Professor, Department of Physical Geography and Hydro-meteorology, Geographical and Geological Faculty, Yerevan State University, Aleka Manukyana St., 1, Yerevan, 0025, Armenia, e-mail: vmargaryan@ysu.am

Представлены закономерности распределения пространственных основных климатических характеристик максимальной скорости ветра, а также их временной изменчивости на территории марза Республики Армения. В исследованиях использованы ежедневные данные Центра гидрометеорологии и мониторинга ГНКО Министерства окружающей среды Республики Армения за период 50 лет и более (1966–2018 гг.) на 6 метеорологических станциях. Показано, что средние многолетние скорости основных характеристик максимального ветра возрастают на территории с высотой местности, достигая максимальных значений на территории с высотой более 2000–2200 м. Отклонение от этих закономерностей наблюдается в Горисе, что обусловлено местными особенностями. Для расчета и прогнозирования максимальной среднегодовой скорости ветра неизученных территорий получены корреляционные зависимости между значениями максимальной среднегодовой скорости ветра и годовыми значениями максимальной скорости ветра, а также между годовыми значениями максимальной скорости ветра и числом дней с сильным ветром. Установлено, что в целом по территории Сюникского марза неотчетливо выражен годовой ход распределения максимальной скорости ветра. Сравнительно явно выражается годовой ход числа дней с сильным ветром. Наибольшие значения числа дней с сильными ветрами наблюдаются в холодный период года.

Для всей изучаемой территории наблюдается уменьшение годовой максимальной скорости ветра за период 1966–2018 гг.

**Ключевые слова:** Армения, Сюникский марз, внутригодовое и пространственное распределение, временная изменчивость, максимальная скорость ветра, число дней с сильными ветрами, линейный тренд, статистические характеристики.

The regularities the features of the distribution spatial basic characteristics of the maximum wind speed, as well as the temporal variability of the maximum wind speed in the territory of the Syunik marz of the Republic of Armenia. Data from the Hydrometeorology and Monitoring Center, SNCO of the Ministry of Environment of the Republic of Armenia for a period of 50 years or more (1966-2018) at 6 meteorological stations were used. It is shown that the average long-term speeds of the main characteristics of extreme wind increase in the territory with the height of the terrain, reaching maximum values in the territory with a height of more than 2000-2200 m. Deviation from these patterns is observed in Goris, due to local characteristics. To calculate and predict the maximum average annual wind speed of unexplored territories, correlation annual values of the maximum wind speed, as well as between the annual values of the maximum wind speed and the number of days with a

*strongwind. It was found that in general throughout the territory of the Syunik marz the annual course of the distribution of the maximum wind speed is not clearly expressed. The highest numbers of days with strong winds are observed in the cold season. For the entire study area there is a decrease in the annual maximum wind speed for the period 1966-2018.*

**Keywords:** Armenia, Syunik marz, intra-annual and spatial distribution, temporal variability, maximum wind speed, number of days with strong winds, linear trend, statistical characteristics.

## Введение

Ветер, являющийся одной из важнейших универсальных характеристик состояния атмосферы, представляет собой горизонтальное движение воздуха относительно земной поверхности под действием силы барического градиента. Особенности поля ветра у поверхности земли формируются взаимодействием циркуляционных механизмов с местными физико-географическими и климатическими условиями района исследования [1]. Значительную ценность представляют данные о максимальной скорости ветра. Для решения многих прикладных задач необходимы сведения об основных характеристиках максимальных скоростей ветра. От сильного ветра разрушаются постройки, повреждаются линии электропередачи, выдуваются верхний плодородный слой почвы, посевы, связанные с ним метели в зимний период времени и повышенная опасность пожаров в жаркие ление месяцы создают затруднения в разных отраслях экономики, представляют угрозу жизни и здоровью граждан. Кроме этого негативно воздействия, хорошо известна и его положительная роль: ветер очищает атмосферу города от пыли, промышленных загрязнений. Поэтому знание характеристик максимальной скорости ветра имеет колоссальное значение и для жизни человека, и почти всех видов их деятельности, особенно при строительстве высотных зданий, телевышек, проектировании новых производственных комплексов и населенных пунктов, строительства различных инженерных сооружений, также для обеспечения безопасности. В связи с этим изучение основных характеристик максимальной скорости ветра является актуальной задачей.

Выбор ветра как одного из основных метеорологических параметров в качестве объекта изучения был оправдан тем, что в Республике Армения во многих научных работах за последние десятилетия не было детального статистического анализа изменения его параметров с выходом на решение прикладных задач. Большой вклад в изучение режима скорости ветра внесли А.Б. Багдасарян [2], А.Г. Нерсисян [3] и др. В этих работах использовались данные до 1960 г. М.В. Епремян проанализировал и оценил влияние ветра на осуществление

и безопасность полетов военной авиации в районах аэропортов Эребуни и Арзни [4, 5]. Г.О. Суриян и А.В. Хоецян в своей работе [6] обсудили аэросиноптические условия и возможности прогнозирования возникновения горно-долинных ветров в Ереване. Данные о скорости ветра в Армении приведены в ряде климатических пособий [1, 7]. В справочнике [7] освещается ветровой режим территории Армении за период с 1936 по 1963 г. В работе [1] средние многолетние характеристики ветра были уточнены с использованием данных за период с 1936 по 2010 г. По объему материала и степени анализа гидрометеорологических условий эти работы являются основными режимно-климатическими пособиями для Сюникского марза.

Сюникский марз расположен в юго-восточной части Республики Армения. В соответствии с занимаемой площадью (4506 км<sup>2</sup>) марз занимает второе место в Армении: на его долю приходится 15 % всей территории республики. Это самый гористый марз Армении, имеющий самую большую разницу в высоте поверхности (3500 м). Большую часть территории марза составляют скалы, горные хребты и ущелья.

Цель данного исследования состоит в анализе и оценке закономерности территориального распределения основных характеристик максимальных скоростей ветра, определении их статистических характеристик, уточнении распределения внутригодового хода, тенденции межгодовых изменений максимальной скорости ветра на территории Сюникского марза Армении.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- дать климатологическую характеристику режима максимальной скорости приземного ветра над юго-восточным регионом Армении;
- выявить и оценить закономерности пространственной изменчивости режима основных характеристик максимальной скорости ветра;
- проанализировать особенности внутригодового распределения режима основных характеристик максимальной скорости ветра;
- выявить межгодовую изменчивость максимальной скорости ветра за период с середины XX в. по второе десятилетие XXI в.;

– рассчитать и выявить пространственно-временное распределение статистических характеристик.

### Материалы и методы исследования

Проанализированы и обработаны соответствующие научные источники [8, 9].

В качестве исходного материала для расчета характеристик ветра использованы данные за период 1966–2018 гг. метеорологических наблюдений семи метеостанций Службы по гидрометеорологии и активному воздействию на атмосферные явления МЧС Республики Армения, содержащие сведения о скорости ветра. В настоящее время действуют всего 5 метеорологических станций (табл. 1), фактические данные которых и использованы для проведения исследований в этой работе. Также использованы данные горной труднодоступной метеорологической станции Воротанский перевал (2387 м), расположенной в соседнем марзе Вайоц Дзор, над ветвью западной части Зангезурского хребта.

Таблица 1

#### Список метеостанций / List of meteorological stations

Метеостанция	Высота, м	Срок наблюдений
Воротанский перевал	2387	1961–2018
Сисиан	1580	1913–1917; 1930–2018
Горис	1398	1913; 1915–1917; 1924–2018
Капан	704	1933–2018 (1938; 1999)
Каджаран	1980	1974–2018 (1976)
Мегри	627	1930–2018

**Примечание.** В скобках указана дата перевода, с которой была нарушена однородность ряда.

Анализ качества исходных материалов и проверка однородности рядов осуществлены с помощью параметра Стьюдента. Неоднородность чаще всего возникает из-за переноса флюгера, смены датчиков измерений, застройки вблизи станции жилыми или промышленными объектами, вырубки деревьев, близости крупных насаждений деревьев, а также из-за смены наблюдателей, положения самой станции. Поэтому в качестве периода наблюдений рассмотрены 1966–2018 гг., с момента установления анемо-

румбометров на станциях. По Н.И. Швень, получена эмпирическая зависимость скорости ветра от защищенности станции, характеризуемой углом закрытости горизонта [10]. Н.И. Швень выяснила, что увеличение закрытости от 1 до 8–9 градусов приводит к уменьшению средней годовой скорости ветра на 1–2 м/с. Дальнейшее увеличение защищенности меньше сказывается на уменьшении скорости ветра. Автором также установлено, что основной причиной нарушения однородности является увеличение защищенности станций (41 % случаев), и только в 27 % случаев причина – смена типа прибора.

В работе применялись физико-статистические методы анализа временных рядов характеристик ветра, географическое обобщение метеорологических величин, GLIWARE. Статистическая обработка данных проводилась с помощью пакетов STATISTICA и Excel.

### Результаты и обсуждение

Из всех климатических параметров ветер отличается наибольшей изменчивостью в пространственно-временном распределении. Основной характеристикой ветра, определяющей его интенсивность, а также оценку влияния на экономическую деятельность, эффективность использования, является его средняя скорость за определенный период времени.

В табл. 2 представлены многолетние среднемесячные и годовые значения максимальной и средней максимальной скорости ветра, среднее число дней с сильным ветром за период 1966–2018 гг., согласно фактическим наблюдениям действующих в настоящее время 5 метеорологических станций в марзе Сюник и расположенной в соседнем марзе Вайоц Дзор метеостанции Воротанский перевал.

Многолетние годовые значения максимальной скорости ветра за период 1966–2018 гг. на исследуемой территории колеблются от 20 (Капан) до 40 м/с (Воротанский перевал). Из 6 метеорологических станций наибольшие значения скорости ветра наблюдаются на метеостанциях Воротанский перевал (40 м/с) и Горис (34 м/с), а на остальных метеостанциях – наименьшие значения. Так, на метеостанции Капан многолетние годовые максимальные значения скорости ветра составляют 20 м/с, на метеостанции Сисиан – 21, на метеостанции Каджаран – 23, на метеостанции Мегри – 24 м/с. Это обусловлено местоположением метеостанций и закрытостью местности, а также повторяемостью ветров в данном направлении.

Таблица 2

**Максимальная и средняя максимальная скорости ветра, м/с, среднее число дней с сильным ветром в марзе Сюник /  
Maximum and average maximum wind speeds, m/s, average number of days with strong winds in the Syunik marz**

Метеостанция	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Максимальная скорость ветра, м/с													
Воротанский перевал	28	34	40	25	24	28	21	20	19	23	24	24	40
Сисиан	14	14	20	13	17	16	14	14	15	17	21	12	21
Горис	24	34	34	34	16	16	21	9	18	34	24	34	34
Капан	16	16	18	18	20	20	12	9	9	11	15	13	20
Каджаран	20	17	19	18	12	9	9	9	9	15	23	19	23
Мегри	10	12	24	12	10	10	10	9	10	17	10	16	24
Максимальная средняя скорость ветра, м/сек													
Воротанский перевал	6,4	6,7	7,2	7,5	7,5	8,2	9,2	9,0	7,7	7,0	6,3	6,4	7,5
Сисиан	3,6	3,7	4,4	4,5	4,7	5,1	6,0	6,3	5,4	4,2	3,6	3,3	4,6
Горис	3,0	2,7	2,7	2,6	2,3	2,1	2,1	2,0	2,0	2,3	2,5	3,1	2,5
Капан	2,8	3,3	3,6	3,8	3,5	3,3	3,2	3,3	3,1	3,1	2,9	2,7	3,2
Каджаран	2,9	2,9	3,1	3,2	3,2	3,2	3,3	3,1	3,0	2,8	2,5	2,8	3,0
Мегри	2,8	3,2	3,3	3,3	3,1	3,3	3,5	3,5	3,2	2,8	2,7	3,0	3,2
Число дней с сильным ветром													
Воротанский перевал	1,00	1,10	1,77	1,13	1,38	1,24	1,58	0,78	0,31	0,46	0,88	0,88	12,2
Сисиан	0,00	0,00	0,04	0,00	0,04	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02	0,06	0,00	0,20
Горис	0,70	0,46	0,41	0,26	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02	0,15	0,19	0,81	3,04
Капан	0,05	0,04	0,02	0,04	0,09	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,30
Каджаран	0,28	0,05	0,09	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,07	0,14	0,77
Мегри	0,02	0,01	0,05	0,02	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,05	0,23

Из 6 метеорологических станций наибольшие значения максимальной средней скорости ветра (7,5 м/с) за период 1966–2018 гг. наблюдаются на метеостанции Воротанский перевал. На остальных метеостанциях максимальные средние скорости ветра колеблются в пределах от 2,5 (Горис) до 4,6 м/с (Сисиан). Наибольшие значения многолетнего среднегодового числа дней с сильным ветром (12,2 дня) за период 1966–2018 гг. наблюдаются также на метеостанции Воротанский перевал.

Относительно высокое значение (3,04 дня) зарегистрировано на метеостанции Горис. На остальных метеостанциях последнее имеет меньшие значения – от 0,20 (Сисиан) до 0,77 дня (Каджаран).

Согласно многолетним средним данным по максимальной скорости ветра, на исследуемой территории годовой ход выражается не совсем ясно. Средние месячные скорости ветра по рассматриваемым станциям Сюника представлены на рис. 1. Этот рисунок позволяет оценить амплитуды пространственных и сезонных изменений средней скорости ветра исследуемой территории.

Годовой ход распределения максимальной скорости ветра отличается неоднозначными закономерностями. Он сравнительно четко выражается на метеорологических станциях Капан, Горис и Каджаран. В Капане в июне наблюдается максимальное, а в августе-сентябре – минимальное значение. В Горисе минимум наблюдается в августе, максимум – в октябре-апреле. Годовой ход скорости ветра на метеостанциях Воротанский перевал, Сисиан и Мегри не явен. На Воротанском перевале наблюдается рост максимальной скорости ветра с января по март, а затем понижение. Годовой ход числа дней с сильным ветром выражается сравнительно отчетливо. Как правило, на обсуждаемой территории (кроме метеорологической станции Воротанский перевал) наибольшие значения числа дней с сильными ветрами наблюдаются в холодный период года. Последнее связано с тем, что в зимний период из-за снежного покрова уменьшается шероховатость, а в летний период хорошо развитая флора оказывает сопротивление воздушному потоку.

Сильные ветры в основном возникают во время холодных фронтов, при прохождении циклонов, а также при горно-долинной циркуляции. В большинстве районов Армении в течение года наибольшее число дней с сильным ветром бывает в холодные месяцы. В летние месяцы много дней с сильным ветром бывает там, где наблюдается горно-долинная циркуляция [3]. В течение года большое колебание максимальных ветров бывает на метеорологических станциях Горис (25 м/с) и Во-

ротанский перевал (21 м/с), а минимальные колебания – на метеорологических станциях Сисиан (9 м/с) и Капан (11 м/с) (рис. 1а). Колебания числа дней с сильным ветром намного меньше (рис. 1б). Так, сравнительно большие колебания числа дней с сильным ветром бывают на метеостанции Воротанский перевал (1,5 дня), а на всех остальных метеорологических станциях (Сисиан, Горис, Капан, Каджаран, Мегри) наблюдаются небольшие годовые колебания (от 0,1 до 0,8).

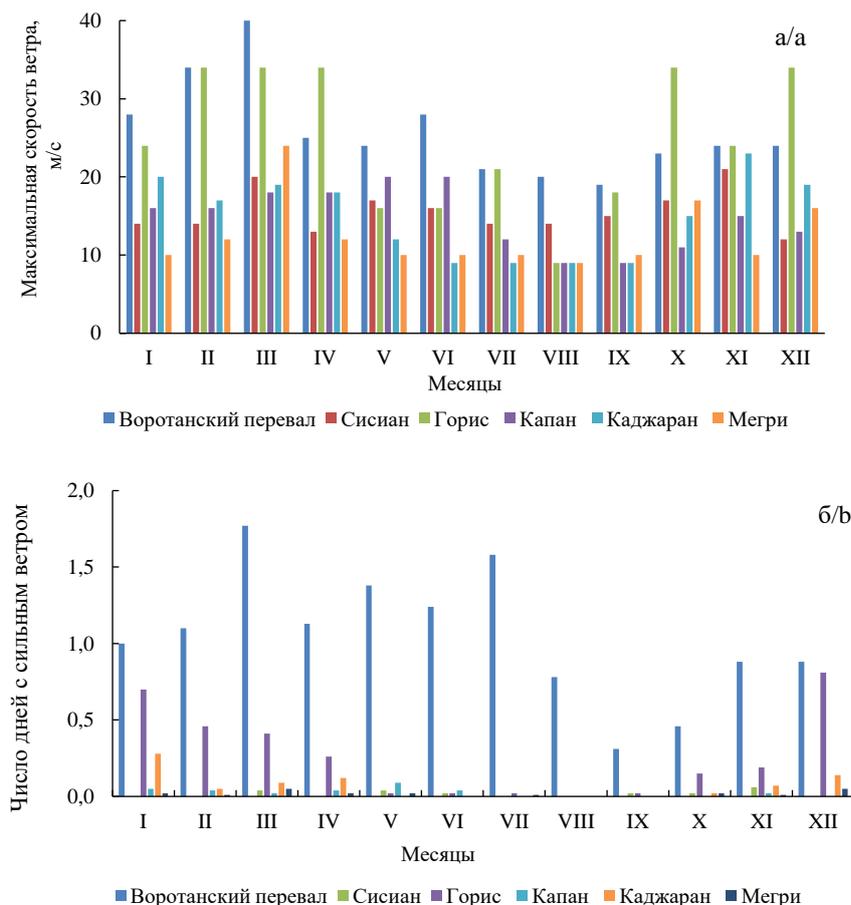


Рис. 1. Годовой ход распределения максимальной скорости ветра, м/с (а), и число дней с сильными ветрами (б) /  
 Fig. 1. The annual distribution of the maximum wind speed, m/s (a), and the number of days with strong winds (b)

Как правило, с высотой растет скорость ветра. В отличие от корреляционной связи между средними годовыми значениями скорости ветра и высотой местности исследуемой территории, не получена тесная корреляционная связь между годовыми средними значениями максимальной скорости ветра и высотой местности. При этом были установлены тесные связи между значениями максимальной среднегодовой скорости ветра и годовыми значениями максимальной скорости ветра (рис. 2а), а также между годовыми значениями максимальной скорости ветра и числом дней с сильным ветром (рис. 2б). Эту связь можно использовать для изучения режима максимальной

скорости ветра и числа дней с сильным ветром неизученных и малоизученных территорий Сюникского марза, а также их прогнозирования.

В работе проанализирована и оценена также динамика изменения максимальной скорости ветра для каждой из действующих в настоящее время метеорологических станций за период с 1966 по 2018 г. Для характеристики временной изменчивости скорости ветра рассчитывался ряд параметров. Рассмотрим их пространственно-временное распределение.

Величина среднего квадратического отклонения  $\sigma$  характеризует межгодовую изменчивость скоро-

стей ветра. Большим значениям скорости ветра соответствуют и повышенные значения среднего квадратического отклонения. Как видно из табл. 3, среднее квадратическое отклонение составляет от 3,03 (Сисиан) до 4,74 (Воротанский перевал) – 9,23

(Горис), что указывает на значительное рассеяние и асимметрию распределения максимальной скорости ветра. Естественно, в Сюнике отмечается большая межгодовая изменчивость максимальной скорости ветра.

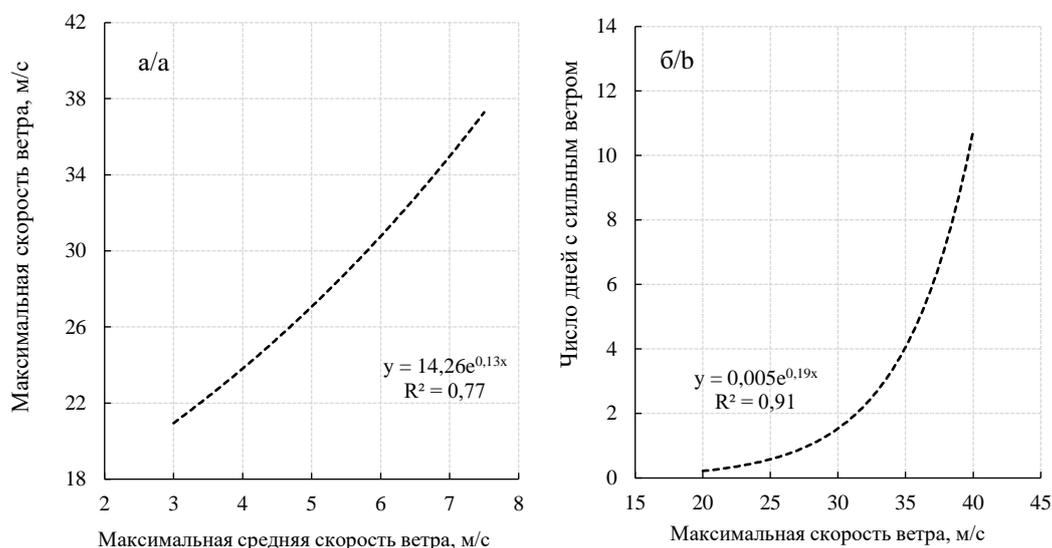


Рис. 2. Корреляционная связь между значениями максимальной среднегодовой скорости ветра и годовыми значениями максимальной скорости ветра (а) и между годовыми значениями максимальной скорости ветра и числом дней с сильным ветром (б) / Fig. 2. Correlation between the values of the maximum average annual wind speed and the annual values of the maximum wind speed (a) and between the annual values of the maximum wind speed and the number of days with a strong wind (b)

Таблица 3

Уравнения линейных трендов и статистических характеристик максимальной скорости ветра / Equations of linear trends and statistical characteristics for maximum wind speed

Метеостанция	Уравнение линейного тренда	Коэффициент корреляции $R^2$	Статистическая характеристика				
			Скорость изменения скорости ветра, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}/10$ лет	Изменение скорости ветра $\Delta V$ , м/с	Среднеквадратическое отклонение $\sigma$	Коэффициент вариации $C_v$	Коэффициент асимметрии
Воротанский перевал	$V = -0,07T + 24,0$	0,06	- 0,7	- 3,2	4,74	0,21	1,62
Сисиан	$V = -0,04T + 12,5$	0,04	- 0,4	- 2,0	3,03	0,27	1,17
Горис	$V = -0,47T + 26,5$	0,57	- 4,7	- 21,6	9,23	0,65	1,20
Капан	$V = -0,09T + 14,1$	0,16	- 0,9	- 3,9	3,79	0,32	0,58
Каджаран	$V = -0,06T + 15,7$	0,05	- 0,6	- 2,6	3,49	0,24	-0,02
Мегри	$V = -0,09T + 11,0$	0,19	- 0,9	- 4,8	3,10	0,36	2,57

Примечание.  $V$  – максимальная годовая скорость ветра;  $T$  – годы.

Для удобства производства ветроэнергетических расчетов и оценки характеристик относительной устойчивости ветрового режима по территории рассчитывалась величина коэффициента вариации  $C_v$  для каждой из станций. Коэффициент вариации находится в пределах от 0,21 (Воротанский перевал) до 0,65 (Горис). Как отмечаю Ю.П. Переведенцев и Т.Р. Аухадеев [11], неоднородное поле величины коэффициента вариации показывает, что при небольших значениях скорости ветра возникает заметная неустойчивость ветрового режима (с увеличением скорости устойчивость растет величина коэффициента вариации уменьшается).

В целях оценки соответствия распределения скоростей ветра нормальному закону для всех станций рассчитывалась асимметрия  $A$ . Оказалось, что согласно правилам статистики, величина  $A$  меняется в пределах от  $-0,02$  до  $2,57$ . При этом  $A$  чаще имеет положительный знак, чем отрицательный.

Для выявления тенденции изменения скорости ветра во времени для каждой станции рассчитывались коэффициенты наклона линейного тренда,  $m \cdot c^{-1}/10$  лет. Как показывают данные табл. 3, для всей изучаемой территории годовой тренд максимальной скорости ветра в целом отрицательный, что свидетельствует о повсеместном ослаблении скорости ветра. За период 1966–2018 гг. скорость годового снижения максимальной скорости ветра составляет от  $-0,7$  до  $-4,7 m \cdot c^{-1}/10$  лет. При этом наиболее существенное уменьшение скорости наблюдается на метеостанции Горис. За период 1966–2018 гг. снижение скорости максимального ветра колеблется в пределах от 2,0 (Сисиан) до 21,6 м/с (Горис). Основными причинами уменьшения максимальной скорости ветра могут быть современная эволюция климата (долгосрочное повышение средней температуры), а также увеличение защищенности ветроизмерительных приборов на метеостанциях. На всей исследуемой территории метеостанции (кроме Воротанского перевала) находятся в урбанизированной зоне, постепенно происходит процесс застройки и озеленения, что, в свою очередь, приводит к уменьшению показателей измеряемых характеристик скорости ветра. Так как изменения скорости ветра являются и местным проявлением изменения процессов глобальной циркуляции, необходимо использовать его как индикатор изменения климата.

Наблюдается также факт временной тенденции ослабления среднемесячных и среднегодовых значений скоростей ветра у поверхности земли в разных точках земного шара. Аналогичная тенденция отмечена в некоторых районах европейской части России [11, 13], на побережье Охотского моря [12],

на территории Украины [8, 14, 15], на территории Молдовы [16].

## Выводы и рекомендации

В результате исследований пришли к следующим выводам:

1. Из-за пересеченности местности и сложной орографии изучаемая территория отличается разнообразными закономерностями годового хода основных характеристик экстремальной максимальной скорости ветра.

2. Многолетние годовые значения максимальной скорости ветра за период 1966–2018 гг. на исследуемой территории колеблются от 20 до 40 м/с, максимальной средней скорости ветра – от 2,5 до 7,5 м/с, число дней с сильным ветром – от 0,2 до 12,2.

3. С высотой местности возрастают средние многолетние скорости основных характеристик экстремального ветра, достигая максимальных значений на территории с высотой более 2000–2200 м.

4. Полученные корреляционные зависимости между значениями максимальной среднегодовой скорости ветра и годовыми значениями максимальной скорости ветра, а также между годовыми значениями максимальной скорости ветра и числом дней с сильным ветром можно использовать для изучения и прогнозирования неизученных и малоизученных территорий Сюникского марза.

5. Среднее квадратическое отклонение годовой максимальной скорости ветра находится в пределах от 3,03 до 9,23, коэффициент вариации – от 0,21 до 0,65, а коэффициент асимметрии – от  $-0,02$  до  $2,57$ .

6. Тренд-анализ выявил временную тенденцию ослабления максимальной скорости ветра на всей территории юго-востока Армении со скоростью в широтном диапазоне значений в зависимости от местоположения станции и месяца от  $-0,7$  до  $-4,7 m \cdot c^{-1}/10$  лет.

Полученные результаты по тенденции изменений максимальной скорости ветра и их статистических характеристик, внутригодовой изменчивости основных характеристик скорости экстремального ветра за данный период являются частью климатологической информации для объектов хозяйственной деятельности на территории юго-востока Армении. Они могут быть использованы при прогнозировании динамики региональных изменений климата, при разработке прогнозов скорости ветра, при решении прикладных задач в отраслях народно-

го хозяйства: в строительстве, сельском хозяйстве, энергетике, при разработке горнодобывающей промышленности на данных территориях.

### Литература

1. Климатический справочник. Ч. III : Атмосферное давление и Ветер. Ереван, 2013. 160 с. (На арм. яз.).
2. Багдасарян А.Б. Климат Армянской ССР. Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1958. 146 с.
3. Нерсисян А.Г. Климат Армении. Ереван, 1964. С. 304. (На арм. яз.).
4. Епремян М.В. Оценка авиационных метеорологических условий и прогноз низкой облачности на аэродроме Эребуни: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Ереван, 2014. 28 с. (На арм. яз.).
5. Епремян М.В., Мелконян Г.А. Оценка влияния ветра на осуществление и безопасность полетов военной авиации в районе аэродрома Арзни // Ученые записки ЕГУ. Геология и география. 2015. № 1. С. 55–60. (На арм. яз.).
6. Суренян Г.О., Хоецян А.В. Аэросиноптические условия и возможности прогнозирования возникновения горно-долинных ветров в Ереване // Прикладные вопросы географии и геологии горных областей альпийско-гималайского пояса. Ереван, 2007. С. 374–379. (На арм. яз.).
7. Справочник по климату СССР. Вып. 16, ч. III : Ветер. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 168 с.
8. Ивус Г.П., Агайар Э.В. Физико-статистический анализ и прогноз слабого ветра и инверсий температуры над территорией Северо-Западного Причерноморья. Одесса: ТЭС, 2018. 202 с.
9. Носкова Е.В., Обызов В.А. Ветровой режим Забайкальского края // Ученые записки ЗабГУ. 2015. № 1 (60). С. 115–121.
10. Швень Н.И. Особенности режима ветра на территории Украины и их связь с глобальными изменениями атмосферной циркуляции и другими факторами: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 2006. 19 с.
11. Переведенцев Ю.П., Аухадеев Т.Р. Особенности ветрового режима в Приволжском федеральном округе в последние десятилетия // Вестн. Удмуртского ун-та. Биология. Науки о Земле. 2014. Вып. 2. С. 112–121.
12. Мезенцева Л.И., Федулов А.С. Современные изменения режимных характеристик ветра на станциях Охотоморского побережья // Изв. ТИНРО. 2017. Т. 190. С. 159–166. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-190-159-166.
13. Крашенинникова С.Б., Крашенинникова М.А. Оценка изменчивости скорости ветра в Причерноморском регионе России на основе выбранных моделей

проекта СМIP5 // Вестн. Московского ун-та. Серия 5: География. 2019. № 6. С. 60–66.

14. Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н. Режим ветра над побережьем и шельфом северо-восточной части Черного моря // УкрНИГМИ. 2008. Вып. 257. С. 84–105.

15. Зубкович С.А. Взаимосвязь стихийных гидрометеорологических явлений и ветровых аномалий над Восточной Украиной: дис. ... канд. геогр. наук. Одесса, 2015. С. 200.

16. Млявая Г.В. Пространственно-временная характеристика ветрового режима на территории Республики Молдовы: дис. ... д-ра геон. наук. Кишинев, 2016. С. 143.

### References

1. *Climate guide*. (2013). Part 3. Atmospheric pressure and wind. Yerevan, 160 p. (in Armenian).
2. Baghdasaryan A.B. (1958). *Climate of the Armenian SSR*. Yerevan, Armenian SSR Academy of Sciences Press, 146 p. (in Russian).
3. Nersesyan A.G. (1964). *Climate of Armenia*. Yerevan, 304 p. (in Armenian).
4. Yepremyan M.V. (2014). *Assessment of aviation meteorological conditions and the forecast of low cloud cover in the Erebuini airdrome*. Dissertation Thesis. Yerevan, 28 p. (in Armenian).
5. Yepremyan M.V., Melkonyan H.A. (2015). Assessment influence of wind on realization and safety of military aviation flights in Arzni airdrome region. *Uchenye zapiski EGU. Geologiya i Geografiya*, No. 1, pp. 55-60. (in Armenian).
6. Surenyan G.O., Khoetsyan A.V. (2007). Aerosynoptic conditions and the possibility of forecasting the occurrence of mountain-valley winds in Yerevan. *Applied issues of geography and geology of mountain regions of the Alpine-Himalayan belt*. Yerevan, pp. 374-379. (in Armenian).
7. *USSR climate guide*. (1967). Issue 16, part 3. Wind. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 168 p. (in Russian).
8. Ivus G.P., Agayar E.V. (2018). *Physical and statistical analysis and forecast of weak wind and temperature inversions over the territory of the North-Western Black Sea region*. Odessa, TES Publ., 202 p. (in Russian).
9. Noskova E.V., Obyazov V.A. (2015). Wind Mode of Transbaikal territory. *Uchenye zapiski ZabGU*, No. 1 (60), pp. 115-121. (in Russian).
10. Shven N.I. (2006). *Features of the wind regime in Ukraine and their relationship with global changes in atmospheric circulation and other factors*. Dissertation Thesis. Saint Petersburg, 19 p. (in Russian).

11. Perevedentsev Yu.P., Aukhadeev T.R. (2014). Features of the wind regime in the Volga Federal district in the last decade. *Vestn. Udmurtskogo un-ta. Biologiya. Nauki o Zemle*, iss. 2, pp. 112-121. (in Russian).
12. Mezentseva L.I., Fedulov A.S. (2017). Recent changes of the wind regime characteristics at stations of the Okhotsk Sea coast. *Izvestiya TINRO*, vol. 190, pp. 159-166. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-190-159-166. (in Russian).
13. Krasheninnikova S.B., Krasheninnikova M.A. (2019). Estimation of wind speed variability in the Black Sea region of Russia basing on selected models of the CMIP5 Project. *Bulletin of Moscow University. Series 5. Geography*, No. 6, pp. 60-66. (in Russian).
14. Repetin L.N., Belokopytov V.N. (2008). Wind regime over the coast and the shelf of the north-eastern part of the Black Sea. *UkrNIGMI*, iss. 257, pp. 84-105. (in Russian).
15. Zubkovich S.A. (2015). *Interconnection of natural hydrometeorological phenomena and wind anomalies over Eastern Ukraine*. Dissertation Thesis. Odessa, p. 200. (in Russian).
16. Mlyavaya G.V. (2016). *Spatio-temporal characteristics of the wind regime in the territory of the Republic of Moldova*. Dissertation Thesis. Chisinau, 143 p. (in Russian).

---

*Поступила в редакцию / Received*

*7 мая 2020 г. / May 7, 2020*

---

УДК 504.45 (98)

DOI 10.18522/1026-2237-2020-3-69-78

## ОЦЕНКА УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА В РЕЧНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ\*

© 2020 г. **О.С. Решетняк**<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Гидрохимический институт Росгидромета, Ростов-на-Дону, Россия,<sup>2</sup>Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

## ASSESSMENT OF THE LEVEL OF ENVIRONMENTAL RISK IN RIVER ECOSYSTEMS OF THE ARCTIC ZONE OF RUSSIA\*

**O.S. Reshetnyak**<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Hydrochemical Institute, Roshidromet, Rostov-on-Don, Russia,<sup>2</sup>Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Решетняк Ольга Сергеевна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник, доцент, Гидрохимический институт, пр. Стачки, 198, г. Ростов-на-Дону, 344090; доцент, кафедра геоэкологии и прикладной геохимии, Институт наук о Земле, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: olgare1@mail.ru

Olga S. Reshetnyak - Candidate of Geography, Senior Researcher, Associate Professor, Hydrochemical Institute, Roshidromet, Stachki Ave, 198, Rostov-on-Don, 344090, Russia; Associate Professor, Geoecology and Applied Geochemistry Department, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: olgare1@mail.ru

Представлены методические подходы и результаты оценки уровня экологического риска в речных экосистемах арктического региона России. Оценка уровня экологического риска в экосистеме подразумевает выявление возможных негативных последствий антропогенного воздействия, которые проявляются в нарушении структурной организации биоценозов.

В современных условиях антропогенного воздействия и климатических вариаций в арктических экосистемах рек наблюдается усиление процесса экологического регресса отдельных сообществ водных организмов.

Выявлена тенденция повышения уровня экологического регресса по мере усиления антропогенного воздействия при переходе от менее загрязненных участков арктических рек к более загрязненным и даже грязным. Уровень регресса меняется от отсутствия (антропогенное напряжение) до его проявления в форме элементов экологического регресса. Результаты итоговой оценки уровня экологического риска в экосистемах арктического региона России по уровню экологического регресса показали, что исследуемые участки рек характеризуются низким и средним уровнем риска. Дальнейшее усиление антропогенного воздействия на водосборах арктических рек может привести к нарушению экологического состояния водных экосистем и усилению процессов экологического регресса, что может повысить уровень риска в целом.

**Ключевые слова:** арктический регион, речные экосистемы, экологический риск, оценка риска, экологический регресс, антропогенное воздействие.

The methodological approaches and the results of assessing the environmental risk level in river ecosystems of the Arctic region of Russia was presented. Assessing of the environmental risk level in ecosystem includes identifying possible negative consequences of anthropogenic impact, which are appeared in a violation of the structural organization of biocenoses.

An intensification of the ecological devolution of individual communities of aquatic organisms is observed in modern conditions of anthropogenic impact and climatic variations in the Arctic ecosystems of rivers.

The tendency to increase the ecological devolution level as the anthropogenic impact intensifies during the transition from less polluted Arctic rivers to more polluted ones (dirty) has been revealed. The ecological devolution level varies from absence (anthropogenic stress) to its appearance in the form of elements of ecological devolution. The results of the final assessment of the environmental risk level in the ecosystems of the Arctic region of Russia according to the ecological devolution

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60165.

level showed that the studied sections of the rivers are characterized by a low and medium level of risk. Further enhancement of anthropogenic impact on the catchments of Arctic rivers can lead to disruption of the ecological state of aquatic ecosystems and intensification of ecological devolutions processes which may increase the level of environmental risk.

**Keywords:** Arctic region, river ecosystems, environmental risk, risk assessment, ecological devolution, anthropogenic impact.

## Введение

Сообщества водных организмов речных экосистем арктической зоны России функционируют в экстремальных природно-климатических условиях, таких как суровый климат, низкие температуры, короткий теплый период, длительный период реки покрыты льдом и, соответственно, короткий вегетационный период, высокий уровень ультрафиолетовой радиации, низкое содержание биогенных элементов. В таких условиях для экосистем характерны низкая продуктивность и упрощенная видовая структура биоценозов, что формирует короткие пищевые цепи с доминированием одного или нескольких видов или групп гидробионтов [1]. Арктические экосистемы, с одной стороны, ограничены сравнительно узким ареалом и за длительный период адаптировались к специфическим экстремальным условиям, а с другой – являются наиболее чувствительными и уязвимыми экосистемами, влияние климатических вариаций на которые является неоднозначным. Именно поэтому необходимы регулярные наблюдения за состоянием биоценозов речных экосистем арктического региона России с целью своевременного выявления экологического риска в современных условиях антропогенного воздействия и изменения климата.

Многолетние и сезонные вариации (флуктуации) в жизненных циклах биоты могут нарушаться или ускоряться в условиях наблюдаемых климатических изменений (потепление климата): при повышении температуры окружающей среды, возрастании количества осадков и доли зимнего стока (особенно для арктических рек), усилении темпов таяния вечной мерзлоты (которое будет сопровождаться увеличением минерализации воды и содержания биогенных элементов) и др. Такая трансформация окружающей среды в условиях внешнего воздействия формирует экологический риск, который является детерминированным производным от характера природных процессов и явлений [2, 3]. Поэтому оценка экологического риска является одной из наиболее важных задач в области охраны окружающей среды. Оценка риска представляет собой выявление одного или нескольких стрессовых для экосистемы факторов и определение вероятности их опасного воздействия на совокупность живых организмов, включая и человека [4, 5]. До сих пор не разработана единая комплексная система оценки

экологического риска воздействия на экосистемы, чаще всего рассматривают отдельные компоненты водных объектов: водную среду, донные отложения, биоразнообразие или другие показатели экосистемы [4]. В настоящем исследовании под оценкой уровня риска антропогенного воздействия на речные экосистемы подразумевается процесс выявления и оценки возможных негативных последствий в результате возникновения нарушений структурной организации экосистем и представление этих нарушений в количественных критериях [6, 7].

## Материалы и методы исследования

Исследование проведено на основе многолетних данных (1984–2017 гг.) о состоянии экосистем устьевых участков рек арктического побережья России. Регулярными гидробиологическими наблюдениями сети Росгидромета охвачены не все арктические реки, поэтому в исследование включены данные по 12 участкам 8 рек (Кола, Териберка, Патсо-Йоки, Лотта, Вирма, Печенга, Ура и Колос-Йоки) европейской части арктической зоны и по 5 участкам 4 рек (Лена, Колыма, Кенгдей и Копчик-Юргэ) сибирской части.

Для оценки уровня экологического риска в экосистемах арктических рек выполнен анализ данных о качественных и количественных показателях развития планктонных (бактерио- и фитопланктон) и бентосных сообществ по следующим гидробиологическим показателям: общая численность, число видов, доминирующие виды и их относительная численность в сообществе.

Исследуемые речные экосистемы характеризуются различной степенью загрязненности водной среды, которая определяется не только антропогенным воздействием, но и региональными особенностями арктического региона. В суровых условиях арктического климата реки, с одной стороны, имеют низкую самоочищающую способность, с другой – низкое содержание отдельных химических веществ (макрокомпоненты, биогенные вещества). В большинстве случаев повышенная степень загрязненности воды рек будет обусловлена концентрациями металлов, намного выше природного фона, и влиянием различных предприятий и хозяйственно-бытовых сточных вод городов и населенных пунктов.

Результаты комплексной оценки степени загрязненности воды рек арктического региона [8–10] позволяют исследуемые речные экосистемы классифицировать:

– как слабо загрязненные или загрязненные (2–3-й класс качества воды (ККВ)) – это участки рек Лотта (устье), Кола (выше пгт Выходной), Териберка (60-й км. Серебрянской автодороги), Ура (п. Ура-Губа), Кенгдей (гидропост) и Копчик-Юрэгэ (пос. Полярка);

– загрязненные или очень загрязненные (3-й ККВ) – это участки рек Печенга (ст. Печенга), Колос-Йоки (выше пгт Никель), Кола (г. Кола, выше устья), Лена (с. Кюсюр и п.ст. Хабарова);

– очень загрязненные или грязные (3–4-й ККВ) – это участки рек Печенга (п. Корзуново), Вирма (с. Ловозеро), Колыма (п. ст. Колымское);

– грязные или очень грязные (4-й ККВ) – это один участок р. Колос-Йоки (пгт Никель, устье).

Такая дифференциация речных участков выполнена с целью проведения сопряженного анализа данных о степени загрязненности водной среды рек и показателей развития сообществ водных организмов, что позволит в дальнейшем выделить возможные экологические последствия все возрастающего антропогенного воздействия и оценить уровень экологического риска.

Оценку экологического риска антропогенного воздействия на речные экосистемы арктических рек будем рассматривать как возможность определения вероятных изменений экосистемы под влиянием антропогенных или иных факторов воздействия. Необходимо определить достаточно надежные признаки, характеризующие возможную изменчивость в развитии гидробиоценоза при ухуд-

шении качества водной среды, за пределами которого система утрачивает устойчивость к воздействию [11].

Как известно, планктонным и бентосным сообществам водных организмов принадлежит ведущая роль в индикации природных экологических модификаций состояния водных экосистем, антропогенное воздействие на которые вызывает усиление внутрисистемных процессов (антропогенное эвтрофирование или экологический регресс) [6, 12, 13].

Трансформация структурной организации гидробиоценоза является следствием усиления процессов антропогенного эвтрофирования (при высоком содержании в водной среде биогенных элементов и органических веществ) и экологического регресса отдельных сообществ водных организмов (при накоплении в водной толще загрязняющих веществ и нарушении кислородного режима). Поэтому крайне важно знать направленность преобладающего в экосистеме внутриводоемного процесса.

Для оценки уровней антропогенного эвтрофирования или экологического регресса необходимо в первую очередь оценить эффект антропогенного воздействия на водную экосистему. Для этого, согласно рекомендациям Р 52.24.776, проводят статистическую обработку многолетней гидробиологической информации о состоянии планктонных сообществ и определяют статистические характеристики значений общей численности фитопланктона, такие как относительная плотность вариационного ряда  $P_0$  и мода  $M_0$  модального интервала. Критерии, по которым выявляют эффект антропогенного воздействия, приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Классификация эффектов антропогенного воздействия на водные экосистемы [7, 12] /  
Classification of effects of anthropogenic impact on aquatic ecosystems [7, 12]**

Эффект антропогенного воздействия	Статистические характеристики вариации общей численности фитопланктона	
	$M_0$ , тыс.кл./см <sup>3</sup>	$P_0$ , %
Экологический регресс	До 0,5	100–300
Элементы экологического регресса	0,5–1,5	50–100
Антропогенное напряжение с элементами экологического регресса	1,5–2,0	20–60
Антропогенное напряжение с элементами эвтрофирования	2,0–10,0	50–100
Антропогенное эвтрофирование	Свыше 10,0	До 30

Согласно методическим подходам, представленным в рекомендациях Гидрохимического института [6, 7], для оценки уровня экологического риска воздействия на экосистемы необходимо

оценить уровень преобладающего процесса – экологического регресса [12] или антропогенного эвтрофирования [13]. Для арктических рек процессы антропогенного эвтрофирования в условиях низ-

ких температур проявляются в меньшей степени, нежели процессы возможного экологического регресса сообществ. Поэтому далее при описании методических подходов более подробно рассмотрим оценку уровня экологического регресса. Стоит отметить, что методика оценки уровня антропогенного эвтрофирования проводится на основе статистической оценки характеристик развития фитопланктона и подробно представлена в ведомственных нормативных документах [6, 7, 13].

Оценку уровня экологического регресса (табл. 2) проводят по совокупности статистических характеристик – модальных интервалов (МИ) вариационных рядов таких показателей, как общая численность бактерио- и фитопланктона, макрозообентоса, число видов фитопланктона, относительная численность группы олигохет в составе бентофауны и некоторые другие [12]. Далее оценку экологического риска воздействия по уровню внутрисистемных процессов проводят по шкале, представленной в табл. 3.

Таблица 2

**Оценка состояния водных экосистем по уровню экологического регресса [6, 7] /  
Scale for assessing the aquatic ecosystems status by ecological devolution level [6, 7]**

Состояние экосистемы (уровень экологического регресса)	Модальный интервал значений				
	ОЧ* бактериопланктона, млн кл./см <sup>3</sup>	ОЧ макрозообентоса, тыс. экз./м <sup>2</sup>	Доля олигохет, %	ОЧ фитопланктона, тыс. кл./см <sup>3</sup> **	Число видов фитопланктона
Антропогенное напряжение с элементами экологического регресса	0,3–1,0	1,0–8,5	10–30	Нет ограничений	20–40
Элементы экологического регресса	1,1–5,0	0,10–30,0	30–50	0,10–5,0	15–20
Экологический регресс	5,1–15,0	0,01–10,0	50–100	0,01–0,70	10–15
Метаболический регресс***	Более 15,0	Частичная или полная гибель зообентоса		Частичная или полная гибель	<10

**Примечание.** \* – ОЧ – общая численность; \*\* – на фоне периодического усиления процессов антропогенного эвтрофирования при экологическом регрессе; \*\*\* – признаки метаболического регресса приведены согласно [14].

Таблица 3

**Классификация риска воздействия на экосистему по уровню внутрисистемных процессов [6, 7] /  
Classification of the ecosystem risk by level of intra-water processes [6, 7]**

Риск воздействия (экологический риск)	Уровень внутрисистемного процесса	
	экологического регресса	антропогенного эвтрофирования
Низкий	Антропогенное напряжение с элементами экологического регресса	Низкий
Средний	Элементы экологического регресса	Средний
Высокий	Экологический регресс	Высокий
Очень высокий	Метаболический регресс	Процесс отсутствует

### Результаты и их обсуждение

Исследования изменчивости и трансформации уровня развития и структурной организации гидробиоценозов арктических рек России приобретают особую важность, поскольку обратимая или необратимая ответная реакция планктонных и бентос-

ных сообществ на воздействие природных и антропогенных факторов является прямым откликом водных сообществ на совокупное воздействие комплекса загрязняющих веществ, способных вызвать либо антропогенное эвтрофирование водного объекта, либо экологический регресс, особенно на фоне изменения климата [8, 15, 16].

Результаты оценки эффекта антропогенного воздействия на арктические экосистемы даны в табл. 4. Анализ статистических характеристик уровня развития фитопланктона исследуемых экосистем показал, что в менее загрязненных реках сообщество находится в состоянии антропогенного напряжения с элементами экологического регресса (реки Патсо-Йоки, Териберка, Печенга, Кола) или с элементами эвтрофирования (р. Вирма). На возрастание антропогенного воздействия (при повышении степени загрязненности водной среды) фитопланктонное сообщество отвечает усилением процессов антропогенного экологического регресса, как это наблюдается для р. Колос-Йоки (токсический эффект загрязнения) (табл. 4).

Ранее было показано [8, 11, 17], что для рек и водоемов северных регионов более информативными показателями для оценки состояния их экосистем и уровня экологического риска являются количественные показатели уровня развития бактериопланктона и макрозообентоса. Характер изменчивости наиболее часто встречаемых значений общей численности этих сообществ и относительной чис-

ленности олигохет в макрозообентосе позволяет оценить уровень экологического регресса и экологического риска воздействия на экосистему.

Результаты оценки уровня экологического регресса по количественным показателям развития бактериопланктона и макрозообентоса приведены в табл. 5. Полученные данные показывают пространственную изменчивость уровня экологического регресса экосистем исследуемых рек, ранжированных по степени загрязненности их водной среды. Достаточно очевидно проявляется тенденция повышения уровня экологического регресса по мере усиления антропогенного воздействия при переходе от менее загрязненных участков арктических рек к более загрязненным и даже грязным. Так, в наименее загрязненных экосистемах уровень экологического регресса меняется от его отсутствия – антропогенное напряжение (реки Лота, Кола (исток), Патсо-Йоки) – до наличия элементов экологического регресса (реки Кола, Патсо-Йоки и Лена), в наиболее загрязненной – стабильно характеризуется категорией элементы экологического регресса (р. Колос-Йоки) (табл. 5).

Таблица 4

**Пространственная изменчивость эффекта антропогенного воздействия на экосистемы арктических рек России /  
Spatial variability of the effect of anthropogenic impact on the ecosystems of the Arctic rivers in Russia**

Река – пункт наблюдений	Мода МИ ОЧ* фитопланктона, тыс. кл./см <sup>3</sup>	Относительная плотность вариационного ряда П <sub>о</sub> , %	Эффект антропогенного воздействия
Патсо-Йоки – Борисоглебская ГЭС	1,50	43	Антропогенное напряжение с элементами экологического регресса
Печенга – пос. Корзуново	1,50	41	
Печенга – ст. Печенга	1,30	41	
Териберка – 60-й км Серебрянской автодороги	1,30	45	
Кола – устье, г. Кола	1,40	45	
Вирма – с. Ловозеро	2,70	47	Антропогенное напряжение с элементами антропогенного эвтрофирования
Лена – с. Кюсюр	1,09	50	Элементы экологического регресса
Лена – п.ст. Хабарова	0,67	71	
Колыма – п.ст. Колымское	0,52	93	
Колос-Йоки – устье	0,32	147	Экологический регресс

**Примечание.** \* – ОЧ – общая численность.

Таблица 5

**Пространственная изменчивость уровня экологического регресса экосистем арктических рек России /  
Spatial variability of ecological devolution level of ecosystems of the Arctic rivers of Russia**

Река – пункт наблюдений	Сообщество бактериопланктона		Сообщество макрозообентоса		
	МИ ОЧ* млн кл/см <sup>3</sup>	Уровень экологического регресса	Модальный интервал		Уровень экологического регресса
			ОЧ макрозообентоса, тыс. экз/м <sup>2</sup>	Доля олигохет, %	
<i>Слабозагрязненные и загрязненные</i>					
Патсо-Йоки – Борисоглебская ГЭС	1,00–1,88	ЭЭР	1,00–2,70	9–28	АН с ЭЭР
Патсо-Йоки – пгт Кайтакоски	0,50–1,60	АН с ЭЭР	0,55–2,30	8–29	АН с ЭЭР
Ура – с. Ура-Губа	0,80–1,31	АН с ЭЭР	0,15–1,96	3–27	АН с ЭЭР
Лотта – устье	0,70–1,30	АН с ЭЭР	1,00–2,44	5–17	АН с ЭЭР
Кола – исток, г. Оленегорск	0,80–1,65	АН с ЭЭР	1,30–5,70	3–29	АН с ЭЭР
Кола – пгт Выходной	1,00–2,00	ЭЭР	0,10–2,30	0–20	АН с ЭЭР
Териберка – 60-й км Серебрянской автодороги	0,80–1,20	АН с ЭЭР	0,53–2,70	7–25	АН с ЭЭР
Кенгдей – гидропост	0,02–1,79	АН с ЭЭР	н.о.**–0,36	0–40	АН с ЭЭР
Копчик-Юрэгэ – пос. Полярка	0,04–2,37	АН с ЭЭР	н.о.–0,28	0–40	АН с ЭЭР
<i>Загрязненные и очень загрязненные</i>					
Колос-Йоки – выше пгт Никель	1,00–2,00	ЭЭР	0,19–1,87	7–30	АН с ЭЭР
Печенга – ст. Печенга	0,50–3,00	АН с ЭЭР	1,10–9,96	40–85	ЭЭР
Кола – г. Кола, устье	1,00–2,50	ЭЭР	0,16–2,75	5–33	АН с ЭЭР
Лена – с. Кюсюр	0,05–1,80	АН с ЭЭР	0,12–0,28	0–36	АН с ЭЭР
Лена – п.ст. Хабарова	0,05–1,90	АН с ЭЭР	0,20–0,48	0–30	АН с ЭЭР
<i>Очень загрязненные и грязные</i>					
Вирма – с. Ловозеро	1,20–2,50	ЭЭР	0,67–2,96	6–28	АН с ЭЭР
Печенга – п. Корзуново	1,00–2,50	ЭЭР	0,62–4,85	10–29	АН с ЭЭР
Колыма – п.ст. Колымское	0,10–0,54	АН с ЭЭР	–	–	–
<i>Грязные и очень грязные</i>					
Колос-Йоки – устье	1,30–3,96	ЭЭР	1,00–19,4	60–100	ЭЭР

**Примечание.** \* – МИ ОЧ – модальный интервал значений общей численности; \*\* – н.о. – не обнаружено (пустая проба). Обозначения уровня экологического регресса: АН с ЭЭР – антропогенное напряжение с элементами экологического регресса; ЭЭР – элементы экологического регресса; ЭР – экологический регресс.

Такая тенденция проявляется в изменчивости уровня экологического регресса экосистем исследуемых арктических рек по показателям развития бактериопланктона и макрозообентоса. Иная картина наблюдается в изменчивости уровня экологического регресса отдельных рек арктической зоны (АЗ) РФ по развитию сообществ фитопланктона (табл. 6). Здесь, напротив, не выявляется тенденция повышения уровня экологического регресса по мере усиления антропогенного воздействия при переходе от загрязненных участков арктических рек к более загрязненным и даже грязным. Так, в наименее за-

грязненных экосистемах рек Лота, Ура и Патсо-Йоки сообщества функционируют в состоянии экологического регресса.

Обобщенные результаты итоговой оценки уровня экологического риска на экосистемы арктических рек арктической зоны России на основе обобщения данных по уровню экологического регресса разных сообществ приведены в табл. 7.

По уровню экологического риска (риска антропогенного воздействия) исследуемые участки арктических рек можно ранжировать на две группы:

– с низким уровнем риска – участки рек Патсо-Йоки (пгт Кайтакоски), Кола (исток; г. Кола), Териберка, Ура, Лотта, Кенгдей, Копчик-Юрэгэ, Колыма и Лена;

– со средним уровнем риска – участки рек Патсо-Йоки (Борисоглебская ГЭС), Кола (выше пгт Выходной), Печенга, Колос-Йоки.

Такое деление речных участков проведено преимущественно по бактериопланктону и макрозообентосу как наиболее информативным показателям состояния рек северного региона.

Однако необходимо отметить, что высока вероятность возрастания экологического риска для отдельных участков исследуемых рек, для которых установлено, что фитопланктонные сообщества находятся в состоянии экологического регресса в силу региональных природно-климатических условий (суровый климат, низкие температуры и обедненность вод биогенными веществами). Это характерно для участков рек Патсо-Йоки (пгт Кайтакоски), Ура, Лотта, Колос-Йоки, Кенгдей, Копчик-Юрэгэ и Колыма.

Таблица 6

**Пространственная изменчивость уровня экологического регресса экосистем арктических рек России по развитию фитопланктона / Spatial variability of ecological devolution level of ecosystems of the Arctic rivers of Russia by the phytoplankton development**

Река – пункт наблюдений	МИ ОЧ*, тыс. кл/см <sup>3</sup>	Уровень экологического регресса	МИ числа видов	Уровень экологического регресса
<i>Слабозагрязненные и загрязненные</i>				
Патсо-Йоки – Борисоглебская ГЭС	0,25–3,00	ЭЭР**	8–16	ЭР
Патсо-Йоки – пгт Кайтакоски	0,18–0,78	ЭР	6–15	ЭР
Ура – с. Ура-Губа	0,15–0,90	ЭР	8–13	ЭР
Лотта – устье	0,10–0,70	ЭР	7–15	ЭР
Кола – исток, г. Оленегорск	0,24–12,0	АН с ЭЭР	10–30	АН с ЭЭР
Кола – пгт Выходной	0,20–2,00	ЭЭР	15–30	АН с ЭЭР
Териберка – 60-й км Серебрянской автодороги	0,20–2,00	ЭЭР	7–18	ЭЭР
Кенгдей – гидропост	0,02–0,26	ЭР	–	–
Копчик-Юрэгэ – пос. Полярка	0,11–0,65	ЭР	–	–
<i>Загрязненные и очень загрязненные</i>				
Колос-Йоки – выше пгт Никель	0,08–0,25	ЭР	5–10	ЭР
Печенга – ст. Печенга	0,10–2,00	ЭЭР	5–17	ЭР
Кола – г. Кола	0,20–2,00	ЭЭР	10–25	ЭЭР
Лена – с. Кюсюр	0,50–2,74	ЭЭР	10–20	ЭЭР
Лена – п. ст. Хабарова	0,20–2,10	ЭЭР	7–15	ЭР
<i>Очень загрязненные и грязные</i>				
Вирма – с. Ловозеро	0,11–5,30	ЭЭР	9–25	ЭЭР
Печенга – п. Корзуново	0,10–2,00	ЭЭР	8–18	ЭР
Колыма – п.ст. Колымское	0,10–0,54	ЭР	8–18	ЭР
<i>Грязные и очень грязные</i>				
Колос-Йоки – устье	0,01–0,60	ЭР	4–12	ЭР

**Примечание.** Обозначения те же, что и в табл. 5.

Таблица 7

**Оценка уровня экологического риска на экосистемы арктических рек России по уровню экологического регресса /  
Evaluation of the environmental risk level on the ecosystems of the Arctic rivers of Russia by the ecological devolution level**

Река – пункт наблюдений	Уровень экологического регресса по развитию			Уровень экологического риска
	бактериопланктона	фитопланктона	макрозообентоса	
<i>Слабозагрязненные и загрязненные</i>				
Патсо-Йоки – Борисоглебская ГЭС	ЭЭР	ЭЭР	АН с ЭЭР	Средний
Патсо-Йоки – пгт Кайтакоски	АН с ЭЭР	ЭР	АН с ЭЭР	Низкий
Ура – с. Ура-Губа	АН с ЭЭР	ЭР	АН с ЭЭР	Низкий
Лотта – устье	АН с ЭЭР	ЭР	АН с ЭЭР	Низкий
Кола – исток, г. Оленегорск	АН с ЭЭР	АН с ЭЭР	АН с ЭЭР	Низкий
Кола – пгт Выходной	ЭЭР	АН с ЭЭР	АН с ЭЭР	Средний
Териберка – 60-й км Се-ребрянской автодороги	АН с ЭЭР	ЭЭР	АН с ЭЭР	Низкий
Кенгдей – гидропост	АН с ЭЭР	ЭР	АН с ЭЭР	Низкий
Копчик-Юрэгэ – пос. Полярка	АН с ЭЭР	ЭР	АН с ЭЭР	Низкий
<i>Загрязненные и очень загрязненные</i>				
Колос-Йоки – выше пгт Никель	ЭЭР	ЭР	АН с ЭЭР	Средний
Печенга – ст. Печенга	АН с ЭЭР	ЭЭР	ЭЭР	Средний
Кола – г. Кола	АН с ЭЭР	ЭЭР	АН с ЭЭР	Низкий
Лена – с. Кюсюр	АН с ЭЭР	ЭЭР	АН с ЭЭР	Низкий
Лена – п.ст. Хабарова	АН с ЭЭР	ЭЭР	АН с ЭЭР	Низкий
<i>Очень загрязненные и грязные</i>				
Вирма – с. Ловозеро	ЭЭР	ЭЭР	АН с ЭЭР	Средний
Печенга – п. Корзуново	ЭЭР	ЭЭР	АН с ЭЭР	Средний
Кольма – п.ст. Кольмское	АН с ЭЭР	ЭР	нет данных	Низкий
<i>Грязные и очень грязные</i>				
Колос-Йоки – устье	ЭЭР	ЭР	ЭЭР	Средний

**Примечание.** Обозначения те же, что и в табл. 5.

Цветовое обозначение уровня экологического регресса:

	– низкий;
	– средний;
	– высокий.

### Заключение

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Формирование химического состава и качества воды арктических рек и функционирование сообществ водных организмов происходит в условиях повсеместного распространения мощного слоя многолетней мерзлоты, что сильно ослабляет самоочищающую способность экосистем, а также под влиянием антропогенных факторов (сброс сточных вод предприятий обрабатывающей и добывающей промышленности, коммунального хозяйства и энергетики, влияние водного транспорта), нарушающих естественные закономерности гидрохимического и гидробиологического режимов рек.

2. Выявленная тенденция усиления развития процесса экологического регресса и глубина трансфор-

мации структурной организации планктонных и бентосных сообществ определяются степенью загрязненности водной среды их обитания, региональными природно-климатическими условиями. Усиление антропогенного воздействия на водосборах арктических рек дополнительно может приводить к нарушению экологического состояния водных экосистем за счет усиления процессов экологического регресса или антропогенного эвтрофирования экосистем, вызывающих глубокую, нередко необратимую перестройку структурной организации отдельных сообществ водных организмов и даже биоценоза в целом.

3. Многолетние и сезонные вариации в жизненных циклах биоты нарушаются в условиях происходящих климатических изменений и обуславливают возникновение экологического риска. Уровень экологического риска в речных экосистемах арктической зоны России оценивается как низкий или средний с тенденцией его усиления.

## Литература

1. Фролова Л.А., Назарова Л.Б., Пестрякова Л.А., Херцишух У. Анализ влияния климат зависимых факторов на формирование зоопланктонных сообществ арктических озер бассейна реки Анабар // Сиб. экол. журн. 2013. № 1. С. 3–15.

2. Степанова Н.Ю. Факторы и критерии оценки экологического риска для устойчивого функционирования Куйбышевского водохранилища : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Ульяновск, 2008. 42 с.

3. Решетняк О.С. Оценка экологического риска воздействия на устьевые экосистемы крупных рек // Великие реки – 2013 : тр. 15-го Междунар. науч.-промышл. форума. Н. Новгород: ННГАСУ, 2013. Т. 1. С. 148–150.

4. Никаноров А.М., Решетняк О.С. Оценка экологического риска антропогенного воздействия на речные экосистемы Кольского Севера // Современные проблемы гидрохимии и формирования качества вод: материалы научн. конф., посвященной 90-летию со дня образования Гидрохимического института. Ростов н/Д., 2010. С. 247–250.

5. Nickanorov A.M., Reshetnyak O.S. Risk of mouth ecosystems pollution of the major rivers of Russia // European Researcher. 2014. № 5-1 (74). P. 918–924.

6. Р 52.24.661-2004. Оценка риска антропогенного воздействия приоритетных загрязняющих веществ на поверхностные воды суши. М.: Метеоагентство Росгидромета, 2006. 25 с.

7. Р 52.24.776-2012. Оценка антропогенной нагрузки и риска воздействия на устьевые области рек с учетом их региональных особенностей. Ростов н/Д.: Росгидромет, ГХИ, 2012. 28 с.

8. Никаноров А.М., Иванов В.В., Брызгалов В.А. Реки Российской Арктики в современных условиях антропогенного воздействия. Ростов н/Д.: НОК, 2007. 280 с.

9. Reshetnyak O.S. The anthropogenic transformation of the water bodies of the European North of Russia // Russian J. of General Chemistry. 2010. Vol. 80, № 13. P. 2738–2753.

10. Никаноров А.М., Минина Л.И., Брызгалов В.А., Косменко Л.С., Кондакова М.Ю., Решетняк О.С., Даниленко А.О. Многолетняя изменчивость загрязненности воды и состояния речных экосистем различных широтных зон европейской части России // Водные ресурсы. 2016. Т. 43, № 5. С. 515–527. DOI: 10.7868/S0321059616050102.

11. Решетняк О.С. Трансформация речных экосистем Европейского Севера России в условиях антропогенного воздействия : дис. ... канд. геогр. наук. Ростов н/Д., 2010. 174 с.

12. РД 52.24.620-2000. Охрана природы. Гидросфера. Организация и функционирование специальной подсистемы мониторинга антропогенного эвтрофирования пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеоздат, 2001. 40 с.

13. РД 52.24.633-2002. Методические основы создания и функционирования подсистемы мониторинга экологического регресса пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеоздат, 2003. 32 с.

14. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / под ред. В.А. Абакумова. СПб.: Гидрометеоздат, 1992. 318 с.

15. Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Косменко Л.С., Решетняк О.С. Антропогенная трансформация структурной организации гидробиоценоза устьевой области р. Лены // Водные ресурсы. 2011. Т. 38, № 3. С. 306–314.

16. Решетняк В.Н., Решетняк О.С. Состояние донных биоценозов устьевой области реки Лена // Биомониторинг в Арктике : сб. тез. докл. участников Междунар. конф. (26–27 ноября 2018 г.) / отв. ред. Т.Ю. Сорокина. Архангельск: САФУ, 2018. С. 103–105.

17. Никаноров А.М., Брызгалов В.А. Реки России. Ч. I : Реки Кольского Севера (гидрохимия и гидроэкология). Ростов н/Д.: НОК, 2009. 200 с.

## References

1. Frolova L. A., Nazarova L. B., Pestryakova L. A., Herzshuh U. (2013). Analysis of the influence of climate-dependent factors on the formation of zooplankton communities in the Arctic lakes of the Anabar river basin. *Sib. ecol. zhurn.*, No. 1, pp. 3-15. (in Russian).

2. Stepanova N.Yu. (2008). *Factors and criteria for assessing environmental risk for the sustainable functioning of the Kuibyshev reservoir*. Dissertation Thesis. Ulyanovsk, 42 p. (in Russian).

3. Reshetnyak O.S. (2013). Assessment of the environmental risk of impact on the estuaries of large rivers. *Great rivers-2013*. Proceedings of the 15th International Scientific and Industrial Forum. N. Novgorod, NNGASU Press, 2013, vol. 1, pp. 148-150. (in Russian).

4. Nickanorov A.M., Reshetnyak O. S. (2010). Assessment of ecological risk of anthropogenic impact on river ecosystems of the Kola North. *Modern problems of hydrochemistry and water quality formation : Materials of the Scientific Conference dedicated to the 90th anniversary of the Hydrochemical Institute*. Rostov-on-Don, pp. 247-250. (in Russian).

5. Nickanorov A.M., Reshetnyak O.S. (2014). Risk of mouth ecosystems pollution of the major rivers of Russia. *European Researcher*, No. 5-1 (74), pp. 918-924.

6. R 52.24.661-2004. *Assessment of the risk of anthropogenic impact of priority pollutants on land surface waters*. (2006). Moscow, Meteorological Agency of Roshydromet Publ., 25 p. (in Russian).

7. R 52.24.776-2012. *Assessment of anthropogenic load and risk of impact on the estuaries of rivers, taking into account their regional characteristics*. (2012). Rostov-on-Don, Roshydromet, GHI Press, 28 p. (in Russian).

8. Nikanorov A.M., Ivanov V.V., Bryzgalo V.A. (2007). *Rivers of the Russian Arctic in modern conditions of anthropogenic impact*. Rostov-on-Don, NOK Publ., 280 p. (in Russian).
9. Reshetnyak O.S. (2010). The anthropogenic transformation of the water bodies of the European North of Russia. *Russian J. of General Chemistry*, vol. 80, No. 13, pp. 2738-2753.
10. Nikanorov A.M., Minina L. I., Bryzgalo V.A., Kosmenko L.S., Kondakova M.Yu., Reshetnyak O.S., Danilenko A.O. (2016). Long-term variability of water pollution and the state of river ecosystems in various latitudinal zones of the European part of Russia. *Vodnye resursy*, vol. 43, No. 5, pp. 515-527. DOI: 10.7868/S0321059616050102. (in Russian).
11. Reshetnyak O.S. (2010). *Transformation of river ecosystems of the European North of Russia in the conditions of anthropogenic impact*. Dissertation Thesis. Rostov-on-Don, 174 p. (in Russian).
12. RD 52.24.620-2000. *Nature protection. Hydro sphere. Organization and functioning of a special subsystem for monitoring anthropogenic eutrophication of freshwater ecosystems*. (2001). Saint Petersburg, Hydrometeoizdat Publ., 40 p. (in Russian).
13. RD 52.24.633-2002. *Methodological bases of creation and functioning of the subsystem for monitoring the ecological regression of freshwater ecosystems*. (2003). Saint Petersburg, Hydrometeoizdat Publ., 32 p. (in Russian).
14. *Guide to hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems*. (1992). V.A. Abakumov (Ed.). Saint Petersburg, Hydrometeoizdat Publ., 318 p. (in Russian).
15. Nikanorov A.M., Bryzgalo V.A., Kosmenko L.S., Reshetnyak O.S. (2011). Anthropogenic transformation of the structural organization of the hydrobiocenosis of the estuary region of the Lena river. *Vodnye resursy*, vol. 38, No. 3, pp. 306-314. (in Russian).
16. Reshetnyak V.N., Reshetnyak O.S. (2018). State of bottom biocenoses of the Lena river estuary region. *Biomonitoring in the Arctic*. Collection of abstracts of reports of participants of the International Conference (November 26-27, 2018). T.Yu. Sorokin (Ed.). Arkhangelsk, SAFU Press, pp. 103-105. (in Russian).
17. Nikanorov A.M., Bryzgalo V.A. (2009). *Rivers of Russia*. Part I: Rivers of the Kola North (hydrochemistry and hydroecology). Rostov-on-Don, NOK Publ., 200 p.

УДК 556.047; 556.048; 556.121; 556.16

DOI 10.18522/1026-2237-2020-3-79-90

## РОЛЬ СКЛОНОВЫХ СТОКОВ В ПОДТОПЛЕНИИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ В ПРЕДГОРНОЙ ЧАСТИ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ ПРИ ВЫПАДЕНИИ ЛОКАЛЬНЫХ ЛИВНЕВЫХ ОСАДКОВ (НА ПРИМЕРЕ СТАНИЦЫ БАГОВСКОЙ 20 МАЯ 2019 г.)

© 2020 г. Ю.Ю. Ткаченко<sup>1</sup>, В.И. Денисов<sup>2</sup>, Е.А. Перов<sup>1</sup><sup>1</sup>Территориальный центр мониторинга и прогнозирования ЧС природного и техногенного характера, Краснодар, Россия,<sup>2</sup>Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

## THE ROLE OF SLOPE RUNOFF IN FLOODING OF SETTLEMENTS IN THE FOOTHILLS OF THE KRASNODAR REGION WHEN LOCAL RAINSTORMS FALL (ON THE EXAMPLE OF BAGOVSAYA VILLAGE ON MAY 20, 2019)

Yu.Yu. Tkachenko<sup>1</sup>, V.I. Denisov<sup>2</sup>, E.A. Perov<sup>1</sup><sup>1</sup>Territorial Center of Monitoring and Forecasting Emergencies of Natural and Anthropogenic Origin, Krasnodar, Russia,<sup>2</sup>Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Ткаченко Юрий Юрьевич – кандидат географических наук, Территориальный центр мониторинга и прогнозирования ЧС природного и техногенного характера, ул. Рашилевская, 179/1, г. Краснодар, 350020, Россия, e-mail: yuyut23@mail.ru

Yuriy Yu. Tkachenko - Candidate of Geography, Territorial Center of Monitoring and Forecasting Emergencies of Natural and Anthropogenic Origin, Rashpilevskaya St., 179/1, Krasnodar, 350020, Russia, e-mail: yuyut23@mail.ru

Денисов Валерий Иванович – кандидат географических наук, доцент, кафедра социально-экономической географии и природопользования, Институт наук о Земле, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: denisovgeo@yandex.ru

Valeriy I. Denisov - Candidate of Geography, Associate Professor, Department of Socio-Economic Geography and Nature Management, Institute for Earth Sciences, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: denisovgeo@yandex.ru

Перов Евгений Александрович – начальник отдела, Территориальный центр мониторинга и прогнозирования ЧС природного и техногенного характера, ул. Рашилевская, 179/1, г. Краснодар, 350020, Россия, e-mail: Gistcmp@mail.ru

Evgeny A. Perov - Head of Department, Territorial Center of Monitoring and Forecasting Emergencies of Natural and Anthropogenic Origin, Rashpilevskaya St., 179/1, Krasnodar, 350020, Russia, e-mail: Gistcmp@mail.ru

На примере подтопления 20 мая 2019 г. части территории станицы Баговской Краснодарского края выполнена оценка роли склоновых стоков, формирующихся при выпадении локальных ливневых осадков, в подтоплении населённых пунктов в предгорной части края. Рассмотрены гидрометеорологические условия, которые способствуют формированию интенсивных склоновых стоков. Установлено, что в случае развития элементарного циркуляционно-го механизма на территории края возрастает вероятность выпадения локальных ливневых осадков, интенсивность которых в предгорной зоне может достигать более 100 мм/сут.

Осадки, как правило, носят площадный характер, но при этом распределение поля осадков неравномерно. В случае выпадения основных осадков в высотной зоне 300–700 м реки справляются с пропуском дождевых вод, и подтопление населённых пунктов происходит стоками, поступающими с окружающих склонов. В случае интенсивности осадков 10 мм/10 мин модуль стока составляет 16,7 м<sup>3</sup>/с·км<sup>2</sup>. При смещении интенсивных осадков в высотную зону более 1000 м происходит формирование наводки на реках и водотоках. В этом случае подтопление населённых пунктов будет происходить сначала в результате стекания склоновых стоков, а затем в результате подъёма уровня воды в реке выше опасных отметок.

**Ключевые слова:** предгорная часть Краснодарского края, ливневые осадки, склоновые стоки, наводки.

*In the articles the authors have assessed the role of slope runoff formed during local storm precipitation in flooding of settlements in the foothill part of the region using the example of flooding of a part of the territory of the Bagovskaya village in the Krasnodar region on May 20, 2019. Hydrometeorological conditions that contribute to the formation of intensive slope runoff have been considered. It was identified that in the case of the development of the elementary circulation mechanism, the probability of local rainfall increases in the territory of the region, the intensity of which in the foothill zone can reach more than 100 mm/day.*

*Precipitation is, as a rule, are of an areal character, but the field distribution of precipitation is uneven. In the case of major precipitation in the high-altitude zone of 300-700 m, rivers cope with the passage of rainwater and flooding of settlements occurs because of the slope runoff coming from the surrounding slopes. In the case of precipitation intensity of 10 mm/10 min the flow modulus is 16.7 m<sup>3</sup>/s·km<sup>2</sup>. When intense precipitation shifts to a high-altitude zone of more than 1000 m, a flood occurs on rivers and watercourses. In this case, flooding of localities will occur first as a result of runoff of slope drains, and then, as a result of rising water levels in the river, above dangerous levels.*

**Keywords:** foothills of the Krasnodar territory, heavy rainfall, slope runoff, floods.

## Введение

Во Втором оценочном докладе Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации отмечается, что среднегодовая скорость потепления в целом для России не изменилась (0,43 °C/10 лет). Во все сезоны, кроме зимнего, скорость потепления несколько увеличилась, а зимой, напротив, заметно уменьшилась (от 0,35 до 0,18 °C/10 лет) [1]. Таким образом, изменение климата России в целом (в среднем за год и по территории) и для Краснодарского края следует охарактеризовать как продолжающееся потепление.

Повышение температуры атмосферы способствует развитию экстремальных синоптических ситуаций, нехарактерных для территории края. Наибольшую опасность для инфраструктуры края представляет мощная кучево-дождевая облачность с вертикальной протяженностью 13 км и более, которая генерирует выпадение экстремальных по интенсивности осадков. Формирование такой облачности происходит, как правило, на холодных фронтальных разделах в неустойчивых воздушных массах. В последние годы все чаще отмечается развитие мощной кучево-дождевой облачности в летнее время в зоне микроциклонов, образование которых происходит под влиянием черноморской депрессии. Не последнюю роль в формировании таких циклонических образований здесь играет высокая температура поверхностного слоя моря, которая отмечается уже ежегодно. Отмечаемый рост температуры верхнего слоя моря в тёплое время года способствует увеличению испарения. При прохождении фронтальных разделов через акваторию Черного моря происходит насыщение их влагой, что приводит при выходе атмосферных фронтов на сушу, особенно в районе Главного Кавказского хребта, к их

обострению и резкому увеличению выпадения осадков в горной зоне [2].

Наибольшее количество осадков в годовом измерении приходится на южную и юго-восточную части края, где их количество достигает от 1200 до 2200 мм/год [3]. Если в 90-е гг. осадки с интенсивностью 50 мм/ч (100 мм/сут и более), которые формируют быстроразвивающиеся паводки, в среднем выпадали два раза в год, то начиная с 2000-х гг. наметилась тенденция роста количества случаев выпадения сильных осадков. Последние шесть лет отмечается постоянное увеличение повторяемости выпадения таких сильных осадков. В 2016 г. было отмечено 16 случаев выпадения локальных сильных осадков, приводящих к развитию паводков на реках края [4]. При этом интенсивность таких осадков достигает до 20 мм/10 мин, что характерно для тропического ливня, но совершенно не характерно для территории Кубани. Выпадающие осадки носят в большинстве случаев локальный, «пятнистый» характер и приурочены к водоразделам (горным хребтам).

При выпадении такого количества осадков в горах поверхность склонов не может сразу впитать и удержать это количество воды, и она устремляется вниз в русло рек и водотоков. Локальные паводочные явления развиваются стремительно в границах одного водосбора в верховьях реки и проходят за короткий период времени. Быстротечность развития паводка определяется интенсивностью склоновых стоков, зависящих во многом от рельефа и состояния подстилающей поверхности. Увеличение водности приводит к резкому подъёму уровня воды и затоплению прилегающих к реке территорий. В последние годы для рек и водотоков горной области Краснодарского края становятся характерными исключительная внезапность, скоротечность и разрушительность паводочных явлений.

В данной работе рассмотрены гидрометеорологические условия, которые способствовали формированию интенсивных склоновых стоков, приведших к подтоплениям части территории ст. Баговской 20 мая 2019 г.

### Синоптическая обстановка в мае 2019 г.

По данным Гидрометцентра России, в начале мая в стратосфере (на уровне АТ – 10 гПа) установился полярный антициклон, который усиливался в течение месяца, и его интенсивность весь период была немного выше нормы. Оба центра околополярного циклонического вихря в таких условиях были значительно ослаблены и оттеснены к югу. Стационарирование полярных ложбин и циклонов над Западной и Центральной Европой привело к активному циклогенезу над Средиземным морем.

Большую же часть месяца Европа находилась во власти активной циклонической деятельности. Регулярные адвекции холода провоцировали активный циклогенез в центральном Средиземноморье. Результатом активной циклонической деятельности нередко становились обширные многоцентровые области низкого давления, занимавшие практически всю территорию континента, за исключением западных её регионов. В Восточной Европе под влиянием преобладавших южных адвекций температура воздуха была существенно выше обычной. Распределение осадков было неравномерным, местами на Северном Кавказе их выпало значительно больше нормы [5]. К середине мая в Северном полушарии установился элементарный циркуляционный механизм (ЭЦМ), который в соответствии с типизацией атмосферы Северного полушария по методу Б.Л. Дзердзеевского [6, 7] можно определить как 8а. При таком типе циркуляции южные циклоны выходят со Средиземного моря на Восточную Европу, обеспечивая выпадение интенсивных осадков, в том числе на территории Краснодарского края.

Утром 18 мая 2019 г. у поверхности земли и до высоты 1,5 км практически вся территория края находилась под влиянием передней части ложбины с юго-запада от циклона с центром над Анкарой. За сутки атмосферное давление понизилось на 4,0 гПа, температура воздуха повысилась на 3,1 °С.

На высотах 3–5 км территория края находилась под влиянием разрушающегося гребня с юго-юго-востока. Геопотенциал на всех высотах понизился на 1–6 гдм. Увеличился контраст температуры воздуха на высоте 1,5 км между

пунктами Ростов – Туапсе до 7 °С. Нулевая изотерма по данным зондирования в Туапсе находилась на высоте 3990 м, за сутки понизилась на 230 м. Температура поверхности моря в районе Туапсе составляла 18,3 °С.

С утра 19 мая территорию края начал проходить холодный фронт. К этому времени на высотах 3–5 км территория края находилась в передней части пологой высотной ложбины с ЮЗ-З от циклона с центром над Анкарой (Турция). На 1,5 км центр циклона располагался уже над Туапсе. Циклон за последние сутки на всех высотах заполнился на 2–4 гдм. Контраст температуры на 1,5 км между Ростов – Туапсе уменьшился до 5 °С. Нулевая изотерма по радиозонду Туапсе, находившаяся на высоте 3850 м, понизилась на 140 м. Ведущий поток со скоростью 20–60 км/ч перешёл с ЮВ на ЮЗ.

Изменение ведущего потока на ЮЗ, высокая температура поверхности моря, интенсивный заток холодного воздуха по высотам способствовали интенсификации конвективных процессов, особенно в зоне вынужденной конвекции на западных склонах Главного Кавказского хребта. Как следствие – выпадение сильных осадков. По данным гидропоста Нижегородская Апшеронского района, 19 мая в период 12:00–17:00 наблюдался очень сильный дождь, количество осадков составило 107 мм.

### Методы измерения

Мониторинг уровней на реках Краснодарского края осуществляется автоматическими гидрологическими комплексами (АГК) краевой системы мониторинга паводковой обстановки. Гидропосты оборудованы бесконтактными радиолокационными датчиками с погрешностью измерения не более 3 мм.

В повседневном (штатном) режиме гидропост каждые 10 мин осуществляет измерение текущего уровня воды. В качестве текущего уровня зеркала воды принимается среднее арифметическое значение по результатам 20 замеров в течение 20 с. Регистрация осадков выполняется с помощью автоматических осадкомерных комплексов (АОК), входящих в состав системы. Измерение осуществляется посредством доплеровского радара с частотой 24 ГГц, который вычисляет скорость каждой отдельной капли, регистрируя отраженный от нее эхо-сигнал (обратное рассеяние) и производя в дальнейшем пересчет измеренной величины в стандартные единицы – мм (л/м<sup>2</sup>). Объемное раз-

решение интенсивности осадков – 0,01 мм. Период наблюдения интенсивности осадков в штатном режиме – не реже чем один раз в 1 мин, суммарного количества осадков за 10 мин в штатном режиме – не реже чем один раз в 10 мин.

### Развитие процесса

К ночи 19–20 мая на всех высотах территория края находилась под влиянием высотного циклона с центрами на 1,5 км над Арменией, на 3 км – над Трабзоном, на 5 км – над Туапсе. Температуры на всех высотах понизились на 1–8 °С. Контраст температуры на 1,5 км между пунктами Ростов – Туапсе понизился до 1 °С. Нулевая изотерма по радиозонду Туапсе находилась на высоте 2910 м, понизилась на 940 м.

У поверхности земли территория края находилась в обширном поле относительно пониженного давления. В ночь на 20 мая 2019 г. на юго-востоке Краснодарского края наблюдалось активное формирование конвективной облачности мощностью развития более 5 км.

В районе ст. Баговской основное развитие облачности происходило 20 мая, с 1:00 до 10:00, мощность развития по высоте достигала 12–15 км. Осадки выпадали на большой площади, охватывая весь бассейн реки Ходзь (рис. 1–8).

Пик осадков в районе ст. Баговской пришёлся на период с 4:00 до 9:10 утра 20 мая, когда интенсивность осадков составляла до 10,5 мм за 10 мин (рис. 1–8). Суммарное количество осадков составило 133,5 мм за 4 ч 30 мин (дождь категории «опасное явление»), а всего за 7 ч (с 04:00 до 11:50) выпало 140 мм (рис. 9).

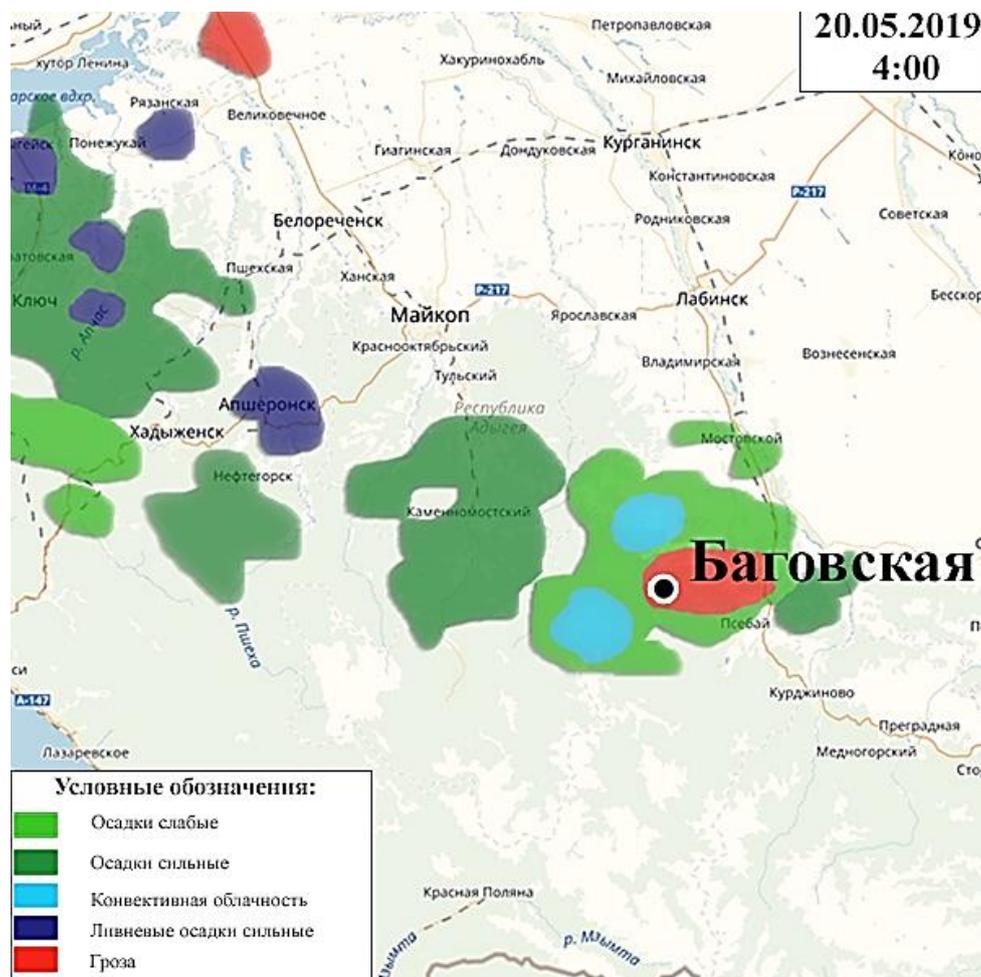


Рис. 1. Распределение облачности и поля осадков в районе ст. Баговской 25.05.2019, в 4:00, по данным радарных наблюдений / Fig. 1. Distribution of cloud amount and field precipitation in the area of Bagovskaya village 25.05.2019 in 4:00 am according to radar observation

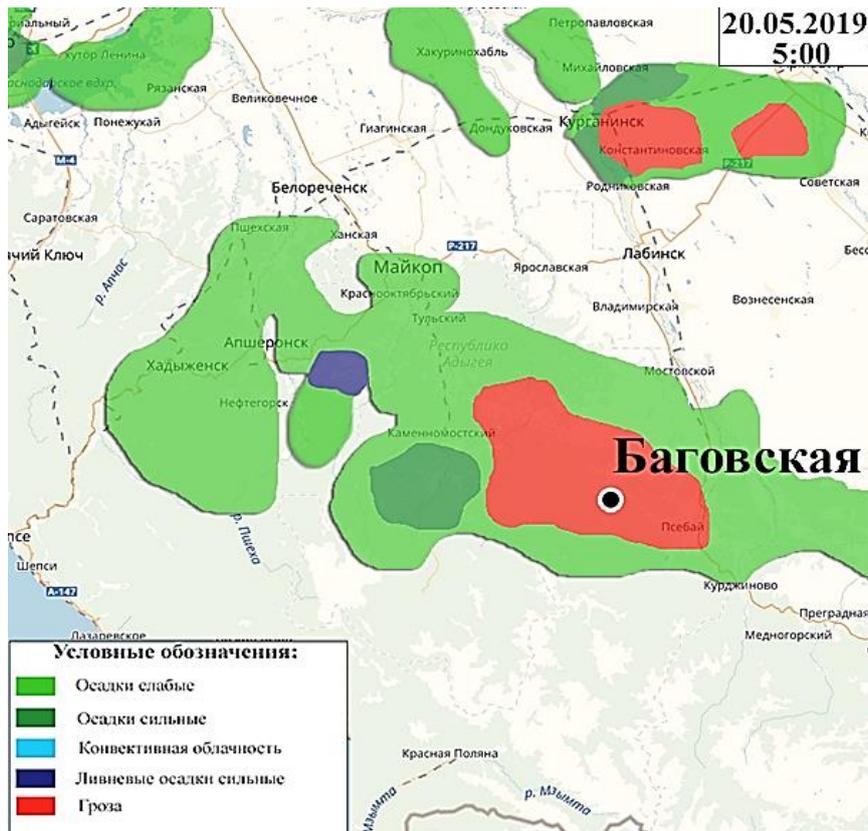


Рис. 2. Распределение облачности и поля осадков в районе ст. Баговской 25.05.2019, в 5:00, по данным радарных наблюдений / Fig. 2. Distribution of cloud amount and field precipitation in the area of Bagovskaya village 25.05.2019 in 5:00 am according to radar observation

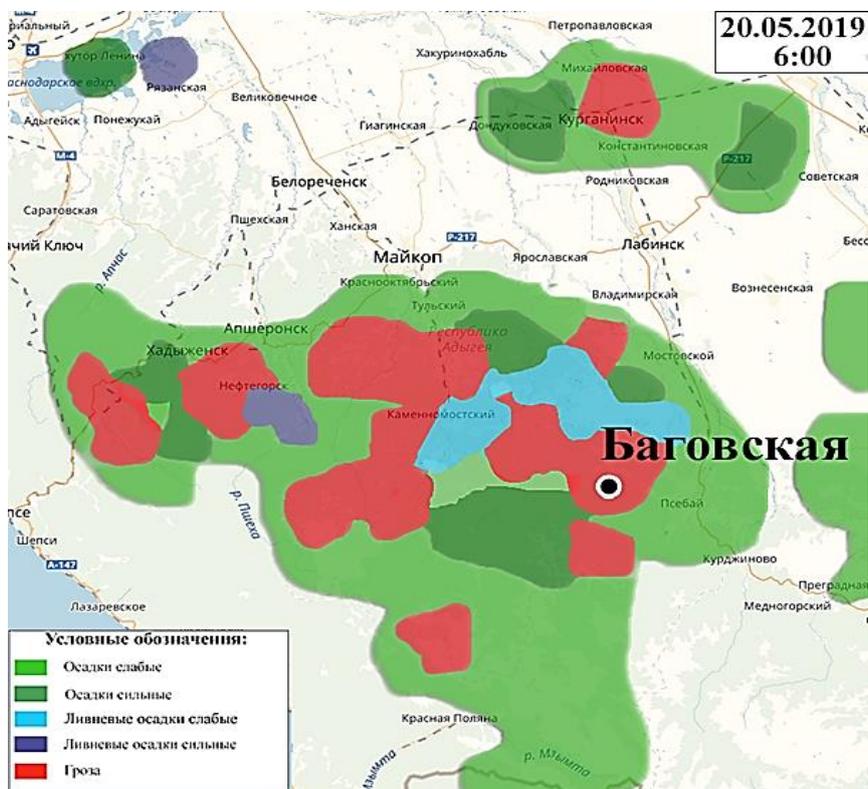


Рис. 3. Распределение облачности и поля осадков в районе ст. Баговской 25.05.2019, в 6:00, по данным радарных наблюдений / Fig. 3. Distribution of cloud amount and field precipitation in the area of Bagovskaya village 25.05.2019 in 6:00 am according to radar observation

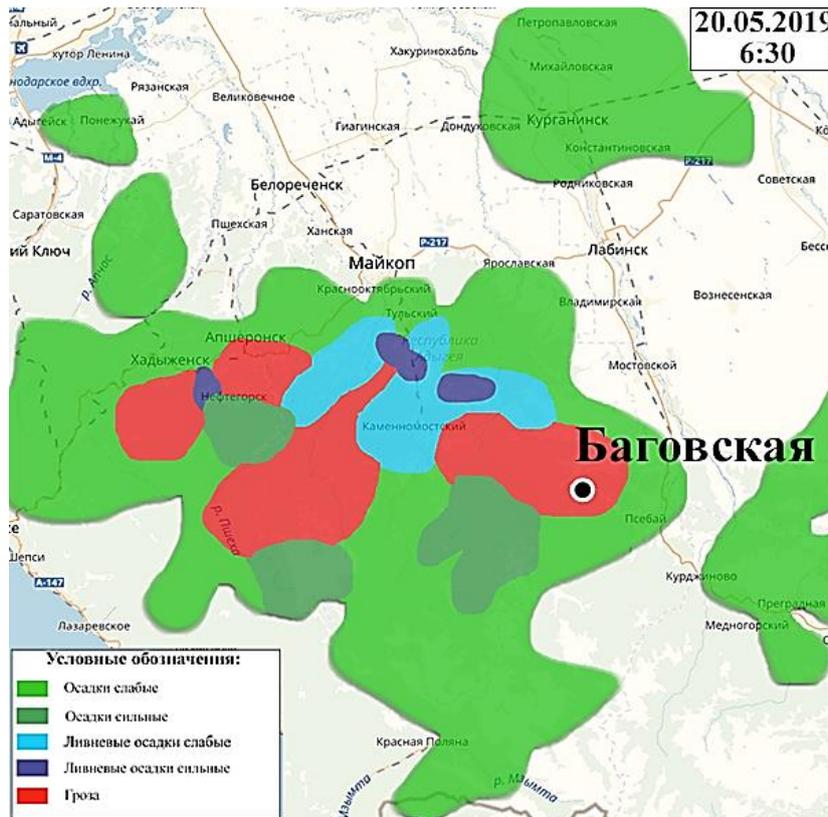


Рис. 4. Распределение облачности и поля осадков в районе ст. Баговской 25.05.2019, в 6:30, по данным радарных наблюдений / Fig. 4. Distribution of cloud amount and field precipitation in the area of Bagovskaya village 25.05.2019 in 6:30 am according to radar observation

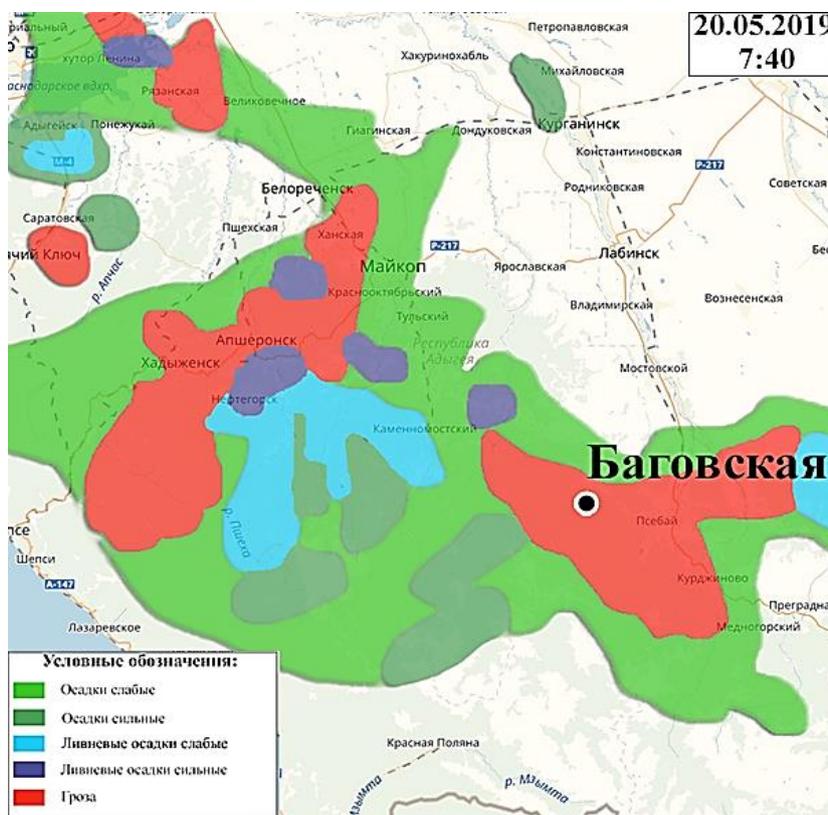


Рис. 5. Распределение облачности и поля осадков в районе ст. Баговской 25.05.2019, в 7:40, по данным радарных наблюдений / Fig. 5. Distribution of cloud amount and field precipitation in the area of Bagovskaya village 25.05.2019, in 7:40 am according to radar observation

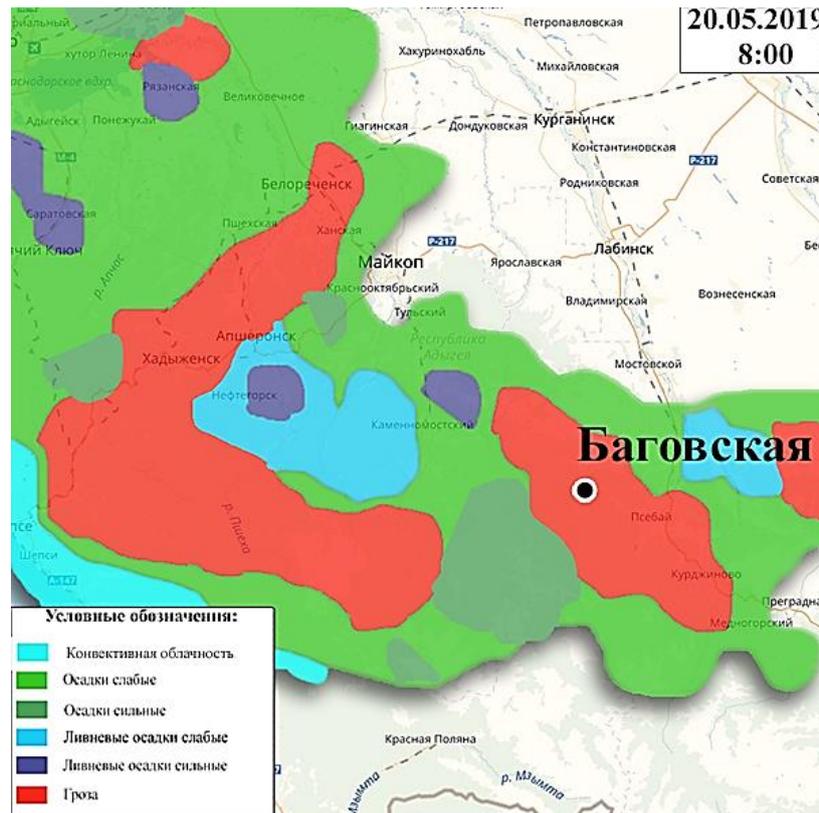


Рис. 6. Распределение облачности и поля осадков в районе ст. Баговской 25.05.2019, в 8:00, по данным радарных наблюдений / Fig. 6. Distribution of cloud amount and field precipitation in the area of Bagovskaya village 25.05.2019 in 8:00 am according to radar observation

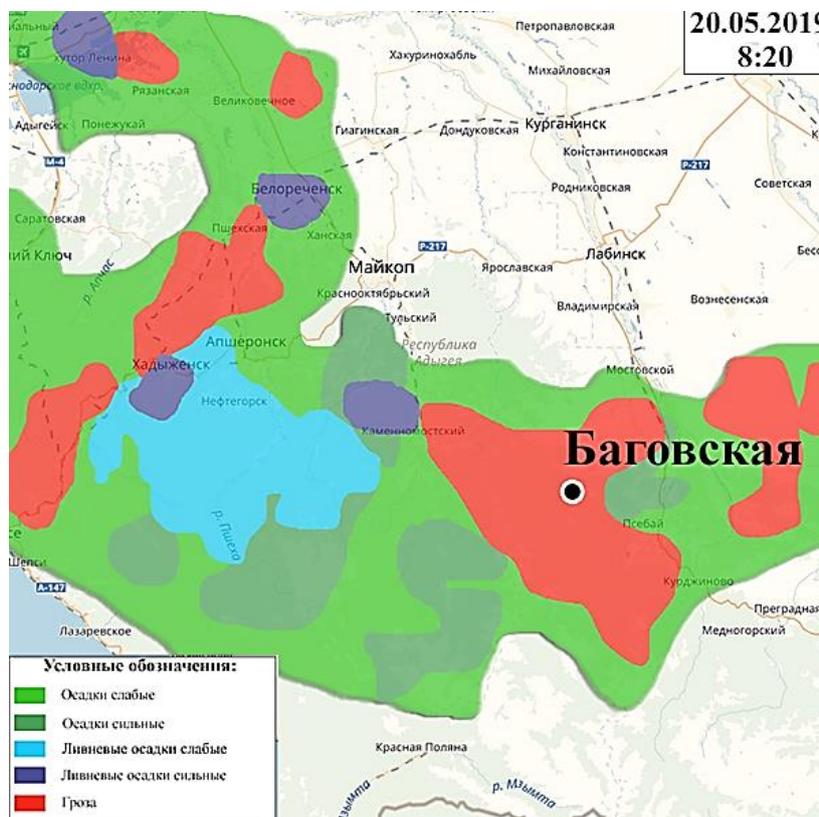


Рис. 7. Распределение облачности и поля осадков в районе ст. Баговской 25.05.2019, в 8:20, по данным радарных наблюдений / Fig. 7. Distribution of cloud amount and field precipitation in the area of Bagovskaya village 25.05.2019 in 8:20 am according to radar observation

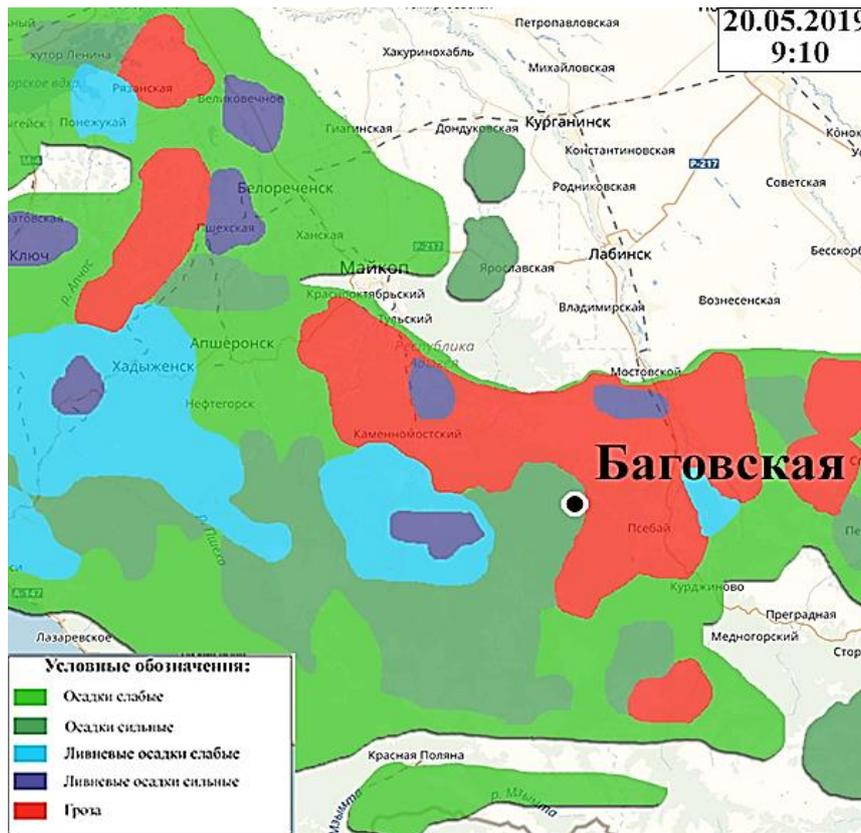
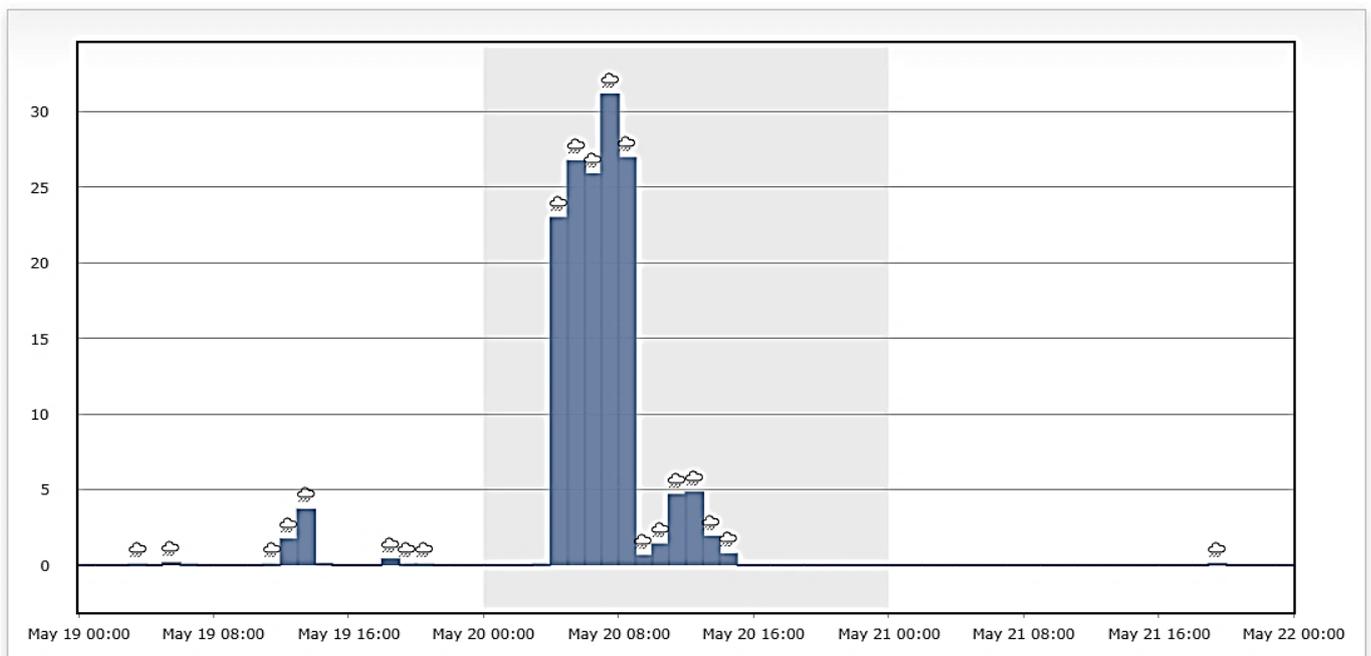


Рис. 8. Распределение облачности и поля осадков в районе ст. Баговской 25.05.2019, в 9:10, по данным радарных наблюдений / Fig. 8. Distribution of cloud amount and field precipitation in the area of Bagovskaya village 25.05.2019 in 9:10 am according to radar observation

Осадки      ▼ АГК-0052  
 Координаты: широта: 44.17169° долгота: 40.60829°



Период: с 2019-05-19 по 2019-05-21

Рис. 9. Распределение осадков по времени в районе ст. Баговской /  
 Fig. 9. Distribution of precipitation by time in the area of Bagovskaya village

### Обсуждение

20 мая осадки выпадали на всей территории юго-восточной части края, но распределение поля осадков было весьма неравномерным. Если в районе ст. Баговской интенсивность достигала 30 мм/ч, то в верховьях рек Ходзь, Бугунж максимальная интенсивность составляла 2–3 мм/ч. Как следствие, максимальный расход по реке Ходзь в ст. Баговской в створе АГК-52 составлял 223 м<sup>3</sup>/с. Интенсивные склоновые стоки поступали в реку на участке 15 км. Расход по реке Гурмай в створе АГК-53 расход составлял 70 м<sup>3</sup>/с. Склоновые стоки, которые обеспечили этот расход, поступали в реку на участке 11 км.

После слияния рек Ходзь и Гурмай, с учетом склоновых стоков, поступивших в реку Ходзь на участке ст. Баговская – ст. Бесленевская протяженностью 15 км, расход воды в реке Ходзь в створе гидропоста в ст. Бесленевской составил 535 м<sup>3</sup>/с. Уровень воды составил 400 см и превысил опасную отметку на 4 см (ОЯ 400 см). Общий объем воды, поступивший в русло реки Ходзь с

площади водосбора 533 км<sup>2</sup> в створе поста в ст. Бесленевской, составил 7 250 000 м<sup>3</sup>. Таким образом, развитие паводка на реке Ходзь происходило в среднем течении, ниже ст. Баговской и было обусловлено сильными осадками, выпавшими в радиусе 15 км от ст. Баговской. Верховья реки Ходзь и её притоков рек Гурмай и Бугунж оказались в зоне слабых и умеренных осадков. По данным автоматизированной краевой сети, реки Ходзь и Гурмай, которые протекают через ст. Баговскую, справились с количеством осадков, выпавших в бассейнах этих рек выше гидропостов. Уровень воды не достиг опасных отметок (рис. 10, 11). При этом выпавшие в районе ст. Баговской осадки были очень интенсивные – в течение 4 ч, каждый час выпадало от 25 до 30 мм. Учитывая, что ст. Баговская расположена в предгорной зоне на высоте 550 м, а высота горных вершин в районе станицы составляет от 628 до 789 м, выпадающие осадки сформировали мощные склоновые стоки.

Подтопление ст. Баговской произошло 20 мая, в 9:20 (рис. 12).

Уровень воды ▼ АГК-0052  
 Координаты: широта: 44.17169° долгота: 40.60829°  
 Уровни: датчика 552.237 м, Н/Я: 549.786 м, О/Я: 550.286 м

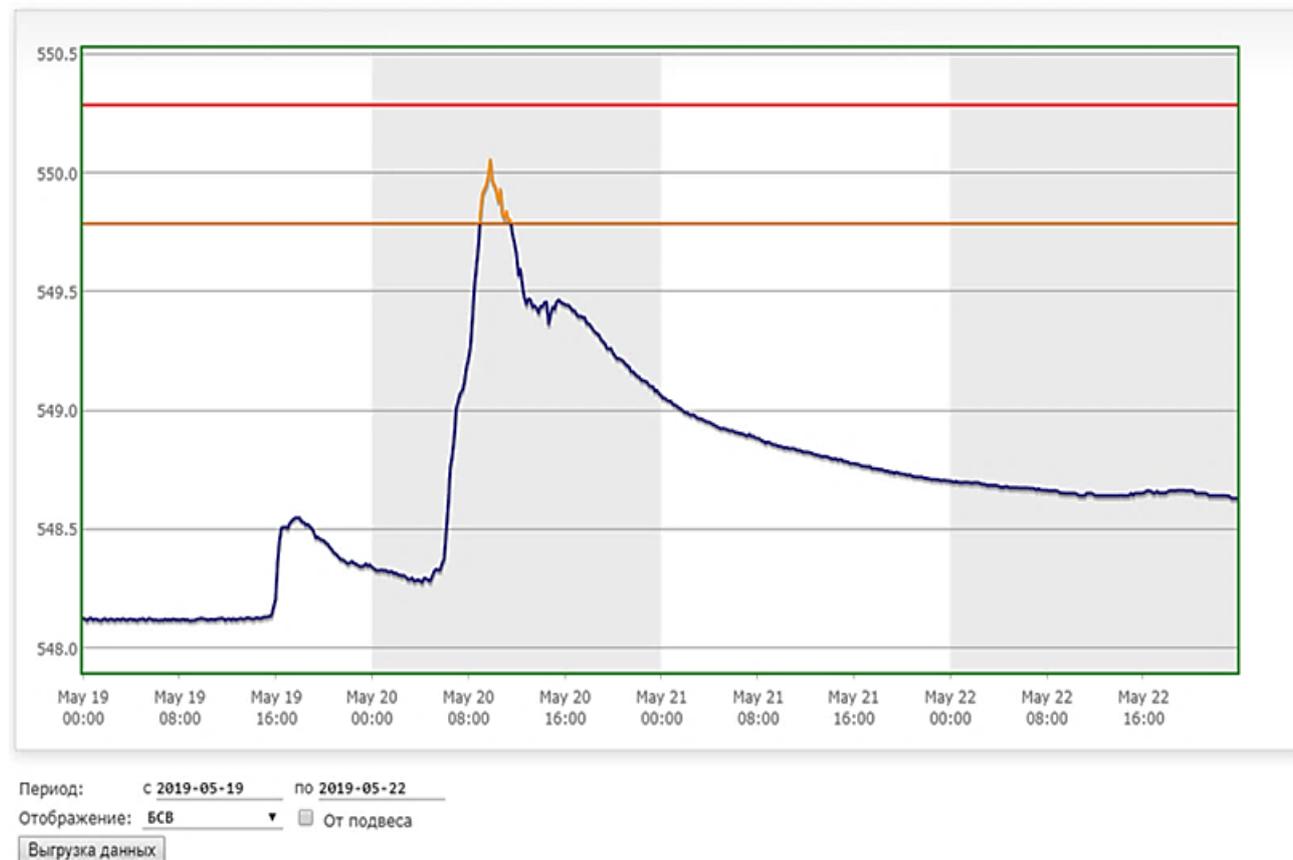
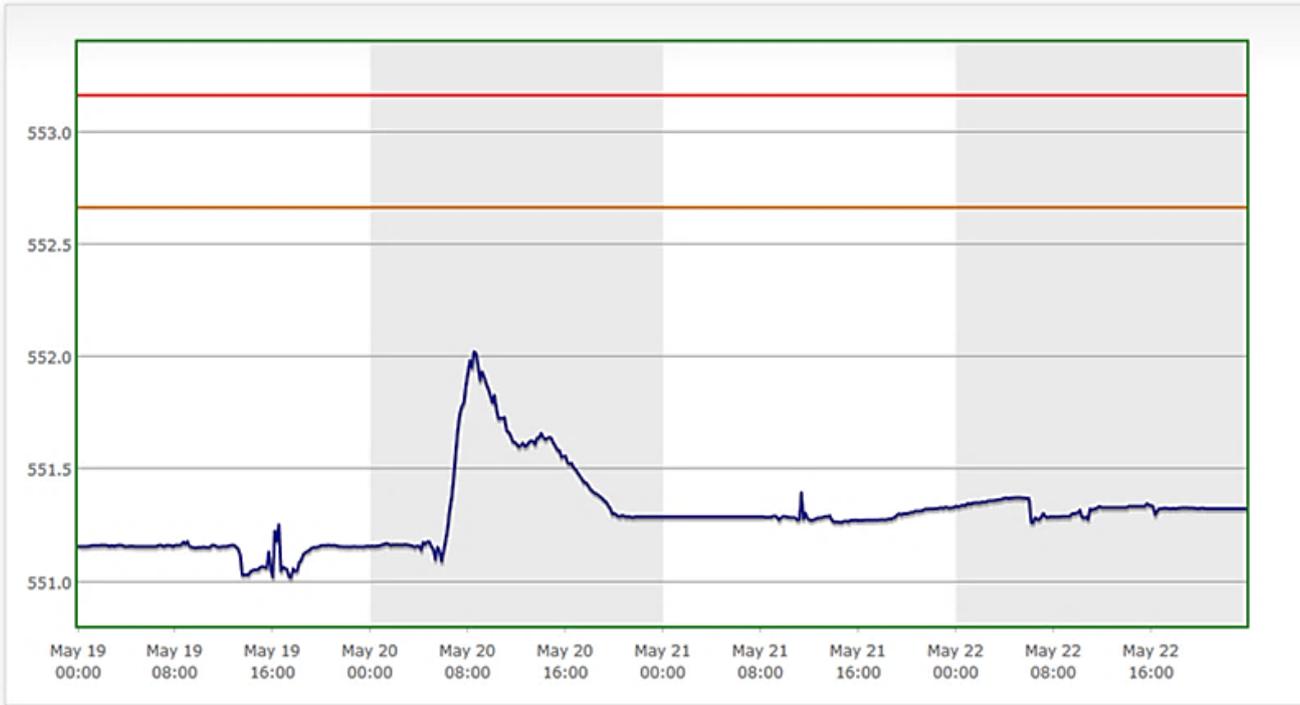


Рис. 10. Ход уровня воды в р. Ходзь 20–22 мая 2019 г. / Fig. 10. The course of the water level in the river Khodz in May 20-22, 2019

Уровень воды  АК-0053  
 Координаты: широта: 44.17183° долгота: 40.60114°  
 Уровни: датчика 554.984 м, Н/Я: 552.664 м, О/Я: 553.164 м



Период: с 2019-05-19 по 2019-05-22  
 Отображение: БСВ   От подвеса

Рис. 11. Ход уровня воды в р. Гурмай 20–22 мая 2019 г. /  
 Fig. 11. The course of the water level in the Gurmay river in May 20-22, 2019

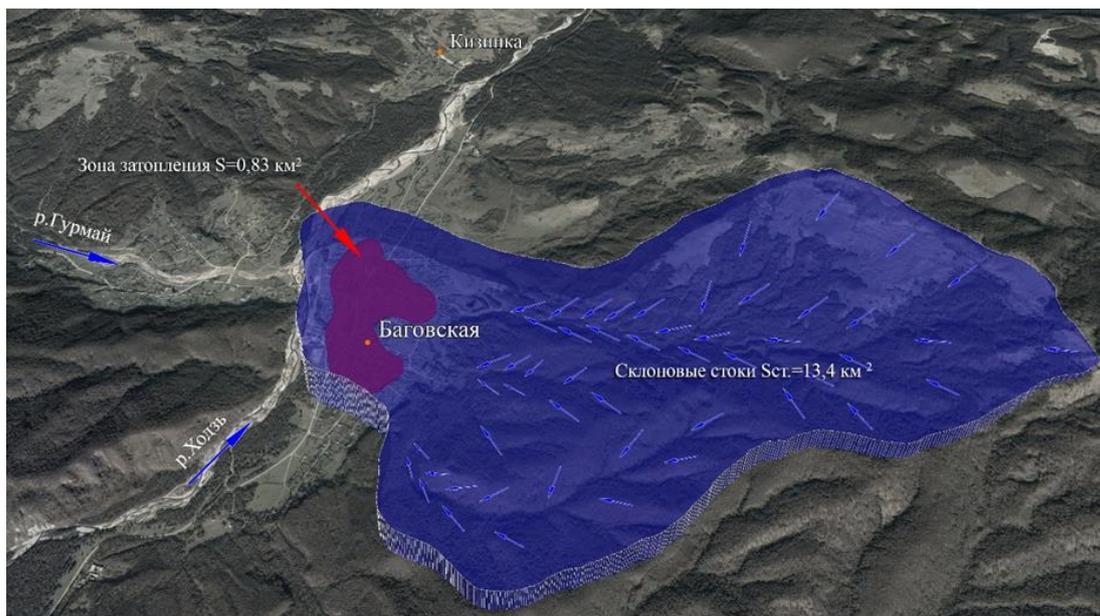


Рис. 12. Площади формирования склоновых стоков и зоны затопления ст. Баговской 20 мая 2019 г. /  
 Fig. 12. Areas of formation of slope drains and flooding zone of Bagovskaya village in May 20, 2019

Подтоплены проезжие части дорог и около 121 придомовой территории на 30 улицах станицы, в одном домовладении уровень воды достигал 10 см. Вода в подтопленных домовладениях сошла в 20:00. Поскольку уровни рек удержались ниже опасных отметок, подтопление станицы произошло в результате стока дождевых вод со склонов, расположенных восточнее ст. Баговской, объём которых составил за 7 ч не менее 1 876 000 м<sup>3</sup>, с восточных склонов общей площадью 13,4 км<sup>2</sup>. Модуль стока при этом был равен 5,5 м<sup>3</sup>/с·км<sup>2</sup>. В период, когда за час выпадало 30 мм осадков, модуль стока достигал 8,3 м<sup>3</sup>/с·км<sup>2</sup>. Максимальный модуль стока составлял 16,7 м<sup>3</sup>/с·км<sup>2</sup>, когда за 10 мин интенсивность осадков составляла более 10 мм.

При этом объёмы воды с западных склонов поступали в реки Ходзь и Гурмай и не участвовали в подтоплении станицы.

Объём воды, которая привела к подтоплениям домов в ст. Баговской на площади 0,83 км<sup>2</sup> на высоту 10 см, составил 8300 м<sup>3</sup>.

Трансформация склоновых стоков во времени приведена на рис. 12. Максимальная площадь стекания составила 13,4 км<sup>2</sup> и приходится на период 04:00–08:00 (мск). С уменьшением интенсивности осадков, площадь стекания сокращается. К 9:00 (мск) она уже составляла 0,83 км<sup>2</sup> и была локализована на территории станицы. Высокий уровень воды в реке и продолжающийся, хотя и значительно ослабленный сток со склонов не позволили быстро сойти воде с территории станицы, и вода оставалась в домах порядка 11 ч.

### Выводы

В случае развития ЭЦМ 8а на территории края возрастает вероятность выпадения интенсивных осадков, интенсивность которых в предгорной зоне может достигать более 100 мм/сут.

Осадки, как правило, носят площадный характер, но при этом распределение поля осадков неравномерно. В случае выпадения основных осадков в высотной зоне 300–700 м реки справляются с пропуском дождевых вод, и подтопление населенных пунктов происходит стоками, поступающими с окружающих склонов.

В случае интенсивности осадков 10 мм/10 мин модуль стока составляет 16,7 м<sup>3</sup>/с·км<sup>2</sup>.

При смещении интенсивных осадков в высотную зону более 1000 м происходит формирование паводка на реках и водотоках. В этом случае подтопление населенных пунктов будет происходить сначала в результате стекания склоновых стоков, а

затем в результате подъема уровня воды в реке выше опасных отметок.

### Литература

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации «Общее резюме» / под общ. ред. А.В. Фролова. М. : Росгидромет, 2014.
2. Ткаченко Ю.Ю., Денисов В.И. Возрастание роли локальных синоптических процессов на формирование паводков на горных реках Краснодарского края // Экологические проблемы. Взгляд в будущее: сб. тр. VIII Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. Ю.А. Федорова. Ростов н/Д.; Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2017. С. 423–426.
3. Ткаченко Ю.Ю., Денисов В.И. Формирование новых закономерностей осадков в теплый и холодный периоды на территории Краснодарского края // Экологические проблемы. Взгляд в будущее: сб. тр. VIII Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. Ю.А. Федорова. Ростов н/Д.; Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2017. С. 427–431.
4. Ткаченко Ю.Ю., Перов Е.А., Денисов В.И. Атлас опасных природных явлений Краснодарского края. Ростов н/Д.; Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2018. 160 с.
5. Гидрометцентр России. О погоде из первых рук. URL: <https://meteoinfo.ru/categ-articles/92-circulation-review-new/16140-osnovnye-osobennosti-atmosfernoj-tsirkulyatsii-i-pogody-v-severnom-olusharii-v-mae-2019-goda> (дата обращения: 20.06.2019).
6. Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому / отв. ред. А.Б. Шмакин. М. : Воентехиздат, 2009. 372 с.
7. Кононова Н.К. Основы типизации циркуляции атмосферы Северного полушария по методу Б.Л. Дзердзеевского. URL: <http://atmospheric-circulation.ru/osnovy-tipizatsii/> (дата обращения: 07.09.2019).

### References

1. *Second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation "General summary"*. A.V. Frolov (Ed.). Moscow, Rosgidromet Press, 2014. (in Russian).
2. Tkachenko Yu.Yu., Denisov V. I. (2017). Increasing role of local synoptic processes on the formation of floods on mountain rivers of the Krasnodar territory. *Environmental problem. Looking into the future. Collection of Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference*. Yu.A. Fedorov (Ed.). Rostov-on-Don, Taganrog, SFU Press, pp. 423–426. (in Russian).

3. Tkachenko Yu.Yu., Denisov V. I. (2017). Formation of new regularities of precipitation in warm and cold periods on the territory of the Krasnodar territory. *Environmental problem. Looking into the future. Collection of Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference*. Yu.A. Fedorov (Ed.). Rostov-on-Don, Taganrog, SFU Press, pp. 427-431. (in Russian).

4. Tkachenko Yu.Yu., Perov E.A., Denisov V.I. (2018). *Atlas of dangerous natural phenomena of the Krasnodar territory*. Rostov-on-Don, Taganrog, SFU Press, 160 p. (in Russian).

5. *Hydrometeorological Center of Russia. About the weather first-hand*. Available at: [https://meteo-](https://meteo-oinfo.ru/categ-articles/92-circulation-review-new/16140-osnovnye-osobennosti-atmosfernoj-tsirkulyatsii-i-pogody-v-severnom-polusharii-v-mae-2019-goda)

[oinfo.ru/categ-articles/92-circulation-review-new/16140-osnovnye-osobennosti-atmosfernoj-tsirkulyatsii-i-pogody-v-severnom-polusharii-v-mae-2019-goda](https://meteo-oinfo.ru/categ-articles/92-circulation-review-new/16140-osnovnye-osobennosti-atmosfernoj-tsirkulyatsii-i-pogody-v-severnom-polusharii-v-mae-2019-goda) (accessed June 20, 2019). (in Russian).

6. Kononova N.K. (2009). *Classification of circulatory mechanisms of the Northern hemisphere according to B.L. Dzerdzevsky*. A.B. Shmakin (Ed.). Moscow, Voentehizdat Publ., 372 p. (in Russian).

7. Kononova N. K. *Bases of typification of the circulation of the atmosphere of the Northern hemisphere by the method of B. L. Dzerdzevsky*. Available at: <http://atmospheric-circulation.ru/osnovy-tipizacii/> (accessed September 7, 2019). (in Russian).

---

*Поступила в редакцию / Received*

*18 июля 2020 г. / July 18, 2020*

---

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ****BIOLOGICAL SCIENCES**

УДК 631.46; 502.7; 574.2; 791.82

DOI 10.18522/1026-2237-2020-3-91-97

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕТОДОВ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ПОЧВ  
В ВОЛЬЕРАХ РОСТОВСКОГО-НА-ДОНУ ЗООПАРКА\***© 2020 г. А.А. Гобарова<sup>1</sup>, А.В. Жадобин<sup>2</sup>, К.Ш. Казеев<sup>1</sup>, А.Н. Федоренко<sup>1</sup>, С.И. Колесников<sup>1</sup><sup>1</sup>Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия,<sup>2</sup>Ростовский-на-Дону зоопарк, Ростов-на-Дону, Россия**COMPARATIVE EVALUATION OF METHODS IN MONITORING SOIL  
IN VOLLEYERS OF ROSTOV-ON-DON ZOO**A.A. Gobarova<sup>1</sup>, A.V. Zhadobin<sup>2</sup>, K.Sh. Kazeev<sup>1</sup>, A.N. Fedorenko<sup>1</sup>, S.I. Kolesnikov<sup>1</sup><sup>1</sup>Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia,<sup>2</sup>Rostov-on-Don Zoo, Rostov-on-Don, Russia

Гобарова Анна Александровна – студентка, кафедра экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, пр. Стачки, 194/1, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: gobarova@gmail.com

Anna A. Gobarova - Student, Department of Ecology and Nature Management, Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Stachki Ave, 194/1, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: gobarova@gmail.com

Жадобин Александр Васильевич – директор Ростовского-на-Дону, зоопарка, ул. Зоологическая, 3, г. Ростов-на-Дону, 344039, Россия, e-mail: zoopark-rostov@mail.ru

Alexander V. Zhadobin - Director of the Rostov-on-Don Zoo, Zoologicheskaya St., 3, Rostov-on-Don, 344039, Russia, e-mail: zoopark-rostov@mail.ru

Казеев Камил Шагидулович – доктор биологических наук, профессор, кафедра экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, пр. Стачки, 194/1, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: kamil\_kazeev@mail.ru

Kamil Sh. Kazeev - Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Ecology and Nature Management, Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Stachki Ave, 194/1, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: kamil\_kazeev@mail.ru

Федоренко Анастасия Николаевна – студентка, кафедра экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, пр. Стачки, 194/1, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: Pushok.mur@yandex.ru

Anastasia N. Fedorenko - Student, Department of Ecology and Nature Management, Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Stachki Ave, 194/1, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: Pushok.mur@yandex.ru

Колесников Сергей Ильич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, пр. Стачки, 194/1, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: kolesnikov@sfedu.ru

Sergey I. Kolesnikov - Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Ecology and Nature Management, Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Stachki Ave, 194/1, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: kolesnikov@sfedu.ru

\* Исследование выполнено при государственной поддержке ведущей научной школы Российской Федерации (НШ-2511.2020.11).

В результате трехлетних наблюдений установлены различия в эколого-биологическом состоянии почв разных функциональных зон Ростовского-на-Дону зоопарка. В 2017–2020 гг. исследовали 12 участков, включая вольеры с птицами, различными копытными, рекреационную площадку и парковую зону зоопарка. Животные оказывают значительное воздействие на почвенный покров в разных вольерах. Оно зависит от величины и количества животных, их размера, площади вольеров. Выявлено влияние копытных животных на нарушение почвенно-растительного покрова, структуры и плотности сложения почв. При диагностике и мониторинге почв зоопарка было опробовано несколько десятков параметров, отражающих разные аспекты экологического состояния почв. В результате установлен набор из нескольких показателей, обладающих высокой чувствительностью и информативностью к воздействию животных в вольерах. Из физических показателей рекомендовано определение плотности сложения почв и структурно-агрегатного состава, из показателей биологической активности хорошо проявили себя ферменты уреазы и фосфатазы. Данные корреляционного анализа свидетельствуют о зависимости экологического состояния почв от нагрузки животных в вольерах.

**Ключевые слова:** почвенный покров, экологическое состояние, биоиндикация, ферментативная активность, деградация.

As a result of three years of research, differences in the ecological and biological state of soils of different functional zones of the Rostov-on-Don Zoo have been established. In 2017-2020 investigated 12 sites, including aviaries with birds, various ungulates, a recreational area and a park zone of the zoo. The soil cover in various enclosures is significantly affected by animals. It depends on the size and number of animals, their size, as well as the area of the enclosures. A significant effect of ungulates on the violation of the soil and vegetation cover, the structure and density of soil composition in the enclosures was revealed. When diagnosing and monitoring the soils of the zoo, several dozen parameters were tested, reflecting different aspects of the ecological state of the soils. As a result, a set of several indicators was established with high sensitivity and information content to the effects of animals in aviaries. From physical indicators, it is recommended to determine the density of soil addition and structurally-aggregate composition, from the indicators of biological activity, urease and phosphatase enzymes showed themselves well. Correlation analysis data indicate the dependence of the ecological state of soils on the load of animals in the enclosures.

**Keywords:** soil cover, ecological state, bioindication, enzymatic activity, degradation.

## Введение

Неотъемлемой частью рекреационной зоны любого большого города является зоопарк. Цель его создания – сохранение и размножение животных, их демонстрация посетителям. В зоопарках, аккредитованных Ассоциацией зоопарков и аквариумов, насчитывается около 750 000 животных, представляющих 6000 видов [1]. Для эффективно выполнения функций зоопарка необходимо обеспечить оптимальные условия обитания для каждого из видов. Неправильно подобранная площадь вольера приводит к скученности животных, что негативно сказывается на среде обитания, в том числе посредством их влияния на почвенный покров территории. Вследствие выделения животными отходов жизнедеятельности в почвах зоопарков могут накапливаться вредные вещества и патогенная микрофлора [2]. Возникает необходимость мониторинга эколого-биологического состояния почв вольеров для своевременного обнаружения ухудшения условий обитания животных в неволе.

Исследования в данной области проводили ранее в Московском зоопарке, где было выявлено значительное влияние животных на физические

показатели почв [3]. Близкой к данной теме является оценка пастбищной дигрессии на различных территориях. Исследования почв северного Китая показали, что рост и развитие растений на территории, отведенной для пастбищных угодий, прямо зависит от режима выпаса скота [4]. Отмечено влияние домашних животных на накопление питательных веществ в почве [5]. Для оценки эколого-биологического состояния почв необходимо подбирать наиболее информативные показатели, учитывая существующие условия. Целесообразно определить узкий набор параметров, которые объективно отражают уровень угнетения почвенного покрова [6]. Подбор показателей проводится с учетом существующих условий исследуемой среды обитания и необходимости отражения физических, химических и биологических свойств почв. Количество показателей необходимо свести к минимуму для снижения сложности, трудоемкости и дороговизны определения [7].

Ранее были выявлены существенные различия физических и биологических свойств почв разных функциональных зон зоопарка [8–10]. Цель работы – подбор информативных показателей для дальнейшего мониторинга экологического состояния почв в Ростовском-на-Дону зоопарке.

## Объект и методы исследований

Работы проводили в 2017–2019 гг. в рамках эколого-биологических исследований состояния почв вольеров. Для исследований выбраны вольеры с зебрами Чапмана (*Equus burchelli chapmani*), ламой (*Lama glama*), голубыми баранами (*Pseudois nayaur*), серыми журавлями (*Grus grus*), павлинами (*Pavo cristatus*), казарками (*Branta canadensis*) и другими птицами, верблюдом двугорбым (*Camelus bactrianus*), благородными оленями (*Cervus canadensis sibiricus*), азиатскими буйволами (*Bubalus bubalis arnee*), носорогом (*Ceratotherium simum*), жирафом Ротшильда (*Giraffa camelopardalis rothschildi*), домашними ослами (*Equus asinus asinus*). Также изучали участок детской площадки, сильно нарушенный рекреацией, и контрольный участок парковой зоны. Определяли физические, химические, физико-химические показатели и биологические свойства почв. Температуру почв измеряли послойно электронным термометром HANNA CHEMTEMP. Температуру поверхности почв – пирометром в 10-кратной повторности, влажность почвы в полевых условиях – влагомером Fieldscout TDR 100 в 10-кратной повторности. Плотность сложения почвы определяли объемно-весовым методом, твердость почв (сопротивление пенетрации) в полевых условиях – с помощью пенетromетра EJKELKAMP в слое 0–50 см с интервалом 5 см в 10-кратной повторности. Лабораторно-аналитические исследования проведены в лабораториях Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета в 3-кратной повторности в соответствии с методологией и методами, применяемыми для оценки эколого-биологического состояния почв [11]. Общий гумус определяли методом И.В. Тюрина в модификации Никитина, реакцию почвенной среды (рН) – потенциометрическим методом, общую численность бактерий – методом люминесцентной микроскопии, обилие бактерий *p. Azotobacter* – методом комочков обрастания на среде Эшби. О ферментативной активности почв судили по активности разных классов ферментов: оксидоредуктаз (каталаза, дегидрогеназы, пероксидаза) и гидролаз ( $\beta$ -фруктофуранозидаса (инвертаза), фосфатаза и уреазы). Для анализа данных был проведен дисперсионный и корреляционный анализ.

## Результаты и обсуждение

Важным составляющим среды обитания является почва, от которой зависит ряд функций, обеспечивающих условия жизни организмов. В условиях зоопарка на почву вольеров непосредственно

влияют животные. Нерациональное распределение вольеров между ними может создать условия, неблагоприятные для протекания различных процессов в почве за счет ее переуплотнения, разрушения структуры и вытаптывания растительности. Для определения нагрузки на почвенный покров разных участков был сделан расчет с учетом величины и количества животных, их размера и площади вольеров. На рис. 1 представлена нагрузка, осуществляемая непосредственно животными на почвы в вольерах зоопарка. Ее рассчитали исходя из веса животных (кг), приходящегося на единицу площади вольера ( $m^2$ ). Наибольшая нагрузка на почвенный покров была в вольерах с азиатскими буйволами и носорогом, минимальная – с птицами. Большое значение имеют активность животного, а также непосредственное давление копыт на почву, которое зависит от массы животного и размера его копыт.

Степень нарушения почвенного покрова из-за воздействия на него животных в первую очередь отражают физические показатели – плотность сложения, влажность и температура почвы (рис. 2). В ходе дисперсионного анализа были отмечены достоверные различия для почв различных участков, слабая отрицательная корреляционная связь между создаваемой животными нагрузкой и температурой, влажностью почв в вольерах. Дегградация растительности и уплотнение почвенного покрова наиболее сильно выражены в вольерах крупных копытных животных. Сильное изменение внешнего состояния почвенного покрова и растительности отмечено вследствие содержания в них оленей и зебр. Максимальная дегградация поверхности почв выявлена в вольере с буйволами. Все эти животные оказывают достаточно существенное физическое влияние на почвы вольеров, растительный покров и уплотнение почв вследствие их высокой суточной активности и морфологических особенностей строения копыт [12].

Изменения водно-воздушного режима почвы приводят также к изменению интенсивности протекания биологических процессов. Таким образом, биохимические процессы в почве служат индикатором её экологического состояния [13–15]. Наиболее значимыми ферментами для исследования почв зоопарка являются уреазы и фосфатазы, так как с выделениями животных в почву попадает большое количество субстрата, который активизирует данные ферменты [16]. Также они отражают вовлеченность почв в процессы круговорота азота и фосфора. Активность уреазы на исследуемых участках достоверно различна в почвах в разных вольерах, что позволяет применять ее в дальнейших исследованиях.

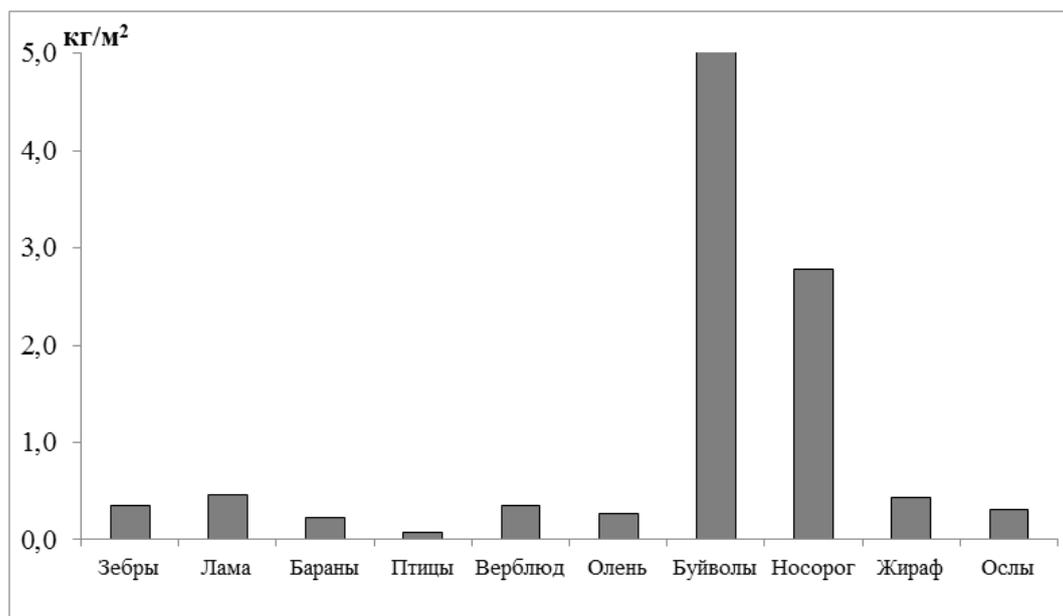


Рис. 1. Нагрузка животных на почвенный покров в вольерах / Fig. 1. The load of animals on the soil cover in aviaries

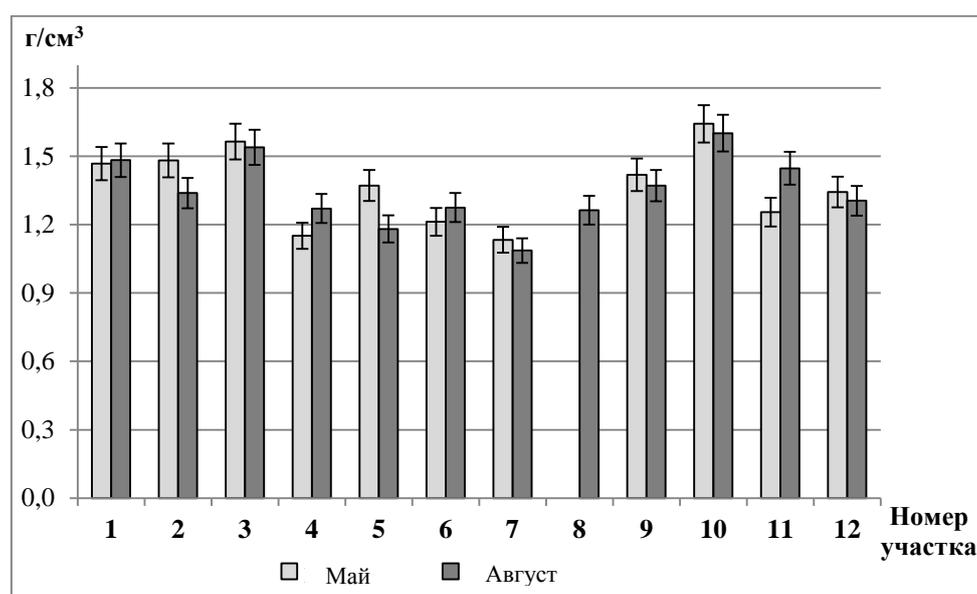


Рис. 2. Плотность сложения почв зоопарка, 2019 г. / Fig. 2. The density of soil composition of the zoo, 2019

Отмечена тесная корреляционная связь между нагрузкой животных на почвенный покров вольера и активностью уреазы ( $r=0,74$ ). Результаты активности фосфатазы различаются в зависимости от сезона, в который отбиралась почва. На рис. 3 приведены результаты исследования активности данного фермента, отражающие наличие достоверных различий между полученными значениями в разных вольерах. Значения варьировали в преде-

лах 0,15–0,25 мг  $P_2O_5/10$  г/ч. Корреляционная связь данного фермента с нагрузкой в различные сроки показывает заметную прямую связь ( $r=0,68$ ) в мае 2019 г. В августе того же года достоверной прямой связи установлено не было. Наличие таких результатов подтверждает факт высокого варьирования активности фермента в зависимости от различных факторов, в том числе от количества повторностей в опыте [11].

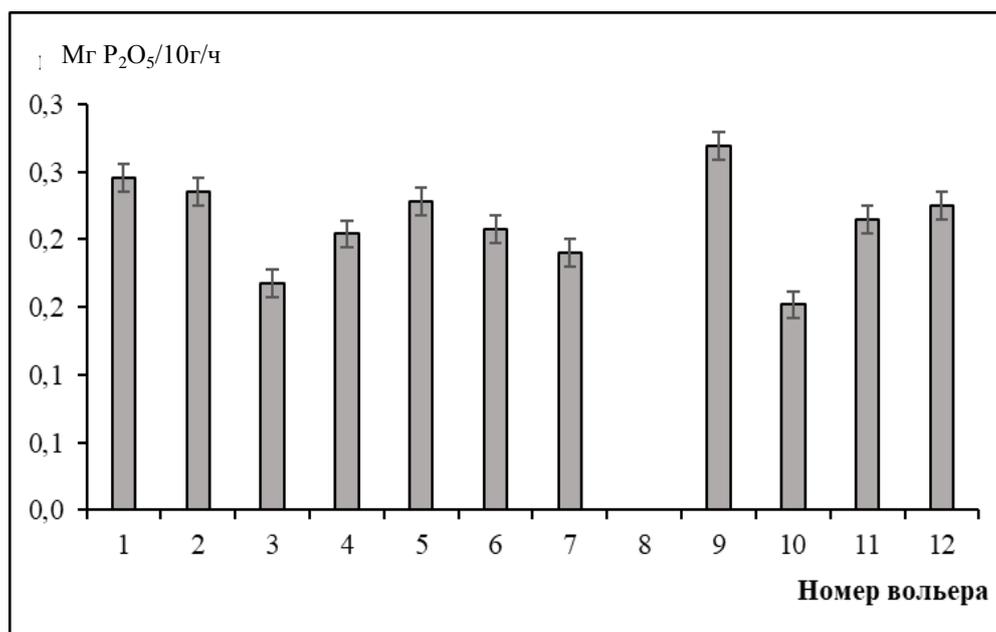


Рис. 3. Активность фосфатазы в почвах зоопарка, май 2019 г.: 1 – зебры Чапмана; 2 – лама; 3 – голубые бараны; 4 – птицы; 5 – верблюд двугорбый; 6 – детская площадка; 7 – контроль; 8 – марал; 9 – азиатские буйволы; 10 – белый носорог; 11 – жираф Ротшильда; 12 – домашние ослы / Fig. 3. Phosphatase activity in the soils of the zoo, May 2019 : 1 - Chapman zebras; 2 - lama; 3 - blue sheep; 4 - birds; 5 - two-humped camel; 6 - a playground; 7 - control; 8 - maral; 9 - Asian buffalo; 10 - white rhino; 11 - Rothschild's giraffe; 12 - donkeys

Полученные результаты согласуются с установленными ранее данными об информативности применения некоторых физических параметров, азотфиксирующих бактерий и фитотоксичности для оценки степени деградации почв в Ростовском зоопарке [8, 10, 16]. При этом аналогичные исследования в Московском зоопарке показали меньшую информативность биологических параметров [3, 17]. Между этими зоопарками существуют различия в интенсивности протекания биологических процессов в почве, так как отличаются их генезис, состав и свойства. Так, в почвах Московского зоопарка была установлена низкая биологическая активность с помощью методов определения интенсивности субстрат-индуцированного дыхания и биодеструкции лигноцеллюлозных соединений, что исследователи связали с возможным техногенным или микотоксинным загрязнением [17, 18]. В исследованиях почв в Ростовском зоопарке показана высокая биологическая активность практически на всех мониторинговых площадках. Связано это с исходно высокой биологической активностью черноземов по сравнению со стратифицированными урбаногемами Московского зоопарка. Черноземы обладают высокой устойчивостью к разным видам деградационных воздействий [13, 15].

Не все используемые параметры отражают изменения почв разных функциональных зон Ростовского зоопарка. Ряд показателей слабо реагировал на высокую нагрузку в вольерах. Содержание гумуса, реакция среды, валовой состав, активность некоторых оксидоредуктаз и некоторые другие в большей степени зависят от внесения в почву мелиорантов. Значительное количество речного песка, внесенного для оптимизации физических свойств почв в вольерах с некоторыми копытными, существенно влияет на эти параметры.

### Заключение

При сравнительной оценке эффективности разных методов биодиагностики выявлен ряд перспективных показателей для мониторинга экологического состояния почв в Ростовском-на-Дону зоопарке. Среди десятков используемых показателей наиболее информативны и чувствительны плотность сложения, структурно-агрегатный состав, а также активность ферментов цикла азота и фосфора. Эти показатели позволили диагностировать нарушение экологического состояния почв в вольерах с высокой нагрузкой из-за содержащихся в них животных.

## Литература

1. Association of Zoos and Aquariums. URL: <http://www.aza.org/> (дата обращения: 17.10.2016).
2. Gustin P.N., Kelley D.C. A survey of zoo aviaries for the presence of *Histoplasma capsulatum* and *Cryptococcus neoformans* // *Mycopathologia et Mycologia applicata*. 1971. Vol. 45 (2). P. 93–102.
3. Юркова Н.Е. Экологическое состояние и функционирование почв Московского зоопарка : дис. ... канд. биол. наук. М., 2008. 165 с.
4. Zhang T., Li F.Y., Shi C., Li Y., Tang S., Baoyin T. Enhancement of nutrient resorption efficiency increases plant production and helps maintain soil nutrients under summer grazing in a semi-arid steppe // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2020. Vol. 292.
5. Satoa C.F., Stronga C.L., Hollidaya P., Floranceab D., Piersonc J., Lindenmayer D.B. Environmental and grazing management drivers of soil condition // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2019. Vol. 276. P. 1–7.
6. Горобцова О.Н., Улигова Т.С., Темботов Р.Х., Хакунова Е.М. Оценка уровня биологической активности агрогенных и естественных черноземов Кабардино-Балкарии // *Почвоведение*. 2017. № 5. С. 614–623.
7. Baridon J.E., Casas R.R. Quality indicators in subtropical soils of Formosa, Argentina: Changes for agricultural-turization process // *International Soil and Water Conservation Research*. 2014. Vol. 2, № 4. P. 13–24.
8. Казеев К.Ш., Жадобин А.В., Лесина А.Л., Александров А.А., Бакаева Ю.С., Кравцова Н.Е., Колесников С.И. Экологическое состояние почв вольеров с животными и птицами Ростовского зоопарка // *Агро-ЭкоИнфо*. 2018. № 3.
9. Федоренко А.Н., Гобарова А.А., Жадобин А.В., Казеев К.Ш. Варьирование обилия азотфиксирующих бактерий в почвах территории Ростовского зоопарка // *Актуальные проблемы экологии и природопользования: сб. материалов. Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во Южн. фед. ун-та*, 2018. С. 106–108.
10. Жадобин А.В., Казеев К.Ш., Лесина А.Л., Александров А.А., Казеев Д.К., Колесников С.И. Оценка экологического состояния почв Ростовского зоопарка // *Вестн. Пермского национального исследовательского политехнического ун-та. Прикладная экология. Урбанистика*. 2019. № 1 (33). С. 131–141.
11. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2016. 356 с.
12. Жизнь животных. Т. 6: Млекопитающие, или звери. М.: Просвещение, 1971. 627 с.
13. Колесников С.И., Тимошенко А.Н., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В., Мясникова М.А. Оценка экотоксичности наночастиц меди, никеля и цинка по биологическим показателям чернозема // *Почвоведение*. 2019. № 8. С. 986–992.
14. Даденко Е.В., Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Оценка применимости показателей

ферментативной активности в биодиагностике и мониторинге почв // *Поволжский экол. журн*. 2013. № 4. С. 385–393.

15. Казеев К.Ш., Козунь Ю.С., Колесников С.И. Использование интегрального показателя для оценки пространственной дифференциации биологических свойств почв юга России в градиенте аридности климата // *Сиб. экол. журн*. 2015. Т. 22, № 1. С. 112–120.

16. Kazeev K.Sh., Zhadobin A.V., Barbashev A.I., Akimenko Y.V., Kolesnikov S.I. Ecological State of the Soil at the Rostov-on-Don Zoo // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017. Conference Proceedings. June 29 – July 5, 2018. Albena, Bulgaria, 2018. Vol. 18. P. 119–126.

17. Юркова Н.Е., Юрков А.М., Смагин А.В. Оценка функционального состояния почв Московского зоопарка по микробиологическим показателям // *Вестн. Московского ун-та. Почвоведение*. 2008. № 3. С. 39–44.

18. Юркова Н.Е., Юрков А.М., Смагин А.В. Экологическое состояние почвенных объектов Московского зоопарка // *Почвоведение*. 2009. № 3. С. 373–380.

## References

1. Association of Zoos and Aquariums. Available at: <http://www.aza.org/> (accessed October 17, 2016).
2. Gustin P.N., Kelley D.C. (1971). A survey of zoo aviaries for the presence of *Histoplasma capsulatum* and *Cryptococcus neoformans*. *Mycopathologia et Mycologia applicata*, vol. 45 (2), pp. 93-102.
3. Yurkova N.E. (2008). *Ecological state and functioning of soils of the Moscow zoo*. Dissertation Thesis. Moscow, 165 p. (in Russian).
4. Zhang T., Li F.Y., Shi C., Li Y., Tang S., Baoyin T. (2020). Enhancement of nutrient resorption efficiency increases plant production and helps maintain soil nutrients under summer grazing in a semi-arid steppe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 292.
5. Satoa C.F., Stronga C.L., Hollidaya P., Floranceab D., Piersonc J., Lindenmayer D.B. (2019). Environmental and grazing management drivers of soil condition. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 276, pp. 1-7.
6. Gorobtsova O.N., Uligova T.S., Tembotov R. H., Khakunova E. M. (2017). Assessment of the level of biological activity of agrogenic and natural chernozems of Kabardino-Balkaria. *Pochvovedenie*, No. 5, pp. 614-623. (in Russian).
7. Baridon J. E., Casas R. R. (2014). Quality indicators in subtropical soils of Formosa, Argentina: Changes for agricultural-turization process. *International Soil and Water Conservation Research*, vol. 2, No. 4, pp. 13-24.
8. Kazeev K.Sh., Zhadobin A.V., Lesina A. L., Aleksandrov A.A., Bakaeva Yu. S., Kravtsova N.E., Kolesnikov S. I. (2018). Ecological state of soils of aviaries with animals and birds of the Rostov zoo. *AgroEkoInfo*, No. 3. (in Russian).

9. Fedorenko A.N., Gobarova A.A., Zhadobin A.V., Kazeev K.Sh. (2018). Variation of the abundance of nitrogen-fixing bacteria in the soils of the Rostov zoo territory. *Actual problems of ecology and nature management: collection of materials*. Rostov-on-Don, Taganrog, Southern Federal University Press, pp. 106-108. (in Russian).
10. Zhadobin A.V., Kazeev K.Sh., Lesina A.L., Aleksandrov A.A., Kazeev D.K., Kolesnikov S. I. (2019). Assessment of the ecological state of the soils of the Rostov zoo. *Vestn. Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo un-ta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika*, No. 1 (33), pp. 131-141. (in Russian).
11. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Akimenko Yu.V., Dadenko E.V. (2016). *Methods of biodiagnostics of terrestrial ecosystems*. Rostov-on-Don, SFU Press, 356 p. (in Russian).
12. *Animal Life*. (1971). Vol. 6: Mammals, or animals. Moscow, Prosveshchenie Publ., 627 p. (in Russian).
13. Kolesnikov S.I., Timoshenko A.N., Kazeev K.Sh., Akimenko Yu.V., Myasnikova M.A. (2019). Assessment of ecotoxicity of copper, nickel and zinc nanoparticles by biological indicators of chernozem. *Pochvovedenie*, No. 8, pp. 986-992. (in Russian).
14. Dadenko E. V., Denisova T. V., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S. I. (2013). Assessment of the applicability of indicators of enzymatic activity in soil biodiagnostics and monitoring. *Povolzhskii ekol. zhurn*, No. 4, pp. 385-393. (in Russian).
15. Kazeev K.Sh., Kozun Yu.S., Kolesnikov S.I. (2015). Use of an integral indicator to assess the spatial differentiation of biological properties of soils in the South of Russia in the aridity gradient of the climate. *Sib. ekol. zhurn.*, vol. 22, No. 1, pp. 112-120. (in Russian).
16. Kazeev K.Sh., Zhadobin A.V., Barbashev A.I., Akimenko Y.V., Kolesnikov S.I. (2018). Ecological State of the Soil at the Rostov-on-Don Zoo. *18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017. Conference Proceedings*. June 29 - July 5. Albena, Bulgaria, vol. 18, pp. 119-126.
17. Yurkova N.E., Yurkov A.M., Smagin A.V. (2008). Evaluation of the functional state of soils of the Moscow zoo park by microbiological indicators. *Vestn. Moskovskogo un-ta. Pochvovedenie*, No. 3, pp. 39-44. (in Russian).
18. Yurkova N.E., Yurkov A.M., Smagin A.V. (2009). Ecological state of soil objects of the Moscow zoo. *Pochvovedenie*, No. 3, pp. 373-380. (in Russian).

УДК 598.1 (470.61)

DOI 10.18522/1026-2237-2020-3-98-106

## МОНИТОРИНГ ПРЕСМЫКАЮЩИХСЯ (REPTILIA) НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПОВЕДНИКА «РОСТОВСКИЙ» С СЕРЕДИНЫ XX ВЕКА ДО 2020 ГОДА\*

© 2020 г. Ю.В. Малиновская<sup>1, 2</sup>, В.А. Миноранский<sup>1, 2</sup>, С.И. Колесников<sup>1</sup>, В.И. Даньков<sup>2</sup><sup>1</sup>Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия,<sup>2</sup>Ассоциация «Живая природа степи», Ростов-на-Дону, Россия

## REPTILE NUMBER OBSERVATION ON THE ROSTOV NATURE RESERVE GROUNDS THE MIDDLE OF 20th CENTURY TO 2020

Yu.V. Malinovskaya<sup>1, 2</sup>, V.A. Minoranskiy<sup>1, 2</sup>, S.I. Kolesnikov<sup>1</sup>, V.I. Dankov<sup>2</sup><sup>1</sup>Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia,<sup>2</sup>Association "The Wild Nature of the Steppe", Rostov-on-Don, Russia

Малиновская Юлия Валерьевна – аспирант, кафедра экологии и природопользования, Южный федеральный университет, пр. Стачки, 194/1, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия; научный сотрудник, ассоциация «Живая природа степи», ул. Тельмана, 10, г. Ростов-на-Дону, 344011, Россия, e-mail: priroda.rostov@yandex.ru

Yulia V. Malinovskaya - Postgraduate, Department of Ecology and Natural Resources Management, Southern Federal University, Stachki Ave, 194/1, Rostov-on-Don, 344090, Russia; Researcher, Association "The Wild Nature of the Steppe", Telmana St., 10, Rostov-on-Don, 344011, Russia, e-mail: priroda.rostov@yandex.ru

Миноранский Виктор Аркадьевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, кафедра зоологии, Южный федеральный университет, пр. Стачки, 194/1, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия; председатель ассоциации «Живая природа степи», ул. Тельмана, 10, г. Ростов-на-Дону, 344011, Россия, e-mail: priroda.rostov@yandex.ru

Victor A. Minoranskiy - Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Zoology Department, Southern Federal University, Stachki Ave, 194/1, Rostov-on-Don, 344090, Russia; Deputy Director for Science of the association "The Wild Nature of the Steppe", Telmana St., 10, Rostov-on-Don, 344011, Russia, e-mail: priroda.rostov@yandex.ru

Колесников Сергей Ильич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, кафедра экологии и природопользования, Южный федеральный университет, пр. Стачки, 194/1, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: kolesnikov@sfnu.ru

Sergey I. Kolesnikov - Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Department of Ecology and Natural Resources Management, Southern Federal University, Stachki Ave, 194/1, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: kolesnikov@sfnu.ru

Даньков Василий Иванович – директор, ассоциация «Живая природа степи», ул. Тельмана, 10, г. Ростов-на-Дону, 344011, Россия, e-mail: priroda.rostov@yandex.ru

Vasily I. Dankov - Head of Association "The Wild Nature of the Steppe", Telmana St., 10, Rostov-on-Don, 344011, Russia, e-mail: priroda.rostov@yandex.ru

**Цель работы.** Выяснение изменений в комплексе видов Reptilia на территории заповедника «Ростовский» в XX–XXI в.

**Место и методы исследования.** Заповедник расположен в засушливых восточноевропейских степях. Авторы использовали собственные наблюдения с 1959 г. и публикации по рептилиям. Материалы получены с использованием регулярных маршрутных методов и учета животных на отдельных площадках.

\* Работа подготовлена при финансовой поддержке Фонда грантов Президента Российской Федерации на развитие гражданского общества, проект № 19-2-021564.

**Результаты.** На рассматриваемой территории отмечено 10 видов Reptilia. Начиная с середины XX в. степи испытали глубокие изменения, что оказало большое влияние на рептилий. Создание заповедника положительно отразилось на данной группе. Здесь сохранились *Eremias arguta* Pall., *Coronella austriaca* Laur., *Hierophis caspius* Gmel., *Elaphe sauromates* Pall., *El. dione* Pall. и *Vipera renardi* Christ, включенные в Красную книгу Ростовской области. Интенсификация хозяйственной деятельности в этом районе в последнее десятилетие требует совершенствования природоохранной работы.

**Ключевые слова:** засушливые степи, заповедник «Ростовский», Reptilia, антропогенные факторы, изменения.

To ascertain the changes in complexes of Reptilia species due to human activities on the Rostov Nature Reserve grounds in the 20th-21st centuries.

**Research Location and methods:** There are 10 Reptilia species that habits observed territory. Starting from the middle of 20th century steppes had huge anthropological changes, which had significant impact on reptiles. The Reserve creation had positive contribution to reptile group. In this region were preserved species included in Rostov region red book, such as *Eremias arguta* Pall., *Coronella austriaca* Laur., *Hierophis caspius* Gmel., *Elaphe sauromates* Pall., *El. dione* Pall. u *Vipera renardi* Chris. Intensification of agricultural activities in this region in last decade requires improved environmental work.

**Keywords:** dry steppes, Rostov Nature Reserve, Reptilia, anthropological factors, changes.

## Введение

Заповедник «Ростовский» организован в 1995 г. на юго-востоке европейской части России в засушливых степях Ростовской области (РО). При поддержке ассоциации «Живая природа степи» и иных структур он наладил выполнение возложенных на него функций и включен во Всемирную сеть биосферных резерватов (2008 г.). Они являются эталонными участками, сохраняющими природное биоразнообразие экосистем биосферы, позволяют устанавливать степень нарушенности территорий, находящихся под антропогенным влиянием. Резерваты играют роль площадок для отработки гармоничных форм сосуществования человеческого общества и природных экосистем. Важным направлением их деятельности являются мониторинг экосистем, установление происходящих в них изменений, выяснение причин этих изменений, разработка рекомендаций по оптимизации взаимоотношений человека с природой. В статье показана ситуация с пресмыкающимися на занимаемой заповедником территории за 60 лет и указаны основные влияющие на нее причины.

## Место и методы работы

Заповедник создан 27.12.1995 г. на антропогенно-деградированных землях Кумо-Манычской впадины, на правом берегу озера Маныч-Гудило (оз. М.-Г.). Его площадь 9531,5 га. Состоит он из 4 участков в Орловском и Ремонтненском районах РО. В 2000 г. в Орловском р-не на территории 74 350 га создана охранная зона. Заповедник и его охранная зона, где находятся полевые стационары ЮНЦ РАН и ассоциации, образуют Манычский природный комплекс

(МПК). Сбор материала по рептилиям на этой территории ведется с середины XX в. [1–5]. После создания заповедника рептилий исследовали его сотрудники и специалисты других структур [6–11]. При подготовке этой работы авторы использовали собственные наблюдения на данной территории, ведущиеся с 1959 г., публикации по рептилиям и Летописи природы заповедника с 2003 г. Основные сведения о рептилиях получены с использованием маршрутного метода и учета животных на отдельных площадях.

## Результаты исследования

Ниже приводятся сведения о пресмыкающихся рептилиях, которые были выявлены на территории современного МПК с середины XX в.

**Болотная черепаха (*Emys orbicularis* L.),** по нашим наблюдениям, данным Е.П. Гуськова и др. [4], в 50–60-е гг. XX в. на территории современного МПК из-за практически полного отсутствия пресных водоемов встречалась редко (пруд старый Новоселовский). Вероятно, из-за повышенной солености воды в те годы и до настоящего времени в самом оз. М.-Г. мы её не встречали. С 70–80-х гг. черепахи расселились по каналам, речкам, прудам и стали обычными, местами многочисленными (пруды Иванова, Докторский (17.06.2006, 10 экз. на берегу), Колесникова, Крутик, б. Старикова, Курников лиман (29.04.2012 на 1 км берега – 26 особей (ос.) и масса головастика)). В последнее десятилетие они на МПК широко распространены, но из-за полного или частичного пересыхания и засоления многих водоемов немногочисленны.

**Разноцветная ящурка (*Eremias arguta* Pall.)** встречается очень редко, локально и приурочена к

песчаным биотопам с разреженным травостоем южного отрога Сало-Маньчской гряды с севера МПК (Лысяя гора). Здесь она отмечена нами (18.08.2000, 15.10.2001, 26.09.2003), В.П. Беликом и Т.В. Гайдуковой [7, 8], И.И. Гизатулиным (13.08.2005) [10] и иными зоологами [11]. Вероятно, обитала здесь и в прошлом, но не отмечалась.

**Прыткая ящерица (*Lacerta agilis* L.)** – эврибионтный вид, обитающий в степи, на лугах, в балках, по берегам водоемов, вдоль дорог, в населенных пунктах, других местах. На 15 км маршрута по степи с различным рельефом и антропогенным вмешательством 23–28.06.2005 встречено 18 экз. Предпочитает увлажненные, достаточно затененные растительностью (летом) места. Около пруда ассоциации 22.04.2012 её численность составляла 1–3 ос. на 10 м (длина пруда 1 км). Подобная ситуация здесь наблюдалась 26–28.04.2013, 24–27.04.2014 и в иные годы в весенний период. Как объект питания играет важную роль для полозов, грачей, чаек, крачек, лисиц, иных животных. В середине XX в. была немногочисленным видом, позднее обычным, местами многочисленным, а в последнее десятилетие, несмотря на широкое распространение, отмечена тенденция к снижению её общей численности в ряде мест охранной зоны.

**Желтобрюхий, или каспийский, полоз (*Hierophis caspius* Gmel.)** – широко распространенный вид, наиболее часто наблюдаемый из полозов. Отмечается с марта-апреля (27.03.2017, 02–05.04.2017, 08.03.2020) до октября (31.10.2012) в разных биотопах. Хорошо приспособился к культурному ландшафту. В значительном количестве наблюдается в береговых обрывах оз. М.-Г., нередко – по склонам оз. Грузского, других водоемов, по балкам, около ферм, складов. В пос. Маньч и Волочаевский живет в фундаменте зданий, иногда заползает в дома. В 60–70-е гг. XX в. в окр. пос. Маньч плотность его составляла 3,0–5,0 экз./га, в 80–90-е – 0,2–0,5, в 2004–2012 гг. – 1,0–3,0 [9], в 2017–2020 гг. – 0,5–1,5 экз./га. На некоторых участках в 1966 г. она достигала до 30 экз./га [5]. В 90-е гг. около Курникова лимана плотность была 2,0–4,0 экз./га; 22.04.2012 на побережье оз. М.-Г. – 2, в районе оз. Лопуховатое – 2–3, прудов ассоциации – 3–4 экз./га [9] и т.д.

В период весенней концентрации полозов (в апреле – начале мая) на небольших участках встречаются десятки полозов. Так, около пруда ассоциации 24.04–10.05.2014 плотность составляла 10–14 экз./га. На обрывистом берегу оз. М.-Г. в это время и 18–20.04.2019 встречалось до 20–30 ос. на 100 м. Высокая численность полозов часто наблюдается в годы массового размножения общественной полевки (*Microtus socialis* Pall.) (2014 г. и др.), которой они ак-

тивно питаются. Кормом для полозов служат грызуны, ящерицы, птицы и другие животные.

В 2003–2005 гг. в стационаре ассоциации для привлечения и водопоя различных животных поставили скважину и соорудили 3 пруда, каждый длиной около 1 км. В 2006–2009 гг. на среднем пруде построили накрытый сеткой вольер (30×30 м<sup>2</sup>) с укрытиями и гнездами для утиных. Кряквы (*Anas platyrhynchos* L.) и серые гуси (*Anser anser* L.) начали активно использовать их для размножения [12, 13]. После выведения птенцов молодежь выпускалась из вольера в пруды. По мере освоения птицами вольера его начал активно использовать желтобрюхий полоз. Полозы держались в трещинах и нишах строений, под слоем выстилающей пол соломы, других местах. Уже 10–25.05.2010 отмечено питание полозов яйцами уток, утятами. Плотность полозов 22.04.2012 в районе прудов составляла 3–4 экз./га, а около среднего пруда с вольером и гнездами – 26. Этот факт, а также регулярное беспокойство птиц привели к сокращению количества гнездящихся здесь утиных, а затем и полному игнорированию ими вольера. Применяемые «мягкие» меры по ограничению количества полозов не смогли наладить эффективную регуляцию их численности около прудов. С 2016 г. вольер разгородили, а искусственные гнезда перестали обновлять. В последние годы весной количество полозов около прудов составляло 2,0–5,0 экз./га.

**Четырехполосый (палласов или сарматский) полоз (*Elaphe sauromates* Pall.)** широко распространен в МПК, обитает на открытых степных участках, по берегам водоемов, в оврагах, балках, лесопосадках, фундаментах строений (балка Хоревая, пос. Волочаевский, Стрепетов, Правобережный и др.), горах камней, но встречается в меньшем количестве, чем желтобрюхий. Мы его чаще наблюдали на обрывистых берегах оз. М.-Г. в стационаре (05.05.2009, 14–27.04.2014, 20.04.2019), на о-ве Водном (24–27.04.2014), около пруда Иванова и оз. Лопуховатое (22.04.2017), в окр. хут. Рунный (21.06.2005), иных местах. А.Д. Липкович [11] встречал этого полоза на обрывах оз. М.-Г. (03.05, 05.2005 и 20.05.2009), на о-ве Водный (27.03.2009, 03.04.2013), в старой постройке (09.04.2008). В районе Цаган-Хага и Курникова лимана в 2002 г. плотность его составляла 0,5–1,0 экз./км<sup>2</sup> [9]. Сейчас является немногочисленным видом.

Питается грызунами, ящерицами, яйцами и птенцами птиц, строящих гнезда в норах [сизоворонка (*Coracias garrulous* L.), золотистая шурка (*Merops apiaster* L.), береговая ласточка (*Riparia riparia* L.)], в иных укрытиях [удод (*Upupa epops* L.), каменка-плешанка (*Oenanthe pleschanka* L.), белая трясогузка (*Motacilla alba* L.)], на поверхно-

сти почвы [жаворонки (степной – *Melanocorypha calandra* L. и др.), просянка (*Emberiza calandra* L.), иные], деревьях, и другими животными.

**Узорчатый полоз (*Elaphe diaone* Pall.)** характеризуется обширным ареалом, обитает в нескольких ландшафтных зонах. В МПК является самым малочисленным среди полозов. За сезон 2009 г. сотрудники заповедника встречали 10 раз представителей этого вида [11]. Очень подвижен. Предпочитает мезофильные биотопы, в сухих степях встречается реже. Отмечен около береговых обрывов оз. М.-Г. и о-ва Водный, в б. Хоревой, пос. Волочаевский, в садах, парках, на огородах, в разрушенных и целых строениях, иных местах. Питается грызунами, ящерицами, птицами, насекомыми. Вблизи гнезд птиц-норников на обрывах охотится на береговых ласточек, каменок, золотистых шурок. В 1998 г. в б. Тройной наблюдалась особь этого вида, заглатывающая оперенного птенца золотистой шурки [11]. В степи разоряет гнезда жаворонков, просянок, чеканов. Хорошо лазает по деревьям и кустам, проникает в птичьи гнезда и поедает яйца, птенцов. В пос. Маныч 28.04.2013 полоз залез на абрикос и поймал полевого воробья из сидящей здесь стаи. В районе Цаган-Хага и Курникова лимана в начале XXI в. его плотность была 0,5–1,0 экз./км<sup>2</sup>.

**Обыкновенная медянка (*Coronella austriaca* Laur.)** – очень редкий, отмеченный на ограниченной территории вид. Мы её встречали на о-ве Водный ежегодно с 2002 г. [9] с марта-апреля (06.04.2012, 08.03.2020 и т.д.) по октябрь (15–16.10.2009, 31.10.2012 и др.). Отмечена 14.04.2003 и 09.04.2008 близ устья б. Хоревой и на о-ве Водный [7, 8]. На этом о-ве медянок наблюдали А.Д. Липкович, И.Г. Бабкин и иные исследователи (25.09.2005, 27.09.2007, 09.04.2008, 29.04, 25.05 и 18.08.2009, июль 2011 г.) [11]. За пределами о-ва единичные её находки отмечены 14.04.2003 у береговых обрывов оз. М.-Г. вблизи устья б. Хоревой [7] и нами 26–28.04.2013 на лугу стационара ассоциации. Популяция медянки, по нашему мнению, существовала здесь до заполнения водой современного уровня оз. М.-Г. В Сальских степях её отмечал еще А.А. Браунер (1905, 1907) [4].

**Обыкновенный уж (*Natrix natrix* L.)** распространен широко и отмечается в подходящих условиях во всем МПК. Обычно наблюдается на более увлажненных участках: вдоль водоемов, в низинах с гигро- и мезофитным травостоем, реже – в древесной растительности, на огородах, в парках, строениях (кошары, фермы, др.). Весной на берегу пруда ассоциации активные особи встречены 27.03.2017 и 05–06.04.2014 (температура воздуха ночью –3 °С, днем +6 °С). Здесь 24–27.04.2014 по-

стоянно держалось 8–10, а 09–10.05.2014 – 8–12 ос. на 1 км. В последнее годы в целом в МПК наблюдается тенденция снижения общей численности этого ужа.

С 90-х гг. мы часто наблюдали обыкновенного ужа, реже – водяного в бетонированных сухих колодцах для воды на брошенных животноводческих стоянках для скота. Помимо ужей, в них встречались желтобрюхий и четырехполосый полозы, иногда степная гадюка, прыткая ящерица, зеленая жаба (*Bufo viridis* Laur.) и другие животные. Эти колодцы используются для размножения сизыми голубями (*Columba livia* Gmel.). В таком колодце в стационаре ассоциации 21.06.2019 на выступе внутренней каменной кладки (на глубине 2,5 м) найдено гнездо чернолобого сорокопуга (*Lanius minor* Gmel.) с 6 яйцами. Ужи и полозы живут здесь продолжительное время, что отмечалось нами, А.Д. Липковичем [11] и другими исследователями. Питаются они попадающими в колодцы позвоночными и беспозвоночными животными.

**Водяной уж (*Natrix tessellate* Laur.)** связан с водоемами более тесно и предпочитает держаться около них; редко наблюдается вдали от воды. В МПК распространен широко (пруды Колесникова, Круглый, Лысянский и др., водоемы б. Водяная, Тройная, Кужная, Старикова и др., оз. М.-Г. и его заливы), является здесь с 80-х гг. обычным видом, хотя встречается в меньшем количестве, чем обыкновенный, более лабильный к солености воды в водоемах. Еще в середине XX в. мы его наблюдали на берегах оз. М.-Г. и его заливов, где он охотился за рыбой и иными животными. У этого вида в последние годы в МПК также наблюдается тенденция к снижению общей численности.

**Степная гадюка (*Vipera renardi* Christoph)** обычна в МПК и широко распространена на сухостепных территориях [2, 8, 9, 14–16]. Появляется на поверхности почвы в марте (иногда в феврале, 09.03.2013) – апреле (стационар ассоциации 26–28.04.2013, 24–27.04.2014, 27.03.2017) и встречается до конца октября – начала ноября (31.10.2012). Держится на открытых участках с естественным травостоем, на сухих склонах оврагов (все участки заповедника, в р-не прудов ассоциации, Лопуховатого и Колесникова, оз. Грузского, пионерлагеря и т.д.). При распашке земель исчезает. На современной территории МПК её плотность в 50–60-е гг. составляла в среднем 2–4 экз./га, в 80-е снизилась до 0,3, в 1996–2012 гг. возросла до 2–4 экз./га, а в местах концентрации – до нескольких десятков (в р-не Цаган-Хага и Курникова лимана – до 10–30 экз./га) [9]. В последние годы (2017–2020 гг.) она в целом снизилась (0,3–1,0 экз./га), и её следует отнести к немногочисленным видам.

### Обсуждение

С начала 50-х гг. XX в. на территории, занимаемой современным МПК, отмечено 10 видов рептилий. Для выяснения колебаний численности отдельных видов в разные периоды мы используем собственные наблюдения и имеющиеся опубликованные сведения. Материал собирался на протяжении длительного периода многими исследователя-

ми в разное время года и с применением разных методов и сроков, что затрудняет сравнение цифровых данных по количеству особей рептилий и их изменениям под влиянием разных факторов. В связи с этим для анализа всего материала мы используем относительную численность отдельных видов. В таблице приводятся периоды, связанные с важными антропогенными факторами и численностью рептилий во всем МПК.

Состав рептилий на территории МПК в разные годы /  
Species population on Rostov Nature Reserve grounds in different years

№	Вид	Период					
		1959–1960	1970–1980	1985–1995	1996–2000	2006–2010	2016–2020
1.	Болотная черепаха	++	++++	++++	++++	++++	+++
2.	Разноцветная ящурка	+?	+?	+?	+	+	+
3.	Прыткая ящерица	+++	++++	++++	++++	++++	++++
4.	Желтобрюхий полоз	++++	+++	+++	++++	++++	++++
5.	Четырехполосый полоз	+++	++	++	++	+++	+++
6.	Узорчатый полоз	+	+	+	++	++	++
7.	Обыкновенная медянка	+?	+?	+?	+?	+	+
8.	Обыкновенный уж	++	+++	++++	++++	++++	++++
9.	Водяной уж	+++	++++	++++	++++	++++	+++
10.	Степная гадюка	++++	++++	+++	++++	++++	+++

**Примечание.** + – очень редок; ++ – редок; +++ – немногочислен; ++++ – обычен, местами многочислен; ? – данные отсутствуют.

В литературе широко обсуждаются проблемы колебания, цикличности и потепления климата, его влияние на экосистемы [17, 18]. Колебания численности и мест обитания отдельных видов зависят от многих условий (достаток корма, погодные и иные условия) [5, 6, 8, 13]. Не отрицая действия этих факторов, мы считаем, что основное воздействие на экосистемы рассматриваемой территории, их перестройку оказывает деятельность людей. Современное состояние уровня воды приобрело оз. М.-Г. в 1954 г. (длина 130 км, глубина до 4,5 м, ширина до 12 км, зеркало воды 620 км<sup>2</sup>, объем 1150 млн м<sup>3</sup>). Озеро входит в Пролетарское водохранилище (вдхр.) длиной 178 км, площадью зеркала 645 км<sup>2</sup>, объемом 2031 млн м<sup>3</sup> [19]. До зарегулирования река Западный Маныч представляла собой 15 озеровидных участков-лиманов, соединенных между собой узкими (как ручьи) протоками [20]. Летом река и озера мелели, многие протоки и озера пересыхали. В отдельные годы дно озера было сухим. Создание крупных вдхр. в Кумо-Манычской впадине, как это показано на других вдхр. и зарегулированных поймах рек [21, 22], привело к большим изменениям в экосистемах, в том числе в местном климате. Выросли средние показатели влажности воздуха, поднялся уровень грунтовых вод, снизился диапазон

колебаний температур, что отразилось на почвенных процессах, растительном и животном мире. Эти процессы протекали медленно, затронули длительный период. С момента заполнения оз. М.-Г. водой и до настоящего времени происходит засоление водоема. Если в 1955 г. солёность воды в озере составила 16 г/л, то к 2000 г. она достигла 24, а в последние годы доходит до 40–45 г/л [19, 20, 23]. Это привело к глубокой перестройке всей биоты в озере и на прилегающих территориях.

В первое десятилетие заметных изменений, за исключением водных и околотоводных организмов (водные беспозвоночные, околотоводные птицы, др.), в растительном и животном мире в окружающих степях не отмечалось [2, 23, 24]. Пресная вода в окр. оз. М.-Г. (р-н МПК) оставалась дефицитной, поголовье скота – небольшим, пахотные земли и древесная растительность отсутствовали. Травостой был низкорослым, разреженным, в видовом отношении характерным для пустынных степей. В 50–60-е гг. XX в. обычными были желтобрюхий полоз и степная гадюка, немногочисленными – прыткая ящерица, четырехполосый полоз, водяной уж (встречался около заливов оз. М.-Г.), редкими – болотная черепаха, обыкновенный уж, очень редким – узорчатый полоз.

В 70–80-е гг. обводнение региона продолжалось. По каналам пресная вода поступала в маньчские вдхр. и степные речки, в балках построили сеть прудов, вода пришла в населенные пункты и фермы. В окр. Пролетарского вдхр. появилась сеть лесополос, в населенных пунктах – сады, парки и другие насаждения. Возросла численность населения, степь начали распахивать под посевы культурных растений, интенсивно развивалось животноводство. Все это вызвало глубокие изменения в экосистемах, содействовало интенсивному развитию мезофитных организмов. В эти годы обычной осталась степная гадюка, возросло количество болотной черепахи, прыткой ящерицы и водяного ужа, немногочисленными были желтобрюхий полоз и обыкновенный уж, редким – четырехполосый полоз, очень редким – узорчатый.

Приход пресной воды и облесение степи положительно сказались на развитии сельского хозяйства и быстром увеличении поголовья скота. Механизм опустынивания земель особенно сильно обострился в 80–90-е гг. В Орловском р-не в 1986 г. поголовье овец достигло 403 000 ос., в Ремонтненском р-не слабонарушенных степных сообществ оставалось всего 4,7 %, а сбоев, средне- и сильнонарушенных – 11,3, 49,0 и 34,5 % соответственно [25]. Это в 80-е гг. привело к перевыпасу овец, появлению антропогенных пустынь на больших площадях в юго-восточных р-нах РО, Калмыкии и на соседних территориях [6, 23, 26], что отрицательно повлияло на степную биоту, самих овец и жизнь населения. В 1999 г. в Орловском р-не сохранилось 37 500 овец. В 1985–1995 гг. на еще довольно многочисленных пресных водоемах (прудах) оставались обычными болотная черепаха, водяной уж, в степи – хорошо адаптированная к антропогенному ландшафту прыткая ящерица. Не отмечены заметные изменения в численности желтобрюхого полоза, оставшегося немногочисленным, и редкого четырехполосого полоза. Возросло количество обыкновенного ужа, который широко расселился и перешел в статус обычных. Степная гадюка была широко распространена, но количество её снизилось, и она стала немногочисленной.

Падение хозяйственной деятельности, её прекращение на заповедных участках с начала 1996 г. и введение природоохранного режима в охранной зоне с 2000 г. благоприятно повлияли на восстановление степи и численности некоторых видов животных. Однако восстановленное в МПК биоразнообразие в водных и наземных экосистемах сильно отличается от таковых на этой территории в прошлом [23]. В 1996–2010 гг. в МПК были обычными, широко распространенными болотная черепаха, прыткая ящерица, обыкновенный и во-

дяной ужи. К этой группе присоединились, расселившись и увеличив численность, желтобрюхий полоз и степная гадюка. Четырехполосый полоз из редкого в 1996–2000 г. перешел в 2006–2010 гг. в группу немногочисленных, а узорчатый полоз остался редким.

В конце XX в. – первые десятилетия XXI в. происходят прекращение или сильное ограничение поступления пресной воды в степные речки и пруды МПК из Дона, разрушение ряда плотин, что вызвало исчезновение отдельных прудов (Чекина, Бубошовский, др.), сокращение количества пресных водоемов, наполненных водой в течение теплого сезона (пруды Круглый, Докторский, Солдатский и др.), их частичное или полное пересыхание во второй половине лета (особенно после 2007 г.). Наблюдаемая на юго-востоке европейской части России в последнее десятилетие интенсификация хозяйственной деятельности (увеличение поголовья скота и пастбищной нагрузки, распашка участков степи, химическая борьба с грызунами, др.) усложняет соблюдение природоохранного режима в охранной зоне МПК. Если на участках заповедника (9531,5 га) заповедный режим соблюдается, то в охранной зоне (74 350 га) нарушения положений охраны биоразнообразия природы отмечаются. В Ремонтненском р-не, где находятся участки Краснопартизанский и Цаган-Хаг заповедника, охранная зона отсутствует, а в зоне сотрудничества заповедника и р-на режим оптимального природопользования не всегда соблюдается. Все это негативно влияет на численность и распределение рептилий. В 2016–2020 гг. для всей территории МПК обычными были прыткая ящерица и желтобрюхий полоз, а на участках весеннего скопления полозов (берег оз. М.-Г., др.) они отмечаются в большом количестве. Однако в связи с распашкой земель, другой хозяйственной деятельностью и иными происходящими в природе изменениями у них наблюдается тенденция к сокращению общей численности. Уменьшается количество черепах в МПК, которые распространены широко, но немногочисленны. Подобная ситуация наблюдается у обыкновенного и водяного ужей. Распашка части территории, увеличение поголовья скота негативно отражаются на степной гадюке, и она из обычных перешла в статус немногочисленных, хотя и широко распространенных. Немногочисленным остается четырехполосый полоз, редким – узорчатый.

Разноцветная ящурка и обыкновенная медянка обитают на очень ограниченной территории МПК, встречаются в небольшом количестве, и мы их относим к очень редким видам для всей рассматриваемой территории.

## Заключение

С середины XX в. в экосистемах региона под воздействием хозяйственной деятельности людей произошли глубокие изменения, затронувшие перестройку всех биоценозов. Это отразилось и продолжает влиять на количественные показатели и распределение отдельных видов рептилий. Обводнение района, появление сети лесонасаждений, развитие пастбищного животноводства в 70–80-е гг. положительно отразились на численности и распространении ряда представителей водно-прибрежного (болотная черепаха, обыкновенный и водяной ужи) и степного умеренно ксерофильного (прыткая ящерица) комплексов, характеризующихся широкой эврибионтностью. Сохранились, хотя и сократили численность и места обитания, такие степные умеренные ксерофилы, как желтобрюхий полоз и степная гадюка. Уменьшилось количество четырехполосого полоза. В период крайнего антропогенного опустынивания (1985–1995 гг.) мало изменилась общая численность болотной черепахи, водяного ужа, полозов и прыткой ящерицы, сократилась – степной гадюки.

Создание заповедника и его охранной зоны положительно отразилось на сохранении рептилий. Здесь обитают многие редкие в РО виды (разноцветная ящурка, три вида полозов, обыкновенная медянка, степная гадюка). Обычными остались болотная черепаха, прыткая ящерица и ужи, возросло количество полозов. Медянка и разноцветная ящурка по-прежнему очень редки.

Возрастающая в последнее десятилетие в регионе хозяйственная деятельность негативно влияет на численность ряда видов пресмыкающихся. Это заставляет усиливать природоохранные меры по сохранению биоразнообразия. Заповедник имеет минимальную площадь и разбит на 4 далеко отстоящих друг от друга участка, охранную зону – только в одном районе. Целесообразно расширить территорию заповедных земель путем присоединения к ним ряда участков, которые пока активно не используются для хозяйственных целей. Там обитают ценные и редкие виды животных (о-в Прибрежный, Лысая гора и др.). Необходимо создать охранную зону в Ремонтненском р-не и присоединить к МПК. Падение уровня воды в оз. М.-Г., разрушение дамб на степных речках, исчезновение части водоемов в охранной зоне негативно влияют на ряд видов животных. Эта территория нуждается в обводнении (подача воды по каналам, восстановление разрушенных дамб и прудов, др.). Усиливающееся антропогенное влияние на степные экосистемы заставляет совершенствовать нормативную и законодательную базу по охране природы, повышать активность природоохранных структур.

## Литература

1. Ралль Ю.М. Млекопитающие и низшие наземные позвоночные Ростовской области // Уч. зап. биол.-почв. ф-та Ростовского н/Д гос. ун-та. 1953. Т. XIX, вып. 3. С. 115–126.
2. Миноранский В.А. Маныч-Гудило // Природа. 1963. № 4. С. 75–80.
3. Петров В.С., Миноранский В.А. Животный мир // Земля Донская: очерки об истории, природе, населении, экономике и культуре Ростовской области. Ростов н/Д. : Кн. изд-во, 1975. С. 115–131.
4. Гуськов Е.П., Лукина Г.П., Конева В.А. Определитель земноводных и пресмыкающихся Ростовской области. Ростов н/Д. : Изд-во Рост. ун-та, 1983. 50 с.
5. Лукина Г.П. Пресмыкающиеся // Редкие, исчезающие и нуждающиеся в охране животные Ростовской области. Ростов н/Д. : Изд-во Рост. ун-та, 1996. С. 265–272.
6. Миноранский В.А., Чекин А.В. Государственный степной заповедник «Ростовский». Ростов н/Д. : ЦВВР, 2003. 129 с.
7. Белик В.П., Гайдукова Т.В. Материалы к герпетофауне заповедника «Ростовский» и его окрестностей // Тр. гос. природного заповедника «Ростовский». Вып. 3: Биоразнообразие заповедника «Ростовский» и его охрана. Ростов н/Д.: Донской изд. дом, 2004. С. 105–110.
8. Белик В.П. Ревизия фауны рептилий степного Придонья // Современная герпетология. 2011. Т. 11, вып. 1/2. С. 3–27.
9. Миноранский В.А. Состав и распространение пресмыкающихся (Reptilia) Ростовской области // Фауна и экология позвоночных животных России и сопредельных территорий : материалы Всерос. науч. конф. (г. Саранск, май 2012 г.). Саранск: Мордовский гос. пед. ин-т, 2012. С. 96–100.
10. Летопись природы заповедника «Ростовский» за 2005 год. Орловский, 2006. Кн. 4. 141 с.
11. Летопись природы заповедника «Ростовский» за 2012 год. Орловский, 2013. Кн. 11. 244 с.
12. Миноранский В.А., Даньков В.И., Толчеева С.Ф., Добровольский О.П. Мероприятия по обогащению комплекса птиц в районе прудов ассоциации «Живая природа степи» // Актуальные проблемы сохранения биоразнообразия на охраняемых и иных территориях : материалы Всерос. науч.-практ. конф. (март 2010 г.). Уфа: РИЦ БашГУ, 2010. С. 64–67.
13. Миноранский В.А. Опыт привлечения птиц на пруды ассоциации «Живая природа степи» // Кавк. орнитол. вестн. 2010. Вып. 22. С. 84–113.
14. Власов А.А. О степной гадюке в заповеднике «Ростовский» // Роль ООПТ в сохранении биоразнообразия : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 10-летию Гос. природ. заповедника «Ростовский». Ростов н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 2006. С. 271–272.

15. Красная книга Ростовской области. Т. I: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения животные. Ростов н/Д.: Малыш, 2004. 364 с.

16. Красная книга Ростовской области. Т. I: Животные. 2-е изд. Ростов н/Д.: Минприроды Ростовской области, 2014. 280 с.

17. Липкович А.Д. Пульсации границ ареалов млекопитающих в степях Юга России и смена климатических фаз в XX столетии // Мониторинг природных экосистем долины Маныча: тр. ФГУ «Гос. природный заповедник «Ростовский». Вып. 4. Ростов н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ ЮФУ, 2010. С. 148–160.

18. Сапанов М.К. Экологические последствия потепления климата в Северном Прикаспии // Аридные экосистемы. 2018. Т. 24, № 1 (74). С. 18–29.

19. Панов В.Д., Базелюк А.А., Лурье П.М. Реки Западный и Восточный Маныч. Гидрография и режим стока. Ростов н/Д.: Донской изд. дом, 2009. 432 с.

20. Круглова В.М. Пролетарское водохранилище. Ростов н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 1972. 189 с.

21. Овчарова А.Ю. Геоэкологические проблемы Волгоградской геотехнологической системы, вызванные изменением гидрологического режима Волги (в пределах Волгоградской области): автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Ростов н/Д., 2016. 26 с.

22. Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е., Шинкаренко С.С. Влияние зарегулирования речного стока и изменения климата на динамику наземных экосистем Нижней Волги // Аридные экосистемы. 2018. Т. 24, № 4. С. 3–18.

23. Малиновская Ю.В., Миноранский В.А. Изменения в природе во второй половине XX – XXI вв. в районе заповедника «Ростовский» и их влияние на биоразнообразие // Вопросы степеведения. 2019. № 15. С. 197–200.

24. Миноранский В.А., Габунцина Э.Б. Уникальные экосистемы: озеро Маныч-Гудило. Элиста: Джангар, 2001. 239 с.

25. Гизатулин И.И. Журавли долины Западного Маныча // Птицы Южной России. Итоги и перспективы развития орнитологии на Северном Кавказе в XXI в.: материалы Междунар. орнитол. конф. (Тебердинский заповедник, 24–27.10.2002). Ростов н/Д.: Теберд. заповедник, РГПУ, 2002. С. 67–71.

26. Зонн И.С. Республика Калмыкия – Хальмг-Тангч – европейский регион экологической напряженности // Биота и природная среда Калмыкии. М.; Элиста: Коркис, 1995. С. 6–18.

## References

1. Rall Yu.M. (1953). Mammals and lower terrestrial vertebrates in Rostov region. *Uch. zap. biol.-pochv. f-ta Rostovskogo n/D gos. un-ta*, vol. XIX, iss. 3, pp. 115-126. (in Russian).

2. Minoranskii V.A. (1963). Manych-Gudilo. *Priroda*, No. 4, pp. 75-80. (in Russian).

3. Petrov V.S., Minoranskiy V.A. (1975). Animal world. *Land of the Don. Essays about the history, nature, population, economy and culture of the Rostov region*. Rostov-on-Don, Book Publishing House, pp. 115-131. (in Russian).

4. Guskov E.P., Lukina G.P., Koneva V.A. (1983). *Determinant of amphibians and reptiles in the Rostov region*. Rostov-on-Don, Rostov State University Press, 50 p. (in Russian).

5. Lukina G.P. (1996). Reptiles. *Rare, disappearing and animals in need of protection in Rostov region*. Rostov-on-Don, Rostov State University Press, pp. 265-272. (in Russian).

6. Minoranskii V.A., Chekin A.V. (2003). *State steppe nature reserve "Rostovsky"*. Rostov-on-Don, CVVR Publ., 129 p. (in Russian).

7. Belik V. P., Gaidukova T. V. (2004). Materials to the herpetofauna of the reserve "Rostovsky" and its environs. *Proceedings of the state nature reserve "Rostovsky". Issue 3. Biodiversity of the Rostov nature reserve and its protection*. Rostov-on-Don, Don Publishing House, pp. 105-110. (in Russian).

8. Belik V.P. (2011). Revision of the reptile fauna of the Don steppe. *Sovremennaya gerpetologiya*, vol. 11, iss. 112, pp. 3-27. (in Russian).

9. Minoranskiy V.A. (2012). Composition and distribution of reptiles (Reptilia) Rostov region. *Fauna and ecology of vertebrates in Russia and neighboring territories. Proceedings of the all-Russian Scientific Conference*. Saransk, Mordovia State Pedagogical University Press, pp. 96-100. (in Russian).

10. Chronicle of the nature reserve "Rostovsky" for 2005. (2006). Book 4. Orlovsky, 141 p. (in Russian).

11. Chronicle of the nature reserve "Rostovsky" for 2012. (2013). Book 11. Orlovsky, 244 p. (in Russian).

12. Minoranskiy V. A., Dankov V.I., Tolcheeva S.F., Dobrovolsky O. P. (2010). Measures to enrich the complex of birds in the area of ponds of the Association "Living nature of the steppe". *Actual problems of biodiversity conservation in protected and other territories. Materials of the all-Russian Scientific and Practical Conference (March, 2010)*. Ufa: RITS BASHGU Press, pp. 64-67. (in Russian).

13. Minoranskiy V.A. (2010). Experience of attracting birds to the ponds of the Association "Living nature of the steppe". *Kavk. ornitol. vestn.*, iss. 22, pp. 84-113. (in Russian).

14. Vlasov A. A. (2006). About the steppe Viper in the reserve "Rostovsky". *Role of protected areas in biodiversity conservation. Materials of the International Scientific-Practical Conference, dedicated 10th anniversary of the State nature reserve "Rostovsky"*. Rostov-on-Don, Rostov State University, pp. 271-272. (in Russian).

15. Red Book of Rostov Region. (2004). Vol. 1. Rare and endangered animals. Rostov-on-Don, Malyshev Publ., 364 p. (in Russian).

16. Red Book of Rostov Region. (2014). Vol. 1. Animals. 2nd ed. Rostov-on-Don, Ministry of Natural Resources of the Rostov region Press, 280 p. (in Russian)
17. Lipkovich A.D. (2010). Pulsations of the borders of the mammalian ranges in the steppes of Southern Russia and the change of climatic phases in the 20th century. *Monitoring of natural ecosystems of the Manych valley. Proceedings of the state nature reserve "Rostovsky"*. Vol. 4. Rostov-on-Don, HSE SFU Press, pp. 148-160. (in Russian).
18. Sapanov M.K. (2018). Ecological consequences of climate warming in the Northern Caspian sea. *Aridnye ekosistemy*, vol. 24, No. 1 (74), pp. 18-29. (in Russian).
19. Panov V.D., Bazelyuk A.A., Lurie P.M. (2009). *Western and Eastern Manych Rivers. Hydrography and flow regime*. Rostov-on-Don, Don Publishing House, 432 p. (in Russian).
20. Kruglova V.M. (1972). *Proletarian reservoir*. Rostov-on-Don, Rostov State University Press, 189 p. (in Russian).
21. Ovcharova A.Yu. (2016). *Geoecological problems of the Volgograd geotechnological system caused by changes in the hydrological regime of the Volga (within the Volgograd region)*. Dissertation Thesis. Rostov-on-Don, 26 p. (in Russian).
22. Kuzmina Zh.V., Treshkin S.E., Shinkarenko S.S. (2018). Influence of river flow regulation and climate change on the dynamics of terrestrial ecosystems of the Lower Volga. *Aridnye ekosistemy*, vol. 24, No. 4, pp. 3-18. (in Russian).
23. Malinovskaya Yu.V., Minoranskii V.A. (2019). Changes in nature in the second half of the 20th-21st century in the area of the reserve "Rostovsky" and their impact on biodiversity. *Voprosy stepovedeniya*, No. 15, pp. 197-200. (in Russian).
24. Minoranskii V.A., Gabunshina E.B. (2001). *Unique ecosystem of lake Manych-Gudilo*. Elista, Dzhangar Publ., 239 p. (in Russian).
25. Gizatulin I.I. (2002). Cranes of the Western Manych valley. *Birds of the South, Russia. The results and the perspectives, development of ornithology in the Northern Caucasus in the 21st century*. Proceedings of the International Ornithological Conference. Rostov-on-Don, Teberda reserve, RSPU Press, pp. 67-71. (in Russian).
26. Zonn I.S. (1995). Republic of Kalmykia-Halmg-Tangch-European region of ecological tension. *Biota and natural environment of Kalmykia*. Moscow, Elista, Korkis Publ., pp. 6-18. (in Russian).

УДК 57.044; 631.46

DOI 10.18522/1026-2237-2020-3-107-112

## ОЦЕНКА ФИТОТОКСИЧНОСТИ СЕРЕБРА НА ПОЧВАХ РАЗНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ: БУРЫХ ЛЕСНЫХ, ЧЕРНОЗЕМАХ И СЕРОПЕСКАХ\*

© 2020 г. *Н.И. Цепина<sup>1</sup>, Т.В. Минникова<sup>1</sup>, С.И. Колесников<sup>1</sup>, К.Ш. Казеев<sup>1</sup>*<sup>1</sup>Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

### EVALUATION OF SILVER PHYTOTOXICITY ON SOILS OF DIFFERENT STABILITY: BROWN FOREST SOILS, CHERNOZEMS AND SIEROSANDS

*N.I. Tsepina<sup>1</sup>, T.V. Minnikova<sup>1</sup>, S.I. Kolesnikov<sup>1</sup>, K.Sh. Kazeev<sup>1</sup>*<sup>1</sup>Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

*Цепина Наталья Игоревна – аспирант, кафедра экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, пр. Стачки, 194/1, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: cepinanatalia@yandex.ru*

*Natalya I. Tsepina - Postgraduate, Department of Ecology and Environmental Management, Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Stachki Ave, 194/1, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: cepinanatalia@yandex.ru*

*Минникова Татьяна Владимировна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, кафедра экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, пр. Стачки, 194/1, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: loko261008@yandex.ru*

*Tatiana V. Minnikova - Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Department of Ecology and Environmental Management, Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Stachki Ave, 194/1, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: loko261008@yandex.ru*

*Колесников Сергей Ильич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, пр. Стачки, 194/1, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: kolesnikov@sfedu.ru*

*Sergey I. Kolesnikov - Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of Department of Ecology and Environmental Management, Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Stachki Ave, 194/1, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: kolesnikov@sfedu.ru*

*Казеев Камил Шагидулович – доктор географических наук, профессор, кафедра экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, пр. Стачки, 194/1, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: kamil\_kazeev@mail.ru*

*Kamil Sh. Kazeev - Doctor of Geography Sciences, Professor, Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Stachki Ave, 194/1, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: kazeev@sfedu.ru*

*Исследовано влияние загрязнения серебром на фитотоксичность почв разной степени устойчивости: черноземов, серопесков и бурых лесных. Наблюдалась прямая связь между концентрацией элемента в почве и длиной корней редиса. При концентрации серебра 10 мг/кг установлена наибольшая токсичность на серопесках и бурой лесной почве. Доза 100 мг/кг оказала наибольший ингибирующий эффект на длину корней редиса, выращенного на черноземе обыкновенном, серопесках и бурой лесной почве (на 17, 24 и 29 % от контроля соответственно). По степени устойчивости к загрязнению серебром по показателю длины корней редиса исследуемые почвы образуют следующий ряд: чернозем*

\* Исследование выполнено при государственной поддержке ведущих научных школ Российской Федерации (грант Президента РФ НШ-2511.2020.11) и Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках госзадания (Южный федеральный университет, проект № 0852-2020-0029).

обыкновенный (90)  $\geq$  серопески (88)  $>$  бурая лесная почва (81). Токсическое воздействие серебра зависит от концентрации элемента в почве, гранулометрического состава, реакции почвенной среды и содержания органического вещества в почве. Наибольшая устойчивость чернозема обыкновенного к загрязнению серебром обусловлена гранулометрическим составом, высоким содержанием гумуса (3,7 %) и нейтральными щелочно-кислотными условиями (pH=7,8). Легкий гранулометрический состав серопесков не обеспечивает достаточную емкость поглощения для фиксации серебра в почве. Наиболее чувствительна к воздействию серебра бурая лесная почва, поскольку она обладает кислой реакцией почвенной среды (pH=5,8), при которой данный элемент подвижен и оказывает токсическое воздействие на корневую систему редиса.

**Ключевые слова:** загрязнение, серебро, фитотоксичность, длина корней редиса, чернозем обыкновенный, серопески, бурые лесные почвы, гранулометрический состав, реакция среды.

*The effect of silver pollution on the phytotoxicity of soils of varying degrees of resistance: chernozems, sierosands and brown forest soils was investigated. A direct relationship was observed between the concentration of the element in the soil and the length of the radish roots. At a silver concentration of 10 mg/kg, the highest toxicity was established on sulphurous sand and brown forest soil. A dose of 100 mg/kg had the greatest inhibitory effect on the length of the roots of radishes grown on ordinary chernozem, sierosands, and brown forest soil at 17, 24, and 29 % of the control, respectively. According to the degree of resistance to silver pollution, according to the radish root length indicator, the studied soils form the following series: ordinary chernozem (90)  $\geq$  sierosands (88)  $>$  brown forest soil (81). The toxic effect of silver depends on the concentration of the element in the soil, the particle size distribution, the reaction of the soil environment and the content of organic matter in the soil. The greatest resistance of common chernozem to silver contamination is due to the particle size distribution, high humus content (3.7 %) and neutral alkaline-acid conditions (pH = 7.8). The light particle size distribution of the sierosands does not provide a sufficient absorption capacity for fixing silver in the soil. Brown forest soil is most sensitive to silver, as it has an acidic soil reaction (pH = 5.8), in which this element is mobile and has a toxic effect on the radish root system.*

**Keywords:** pollution, silver, phytotoxicity, length of radish roots, chernozem ordinary, sierosands, brown forest soils, granulometric composition, medium reaction.

## Введение

Загрязнение сельскохозяйственных почв тяжелыми металлами, в частности серебром, может серьезно повлиять на функционирование почвенной экосистемы, продуктивность сельского хозяйства и продовольственную безопасность [1–4]. По результатам исследования Н.В. Реутовой [5], тяжелые металлы по степени токсичности для растений имеют следующую последовательность: Hg  $>$  Ag  $>$  Cr<sup>6+</sup>, Pb  $>$  Cd, Cu  $>$  Mo<sup>6+</sup>  $>$  W<sup>6+</sup>. Серебро оказывает влияние на метаболизм и гомеостаз растений [6]. Основным механизмом, лежащим в основе фитотоксичности серебра, является образование избыточных активных форм кислорода, что впоследствии приводит к окислительному стрессу в клетках растений [7, 8].

Среди форм соединений серебра высокую токсичность имеют его наночастицы, благодаря своим размерам и возможности проникновения через биомембраны в организм растений [9]. Наночастицы серебра оказывают отрицательное влияние на рост корней прорастающих семян [10]. Известно о негативном влиянии нитрата серебра на всхожесть и рост корней семян ячменя, пшеницы, гороха [11]. В [12] установлено, что корни овса накапливают большее количество серебра, чем побеги, при этом серебро легко попадает в пищевую цепь, что не только оказывает влияние на производство и качество продуктов питания, но и создает риск для здоровья

человека [13–17]. Существуют исследования, посвященные ингибирующему действию серебра на нитрифицирующие (*Nitrosomonas europaea*, *Nitrosospira multififormis* и *Nitrosococcus ocean*) и азотфиксирующие (*Azotobacter vinelandii*) бактерии, которые влияют на рост растений [18, 19].

В связи с этим изучение влияния серебра на фитотоксичность разных типов почв позволит уточнить его токсический эффект и оценить экологические риски [6, 20–22].

Цель работы – оценить фитотоксичность серебра на почвах разной устойчивости: бурых лесных, черноземах и серопесках.

## Материалы и методы

Для оценки фитотоксичности серебра для разных типов почв исследованы почвы Юга России, разные по своим генетическим свойствам: чернозем обыкновенный, серопески или чернозем легкосуглинистый и бурая лесная почва. Верхние слои почв (0–20 см) отобраны в трех местах Юга России с различных типами угодий: пашня (чернозем обыкновенный), разнотравно-злаковая степь (серопески), буково-грабовый лес (бурая лесная почва). Исследование проводилось в лабораторных условиях в трехкратной биологической повторности при использовании концентраций 1, 10 и 100 мг/кг нитрата серебра (AgNO<sub>3</sub>) в пересчете на серебро, внесенное при

первом поливе. Дозы рассчитаны исходя из фоновых концентраций серебра. Поскольку предельно допустимая концентрация серебра не установлена, его содержание можно выразить в виде условно допустимой концентрации (УДК), что для большинства тяжелых металлов составляет около трех фонов [23]. Среднее фоновое содержание серебра в почве, по В.А. Алексеенко [24], составляет 0,37 мг/кг, соответственно 1 УДК = 1 мг/кг. Образцы инкубировали в пластиковых сосудах при комнатной температуре (20–22 °С) и поддержании увлажнения на оптимальном уровне (60 % от полевой влагоемкости).

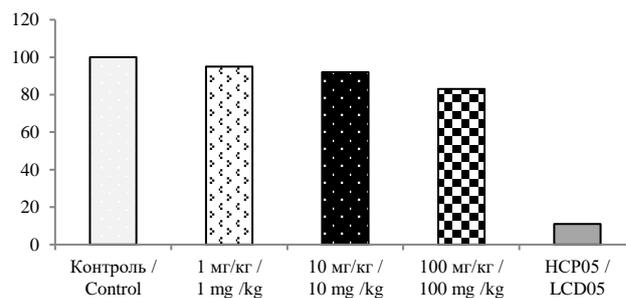
Серебро аккумулируется в большей степени корнями растений [12]. По данным предыдущих исследований, корни более чувствительны к загрязнению тяжелыми металлами, чем побеги, поэтому о показателях фитотоксичности почв судили по длине корней редиса (*Raphanus sativus* L.) сорта «16 дней» (n=225: 3 вегетационных сосуда в 3 биологических повторностях в чашках Петри ×25 семян редиса) [12, 25–27]. Лабораторно-аналитические исследования были выполнены с использованием общепринятых в биологии, почвоведении и экологии методов [28].

Достоверность полученных результатов оценивали с помощью дисперсионного анализа и последующего определения наименьшей существенной разности.

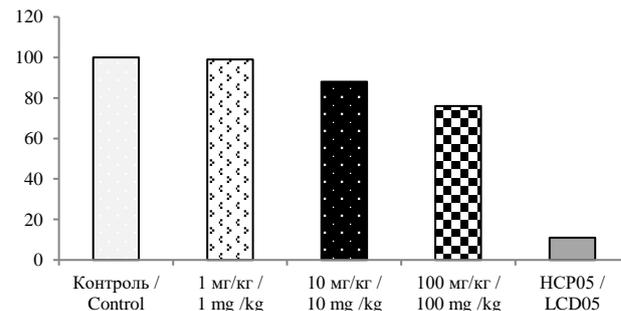
### Результаты и их обсуждение

С ростом концентрации серебра установлено снижение длины корней редиса относительно контроля (рисунок). При дозе 1 мг/кг не обнаружено ее достоверного снижения ни на одной из исследованных почв. При концентрации 10 мг/кг отмечено снижение длины корней редиса, выращенного на серопесках и бурой лесной почве, на 12 и 24 % относительно контрольных значений. При воздействии концентраций серебра 100 мг/кг на черноземе обыкновенном исследуемый показатель снизился на 17 % относительно контроля.

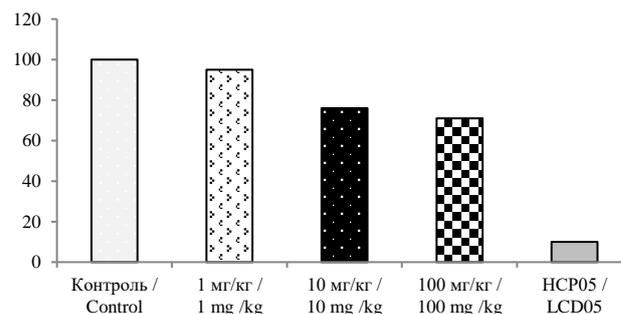
Серебро в дозе 100 мг/кг проявило большой ингибирующий эффект на корневую систему редиса на серопесках и бурой лесной почве (на 24 и 29 % относительно контроля). Авторы [27] в своем исследовании наблюдали с ростом концентрации висмута снижение длины корней редиса, выращенного на черноземе обыкновенном, серопесках и бурой лесной почве (на 21, 40 и 26 % от контроля). В литературе встречаются случаи стимулирующего эффекта серебра на длину корней редиса, пшеницы, фасоли и кукурузы [29, 30], однако в нашем эксперименте подобного эффекта не зафиксировано.



a/a



б/б



в/в

Изменение фитотоксичности разных типов почв (а – чернозем обыкновенный; б – серопески; в – бурая лесная почва) под влиянием серебра концентраций 1, 10, 100 мг/кг, % от контроля / Change in phytotoxicity of different types of soils (a - chernozem ordinary; б – sierosands; c - brown forest soil) under the influence of silver concentration of 1, 10, 100 mg/kg, % of control

По результатам исследования установлено, что по степени устойчивости к загрязнению нитратом серебра по показателю длины корней редиса, исследуемые почвы образуют ряд: чернозем обыкновенный (90) ≥ серопески (88) > бурая лесная почва (81).

В черноземе обыкновенном с тяжелым гранулометрическим составом, высоким содержанием гумуса (3,7 %) и нейтральным pH = 7,8, высокой буферной способностью серебро способно связываться с глинистыми частицами и органическим веществом, образуя комплексные нетоксичные соединения. Таким образом, серебро в черноземе обыкновенном проявляет наиболее низкую экотоксичность по сравнению с другими типами почв.

Легкий гранулометрический состав серопесков не обеспечивает достаточную емкость поглощения для удержания серебра, а кислая реакция почвенной среды бурых лесных почв (рН = 5,8) способствует высокой подвижности серебра в почве и, как следствие, сильному токсическому воздействию на корни растений. Существуют исследования, подтвердившие различное токсикологическое поведение серебра, причем токсичность зависела от рН почвенной среды, ионной силы, содержания органического вещества и гранулометрического состава [31, 32].

### Заключение

В процессе исследования влияния серебра на фитотоксичность разных типов почв установлено снижение длины корней редиса. Наибольшая токсичность установлена на серопесках и бурой лесной почве при концентрации серебра 10 мг/кг. Доза 100 мг/кг оказала наибольший ингибирующий эффект на длину корней редиса, выращенного на черноземе обыкновенном, серопесках и бурой лесной почве (на 17, 24 и 29 % от контроля). По степени устойчивости к загрязнению серебром (по показателю длины корней редиса) исследуемые почвы образуют следующий ряд: чернозем обыкновенный (90) ≥ серопески (88) > бурая лесная почва (81). Токсическое воздействие серебра зависит от концентрации элемента в почве, гранулометрического состава, реакции почвенной среды и содержания органического вещества в почве. Наибольшая устойчивость чернозема обыкновенного к загрязнению серебром обусловлена гранулометрическим составом, высоким содержанием гумуса (3,7 %) и нейтральными щелочно-кислотными условиями (рН=7,8). Легкий гранулометрический состав серопесков не обеспечивает достаточную емкость поглощения для фиксации серебра в почве. Наиболее чувствительна к воздействию серебра бурая лесная почва, поскольку обладает кислой реакцией почвенной среды (рН=5,8), при которой данный элемент подвижен и оказывает токсическое воздействие на корневую систему редиса.

### Литература

1. Aueviriyavit S., Phummiratch D., Maniratanachote R. Mechanistic study on the biological effects of silver and gold nanoparticles in CaCO<sup>-2</sup> cells - induction of the Nrf2/HO-1 pathway by high concentrations of silver nanoparticles // *Toxicology Letters*. 2014. Vol. 224, № 1. P. 73–83.
2. Benn T., Cavanagh B., Histovski K., Posner J.D., Westerhoff P. The release of nanosilver from consumer

products used in the home // *J. of Environmental Quality*. 2010. Vol. 39, № 6. P. 1875–82.

3. Bhattacharyya P.N., Jha D.K. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Emergence in agriculture // *World J. of Microbiology and Biotechnology*. 2012. Vol. 28. P. 1327–1350.

4. Tóth G., Hermann T., Da Silva M. R., Montanarella L. Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety // *Environmental Pollution*. 2016. Vol. 88. P. 299–309.

5. Реумова Н.В. Мутагенный потенциал ряда тяжелых металлов // *Экологическая генетика*. 2015. № 3. С. 70–75.

6. Galazzi R.M., Arruda M.A.Z. Evaluation of changes in the macro and micronutrients homeostasis of transgenic and non-transgenic soybean plants after cultivation with silver nanoparticles through ionic approaches // *J. of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2018. Vol. 48. P. 181–187.

7. Nair R., Varghese S.H., Nair B.G., Maekawa T., Yoshida Y., Kumar D.S. Nanoparticulate material delivery to plants // *Plant Science*. 2010. Vol. 179. P. 154–163.

8. Tripathi D.K., Singh S., Singh S., Pandey R., Singh V.P., Sharma N.C., Prasad S.M., Dubey N.K., Chauhan D.K. An overview on manufactured nanoparticles in plants: Uptake, translocation, accumulation and phytotoxicity // *Plant Physiology and Biochemistry*. 2017a. Vol. 110. P. 2–12.

9. Samberg M.E., Orndorff P.E., Monteiro-Riviere N.A. Antibacterial efficacy of silver nanoparticles of various sizes, surface conditions and synthesis methods // *Nanotoxicology*. 2011. Vol. 5. P. 244–253.

10. Tripathi D.K., Singh S., Singh S., Srivastava P.K., Singh V.P., Singh S., Prasad S.M., Singh P.K., Dubey N.K., Pandey A.C., Chauhan D.K. Nitric oxide eliminates the phytotoxicity of silver nanoparticles (AgNps) in *Pisum sativum* seedlings // *Plant Physiology and Biochemistry*. 2017b. Vol. 110. P. 167–177.

11. Ratte H.T. Bioaccumulation and toxicity of silver compounds: a review // *Environmental Toxicology and Chemistry*. 1999. Vol. 18. P. 89–108.

12. Schlich K., Hoppe M., Kraas M., Schubert J., Chanana M., Hund-Rinke K. Long-term effects of three different silver sulfide nanomaterials, silver nitrate and bulk silver sulfide on soil microorganisms and plants // *Environmental Pollution*. 2018. Vol. 242. P. 1850–1859.

13. Beer C., Foldbjerg R., Hayashi Y., Sutherland D.S., Autrup H. Toxicity of silver nanoparticles - Nanoparticle or silver ion? // *Toxicology Letters*. 2012. Vol. 208. P. 286–292.

14. Colman B.P., Arnaout C.L., Anciaux S., Gunsch C.K., Hochella M.F., Jr., Kim B., Lowry G.V., McGill B.M., Reinsch B.C., Richardson C.J. Low concentrations of silver nanoparticles in biosolids cause adverse ecosystem responses under realistic field scenario // *PLoS ONE*. 2013. Vol. 8.

15. Cvjetko P., Zovko M., Štefanić P.P., Biba R., Tkaliec M., Domijan A.M., Vrček I.V., Letofsky-Papst I., Šikić S., Balen B. Phytotoxic effects of silver nanoparticles in tobacco plants // *Environmental Science and Pollution Research*. 2018. Vol. 25 (6). P. 5590–5602.

16. Ma X., Geiser-Lee J., Deng Y., Kolmakov A. Interactions between engineered nanoparticles (ENPs) and plants: Phytotoxicity, uptake and accumulation // *Science of the Total Environment*. 2010. Vol. 408 P. 3053–3061.

17. Maynard A.D., Warheit D.B., Philbert M.A. The new toxicology of sophisticated materials: Nanotoxicology and beyond // *Toxicological Sciences*. 2011. Vol. 120. P. 109–129. DOI: 10.1093/toxsci/kfq372.

18. Beddow J., Stolpe B., Cole P., Lead J.R., Sapp M., Lyons B.P., Colbeck I., Whitby C. Effects of engineered silver nanoparticles on the growth and activity of ecologically important microbes // *Environmental Microbiology Reports*. 2014. Vol. 6 (5). P. 448–458.

19. Zhang L., Wu L., Si Y., Shu K. Size-dependent cytotoxicity of silver nanoparticles to *Azotobacter vinelandii*: Growth inhibition, cell injury, oxidative stress and internalization // *PLoS ONE*. 2018. Vol. 13, № 12.

20. Abd-Alla M.H., Nafady N.A., Khalaf D.M. Assessment of silver nanoparticles contamination on faba bean-Rhizobium leguminosarum bv. viciae-Glomus aggregatum symbiosis: Implications for induction of autophagy process in root nodule Agriculture // *Ecosystems & Environment*. 2016. Vol. 218. P. 163–177.

21. Vannini C., Domingo G., Onelli E., De Mattia F., Bruni I., Marsoni M., Bracale M. Phytotoxic and genotoxic effects of silver nanoparticles on the germination of wheat seedlings // *J. of Plant Physiology*. 2014. Vol. 171. P. 1142–1148.

22. Yin L., Colman B.P., McGill B.M., Wright J.P., Bernhardt E.S. The effect of silver nanoparticles on the germination and early growth of eleven wetland plants // *PLoS ONE*. 2012. Vol. 7.

23. Kolesnikov S.I., Kazeev K.Sh., Val'kov V.F., Ponomareva S.V. Ranking of Chemical Elements According to Their Ecological Hazard for Soil // *Russian Agricultural Sciences*. 2010. Vol. 36, № 1. P. 32–34.

24. Алексеев В.А. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов. Ростов н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2013. 380 с.

25. Дауд Р.М., Колесников С.И., Кузина А.А., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В. Влияние модельного загрязнения селеном на биологические свойства аридных почв Юга России // *Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки*. 2019. № 2. С. 90–96.

26. Кузина А.А., Колесников С.И., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В. Влияние загрязнения тяжелыми металлами и нефтью на фитотоксичность почв Черноморского побережья Кавказа // *Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки*. 2016. № 2 (190). С. 68–71.

27. Судьина Л.В., Цепина Н.И., Минникова Т.В., Колесников С.И. Влияние загрязнения висмутом на фитотоксичность почв Юга России // *Учен. зап. Крымского федерального ун-та им. В.И. Вернадского. Биология. Химия*. 2019. № 3. С. 110–121.

28. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2016. 356 с.

29. Iram F., Iqbal M.S., Athar M.M., Saeed M.Z., Yasmeen A., Ahmad R. Glucoxylyan-mediated green syn-

thesis of gold and silver nanoparticles and their phytotoxicity study // *Carbohydrate Polymers*. 2014. Vol. 104, № 1. P. 29–33.

30. Salama H. Effects of silver nanoparticles in some crop plants, Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and corn (*Zea mays* L.) // *J. of Biotechnology*. 2012. Vol. 3, № 10. P. 190–197.

31. Calder A.J., Dimkpa C.O., McLean J.E., Britt D.W., Johnson W., Anderson A.J. Soil components mitigate the antimicrobial effects of silver nanoparticles towards a beneficial soil bacterium, *Pseudomonas chlororaphis* O6 // *Science of the Total Environment*. 2012. Vol. 429. P. 215–222.

32. Schlich K., Hund-Rinke K. Influence of soil properties on the effect of silver nanomaterials on microbial activity in five soils // *Environmental Pollution*. 2015. Vol. 196. P. 321–330.

## References

1. Aueviriyavit S., Phummiratch D., Maniratanachote R. (2014). Mechanistic study on the biological effects of silver and gold nanoparticles in  $\text{CaCO}_3$  cells - induction of the Nrf2/HO-1 pathway by high concentrations of silver nanoparticles. *Toxicology Letters*, vol. 224, No. 1, pp. 73–83.

2. Benn T., Cavanagh B., Histovski K., Posner J.D., Westerhoff P. (2010). The release of nanosilver from consumer products used in the home. *Journal of Environmental Quality*, vol. 39, No. 6, pp. 1875–1882.

3. Bhattacharyya P.N., Jha D.K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, vol. 28, pp. 1327–1350.

4. Tóth G., Hermann T., Da Silva M. R., Montanarella L. (2016). Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety. *Environmental Pollution*, vol. 88, pp. 299–309.

5. Reutova N.V. (2015). Mutagenic potential of a number of heavy metals. *Environmental genetics*, No. 3, pp. 70–75. (in Russian).

6. Galazzi R.M., Arruda M.A.Z. (2018). Evaluation of changes in the macro and micronutrients homeostasis of transgenic and non-transgenic soybean plants after cultivation with silver nanoparticles through ionic approaches. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, vol. 48, pp. 181–187.

7. Nair R., Varghese S.H., Nair B.G., Maekawa T., Yoshida Y., Kumar D.S. (2010). Nanoparticulate material delivery to plants. *Plant Science*, vol. 179, pp. 154–163.

8. Tripathi D.K., Singh S., Singh S., Pandey R., Singh V.P., Sharma N.C., Prasad S.M., Dubey N.K., Chauhan D.K. (2017a). Overview of produced nanoparticles in plants: absorption, translocation, accumulation and phytotoxicity. *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 110, pp. 2–12.

9. Samberg M.E., Orndorff P.E., Monteiro-Riviere N.A. (2011). Antibacterial efficacy of silver nanoparticles of various sizes, surface conditions and synthesis methods. *Nanotoxicology*, vol. 5, pp. 244–253.

10. Tripathi D.K., Singh S., Singh S., Srivastava P.K., Singh V.P., Singh S., Prasad S.M., Singh P.K., Dubey N.K., Pandey A.C., Chauhan D.K. (2017b). Nitric oxide eliminates the phytotoxicity of silver nanoparticles (AgNps) in *Pisum sativum* seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 110, pp. 167-177.
11. Ratte H.T. (1999). Bioaccumulation and toxicity of silver compounds: a review. *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 18, pp. 89-108.
12. Schlich K., Hoppe M., Kraas M., Schubert J., Chanana M., Hund-Rinke K. (2018). Long-term effects of three different silver sulfide nanomaterials, silver nitrate and bulk silver sulfide on soil microorganisms and plants. *Environmental Pollution*, vol. 242, pp. 1850-1859.
13. Beer C., Foldbjerg R., Hayashi Y., Sutherland D.S., Autrup H. (2012). Toxicity of silver nanoparticles-Nanoparticle or silver ion? *Toxicology Letters*, vol. 208, pp. 286-292.
14. Colman B.P., Arnaout C.L., Anciaux S., Gunsch C.K., Hochella M.F., Kim B., Lowry G.V., McGill B.M., Reinsch B.C., Richardson C.J. (2013). Low concentrations of silver nanoparticles in biosolids cause adverse ecosystem responses under realistic field scenario. *PLoS ONE*, vol. 8.
15. Cvjetko P., Zovko M., Štefanić P.P., Biba R., Tkalec M., Domijan A.M., Vrček I.V., Letofsky-Papst I., Šikić S., Balen B. (2018). Phytotoxic effects of silver nanoparticles in tobacco plants. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 25, No. 6, pp. 5590-5602.
16. Ma X., Geiser-Lee J., Deng Y., Kolmakov A. (2010). Interactions between engineered nanoparticles (ENPs) and plants: Phytotoxicity, uptake and accumulation. *Science of the Total Environment*, vol. 408, pp. 3053-3061.
17. Maynard A.D., Warheit D.B., Philbert M.A. (2011). The new toxicology of sophisticated materials: Nanotoxicology and beyond. *Toxicological Sciences*, vol. 120, pp. 109-129. DOI: 10.1093/toxsci/kfq372.
18. Beddow J., Stolpe B., Cole P., Lead J.R., Sapp M., Lyons B.P., Colbeck I., Whitby C. (2014). Effects of engineered silver nanoparticles on the growth and activity of ecologically important microbes. *Environmental Microbiology Report*, vol. 6, No. 5, pp. 448-458.
19. Zhang L., Wu L., Si Y., Shu K. (2018). Size-dependent cytotoxicity of silver nanoparticles to *Azotobacter vinelandii*: Growth inhibition, cell injury, oxidative stress and internalization. *PLoS ONE*, vol. 13, No. 12.
20. Abd-Alla M. H., Nafady N.A., Khalaf D. M. (2016). Assessment of silver nanoparticles contamination on faba bean-Rhizobium leguminosarum bv. viciae-Glomus aggregatum symbiosis: Implications for induction of autophagy process in root nodule Agriculture. *Ecosystems & Environment*, vol. 218, pp. 163-177.
21. Vannini C., Domingo G., Onelli E., De Mattia F., Bruni I., Marsoni M., Bracale M. (2014). Phytotoxic and genotoxic effects of silver nanoparticles on the germination of wheat seedlings. *Journal of Plant Physiology*, vol. 171, pp. 1142-1148.
22. Yin L., Colman B.P., McGill B.M., Wright J.P., Bernhardt E.S. (2012). The effect of silver nanoparticles on the germination and early growth of eleven wetland plants. *PLoS ONE*, vol. 7.
23. Kolesnikov S.I., Kazeev K. Sh., Val'kov V.F., Ponomareva S.V. (2010). Ranking of Chemical Elements According to Their Ecological Hazard for Soil. *Russian Agricultural Sciences*, vol. 36, No. 1, pp. 32-34.
24. Alekseenko V.A. (2013). *Chemical elements in geochemical systems. Clarks of soils of residential landscapes*. Rostov-on-Don, Southern Federal University Press, 380 p. (in Russian).
25. Daud R.M., Kolesnikov S.I., Kuzina A.A., Kazeev K.Sh., Akimenko Yu.V. (2019). The influence of model selenium pollution on the biological properties of arid soils in southern Russia. *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestv. nauki (Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus region. Natural Sciences)*, No. 2, pp. 90-96. (in Russian).
26. Kuzina A.A., Kolesnikov S.I., Kazeev K.Sh., Akimenko Yu.V. (2016). The effect of heavy metal and oil pollution on the phytotoxicity of soils in the Black Sea coast of the Caucasus. *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestv. nauki (Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus region. Natural Sciences)*, No. 2 (190), pp. 68-71. (in Russian).
27. Sudyina L.V., Tsepina N.I., Minnikova T.V., Kolesnikov S.I. (2019). The effect of bismuth pollution on the phytotoxicity of soils in southern Russia. *Uchen. zap. Krymskogo federal'nogo un-ta im. V.I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya*, No. 3, pp. 110-121. (in Russian).
28. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Akimenko Yu.V., Dadenko E.V. (2016). *Methods of biodiagnostics of terrestrial ecosystems*. Rostov-on-Don, SFU Press, 356 p. (in Russian).
29. Iram F., Iqbal M.S., Athar M.M., Saeed M.Z., Yasmeen A., Ahmad R. (2014). Glucoxylian-mediated green synthesis of gold and silver nanoparticles and their phytotoxicity study. *Carbohydrate Polymers*, vol. 104, No. 1, pp. 29-33.
30. Salama H. (2012). Effects of silver nanoparticles in some crop plants, Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and corn (*Zea mays* L.). *Journal of Biotechnology*, vol. 3, No. 10, pp. 190-197.
31. Calder A.J., Dimkpa C.O., McLean J.E., Britt D.W., Johnson W., Anderson A.J. (2012). Soil components mitigate the antimicrobial effects of silver nanoparticles towards a beneficial soil bacterium, *Pseudomonas chlororaphis* O6. *Science of the Total Environment*, vol. 429, pp. 215-222.
32. Schlich K., Hund-Rinke K. (2015). Influence of soil properties on the effect of silver nanomaterials on microbial activity in five soils. *Environmental Pollution*, vol. 196, pp. 321-330.

## НАУЧНАЯ ЖИЗНЬ

## SCIENTIFIC LIFE

DOI 10.18522/1026-2237-2020-3-113-114

### XX МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ» К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА РАН И.И. ВОРОВИЧА

С 18 по 21 июня в Южном федеральном университете при поддержке РФФИ проходила онлайн-конференция «Современные проблемы механики сплошной среды», посвященная 100-летию со дня рождения выдающегося отечественного ученого-механика и математика, академика РАН Иосифа Израилевича Воровича. Первоначально проведение конференции планировалось в п. Дивноморское Краснодарского края на базе отдыха Донского государственного технического ун-та «Радуга» в конце мая. В связи со сложившейся ситуацией и карантинными мерами на территории страны оргкомитетом было принято решение об удаленном режиме конференции, что потребовало от организаторов перестроить работу, организовать новую структуру подготовительных мероприятий, новые формы взаимодействия и контакта с участниками, провести обучающие подключения на платформе Microsoft Teams.

Конференция имеет достаточно продолжительную историю. Ее истоки относятся к 1995 г., когда в достаточно сложные для нашей страны годы была организована I конференция, приуроченная к 75-летию Иосифа Израилевича. В те непростые для страны и для науки годы проведение подобного мероприятия позволило поддержать молодых и опытных ученых, наладить обмен научной информацией, дать возможность молодым ученым заявить о себе, восстановить утраченные научные связи.

10 лет назад, в 2010 г., в Азове была проведена конференция, посвященная 90-летию со дня рождения И.И. Воровича, которая была совмещена с выездным заседанием отделения механики РАН.

Несмотря на то что XX конференция проходила в сложных и непривычных условиях дистанционного взаимодействия, она привлекла внимание многих отечественных и зарубежных исследовате-

лей. Это свидетельствует об огромном уважении к памяти И.И. Воровича и авторитете созданной им научной школы. Среди участников конференции, сделавших пленарные доклады, – академики РАН В.А. Бабешко, В.В. Васильев, И.Г. Горячева, В.И. Колесников, Н.Ф. Морозов, члены-корреспонденты РАН Д.А. Индейцев, В.А. Ломакин, В.В. Калинин, Л.В. Ковтанюк, В.Е. Назайкинский, В.В. Пухначев, лауреаты Государственных премий, директора крупных институтов, заведующие кафедрами. Особенно отрадно то обстоятельство, что в конференции приняли участие большое количество молодых исследователей – научных сотрудников, аспирантов, студентов.

На открытии конференции своими воспоминаниями о контактах и жизненных эпизодах поделились участники конференции, был продемонстрирован фильм о жизни и творчестве Иосифа Израилевича. Подробная информация об этом замечательном человеке и выдающемся ученом, научные статьи и воспоминания были опубликованы во втором номере журнала «Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки».

Несмотря на онлайн-формат, конференция оказалась весьма насыщенной. Состоялись 23 пленарных доклада, более 120 произносимых секционных докладов. В работе конференции приняли участие более 300 ученых. Были широко представлены различные научные школы механики и прикладной математики. Авторами докладов были опытные и молодые ученые из различных организаций и городов России: Москвы, Санкт-Петербурга, Ростова-на-Дону, Владивостока, Владикавказа, Иваново, Казани, Кирова, Краснодара, Красноярска, Нижнего Новгорода, Новосибирска, Новочеркасска, Саратова, Перми, Уфы и других городов и научных центров страны. Международный характер конференции был

подтвержден докладами ученых-механиков из ближнего и дальнего зарубежья: Армении, Беларуси, Великобритании, Вьетнама, Германии, Египта, Индии, Италии, Польши, Сирии, Украины, Швейцарии.

Научная тематика исследований была весьма разнообразна. Среди пленарных докладов отметим посвященные различным вопросам механики сплошной среды.

Математические аспекты и методы исследования колебаний: В.А. Бабешко, О.В. Евдокимова, О.М. Бабешко «Математические вопросы теории блочных элементов», Е.В. Глушков, Н.В. Глушкова «Ловушечные моды в упругих волноводах с локальными неоднородностями», А.О. Ватульян «О диагностике свойств элементов конструкций из новых материалов», В.И. Ерофеев, С.И. Герасимов, Е.Е. Лисенкова «Динамика и волновая динамика при высокоскоростном движении объектов по упругим направляющим», И.Н. Шардаков, И.О. Глот, А.П. Шестаков, Р.В. Цветков, В.В. Епин, Г.Н. Гусев «Волновые и колебательные процессы в железобетонной конструкции (эксперимент и расчет)».

Математические проблемы гидроаэродинамики: В.В. Пухначев, О.А. Фроловская, А.Г. Петрова «Растворы полимеров и их математические модели», С.Ю. Доброхотов, В.Е. Назайкинский, Д.С. Миненков «Асимптотические решения нелинейной задачи о накате длинных волн на пологий берег в двумерном случае», Д.В. Георгиевский «Устойчивость диффузионно-вихревых ньютоновских течений в полуплоскости», И.И. Липатов, В.К. Фам «Нелинейные эффекты при распространении возмущений в условиях сильного гиперзвукового взаимодействия».

Новые модели механики и методы их анализа: Е.В. Ломакин, Б.Н. Федулов, А.Н. Федоренко, Н.Г. Минаев «Нелинейное деформирование и разрушение композитных материалов с зависящими от вида внешних воздействий свойствами», Н.В. Курбатова, Ю.А. Устинов «Теория металлических канатов двойной свивки», Н.Ф. Морозов, Б.Н. Семенов, Д.А. Индейцев, Д.С. Вавилов «О влиянии предварительно напряжённого состояния на термоакустический сигнал в токопроводящих материалах», Ю.Н. Радаев «Моделирование пространственных течений необратимо сжимаемых сред Кулона–Мора с помощью геометрии асимптотических направлений», П.Е. Тимошенко, В.Б. Широков, В.В. Калинин, А.В. Панькин «Конечно-элементное моделирование фильтров на поверхностных акустических волнах на основе пленок титаната бария стронция на подложке из оксида магния», А.Б. Фрейдин,

А.В. Морозов, М.А. Полуэктов, В. Мюллер «Распространение, блокирование и устойчивость фронтов химических реакций в деформируемых телах», А.В. Наседкин «Конечно-элементные технологии исследования эффективных свойств наноструктурированных активных композитных материалов с учетом особенностей внутренней структуры и поверхностных эффектов», К.Н. Галимзянова, Л.В. Ковтанюк, Г.Л. Панченко «Ползучесть и вязкопластическое течение в процессе неизотермического деформирования плоского тяжелого слоя», В.А. Еремеев On antiplane surface waves in media with surface energy considering various continual and discrete models, Г.И. Михасев, А. Нобили «Сравнительный анализ двух моделей нелокальной теории упругости на примере свободных колебаний наноразмерной балки».

Контактная механика: И.Г. Горячева «Развитие механики дискретного контакта».

Механика тонкостенных конструкций: П.Е. Товстик, Н.Ф. Морозов, Т.П. Товстик «Двухмерные линейные модели многослойных пластин», С.М. Бауэр, Е.Б. Воронкова «Неклассические теории оболочек в задаче о деформации ортотропных эллипсоидальных оболочек под действием нормального внутреннего давления».

Биомеханика: А.М. Донник, Д.В. Иванов, И.В. Кириллова, Л.Ю. Коссович, С.В. Лихачев, А.Е. Шульга «Биомеханическое моделирование хирургического вмешательства с использованием промежуточных винтов при повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника».

В рамках работы трех научных секций, проходивших параллельно, обсуждались математические вопросы линейной и нелинейной теории упругости, теории волноводов и приложений к неразрушающему контролю, математические вопросы гидродинамики вязкой и идеальной жидкости, новые модели теории пластичности и вязкоупругости, модели механики композитов, модели связанных полей и биомеханики, задачи теории трещин и контактного взаимодействия, вычислительные технологии решения различных классов задач механики сплошной среды, экспериментальные исследования.

В целом XX Международная конференция «Современные проблемы механики сплошной среды» прошла на высоком научном уровне, с большим числом докладчиков и слушателей. Конференция позволила обсудить широкую палитру актуальных проблем механики, поделиться результатами научных исследований ученым из различных регионов, вспомнить и почтить память И.И. Воровича.

*А.О. Ватульян, М.Ю. Жуков, М.И. Карякин, А.В. Наседкин*

DOI 10.18522/1026-2237-2020-3-115-117

## ГОСУДАРСТВЕННОМУ ПРИРОДНОМУ БИОСФЕРНОМУ ЗАПОВЕДНИКУ «РОСТОВСКИЙ» – 25 ЛЕТ

Европейские степи, обладающие наиболее плодородными для сельского хозяйства почвами и другими природными богатствами, характеризуются наиболее трансформированным ландшафтом. Это негативно отразилось на их природе, в том числе и на биоразнообразии, биоресурсах. Многие животные здесь исчезли (дикая лошадь – тарпан, тур, зубр, степной тетерев и др.), большое количество видов резко сократило районы обитания и численность. Сайгак, дрофа, стрепет, степной орел и т.д. включены в Красные книги. Их место заняли другие адаптировавшиеся к деятельности человека организмы, среди которых вредители растений, паразиты животных и человека, переносчики болезней и т.п. Это заставляет серьезно заниматься вопросами сохранения биоразнообразия, регулирующей численности отдельных видов.

Одним из наиболее важных направлений в охране природы является создание сети особо охраняемых природных территорий (ООПТ), прежде всего заповедников. С начала XX в. В.А. Докучаев, Г.А. Кожевников, И.П. Бородин, К.М. Залесский, Е.М. Лавренко, И.В. Новопокровский, Г.М. Зозулин и многие другие ученые России добивались организации на Дону степного заповедника. Только в конце века (27.12.1995) удалось создать первый степной заповедник «Ростовский» площадью 9531,5 га. Он был организован на антропогенно опустыненных землях в Орловском и Ремонтненском районах Ростовской области (РО).

Благодаря активности директоров заповедника (А.В. Чекин и Л.В. Клец) был подобран его коллектив, организована охрана, получено и оборудовано здание офиса, построен визит-центр и кордоны, приобретены транспорт и оборудование, сооружены артезианские скважины с пресной водой, причалы и т.д. Большую помощь в становлении заповедника, налаживании полезных связей с другими структурами, в организационном, материальном и других отношениях ему оказала ассоциация «Живая природа степи», а в научной, исследовательской работе помогли зоологи Ростовского государственного университета (РГУ). Была создана охранная зона (74,35 тыс. га), организованы поле-

вой стационар и Центр редких животных европейских степей ассоциации, построен полевой научно-экспедиционный стационар ЮНЦ РАН «Маныч». К деятельности заповедника привлекли внимание Ростоблкомприроды и Росприроднадзора, Законодательного собрания РО (ЗС РО), администраций РО и районов. Большую поддержку ему оказали ОАО «Газпром газораспределение Ростов-на-Дону», ООО «Газпром межрегионгаз Ростов н/Д», ООО «Солнечное» и «Колос», иные организации. На территории заповедника и его охранной зоны сформировался Манычский природный комплекс (МПК). Были заключены договоры по природоохранной деятельности с минприроды РО, администрациями районов, заповедниками («Аскания-Нова», «Приокско-Террасный», «Черные земли», др.), научными организациями (РГУ-ЮФУ, ИПЭЭ РАН, Ин-т степи УрО РАН, ЮНЦ РАН и др.), зоопарками, общественными и иными структурами

Совместная деятельность заповедника с ассоциацией и другими структурами позволила на МПК за 10–15 лет вернуть природный травостой. Выявлено более 500 видов растений, большие площади занимают полыни, катраны, касатики, ковыли, тюльпаны и иные растения. Здесь отмечены более 2,5 тыс. видов членистоногих, 267 – птиц (из них 142 регулярно или иногда гнездятся), 34 – млекопитающих и многие другие животные. Возросло количество стрепета, журавля-красавки, серой куропатки, зайца-русака, иных видов. Размножаются венгерская и бессарабская жужелицы, пеликаны, колпица, чеграва, курганник, орлан-белохвост, корсак, иные редкие виды, включенные в Красные книги РО, РФ, МСОП. Успехи заповедника подтвердили работники Минприроды РФ, СИТЕС, WWF, ЮНЕСКО, других структур. Созданный на антропогенно опустыненных землях заповедник «Ростовский» решением XX сессии Международного совета по программе ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (Мадрид, 03.02.2008) получил статус природного резервата ЮНЕСКО и был включён во Всемирную сеть биосферных резерватов, т.е. получил международную известность и признательность. Учитывая эффективную природоохранную деятель-

ность заповедника, Минприроды РФ в 2011 г. возложило на него соблюдение режима второй в РО федеральной ООПТ – государственного природного заказника «Цимлянский», потерявшего в 90-е гг. XX в. – первое десятилетие XXI в. свои природоохранные функции.

К настоящему времени заповедник стал ведущей на Юге России базой для научных работников РАН, вузов, иных структур. Ежегодно здесь работают специалисты из Москвы, Санкт-Петербурга, Ростова, Оренбурга, Элисты и других научных центров, ученые ЮНЦ РАН, МГУ, ЮФУ, Воронежского и Калмыцкого ГУ, Российского ГАУ им. К.А. Тимирязева, Донского ГАУ, ИПЭЭ РАН, Инта степи УрО РАН, Ростовского противочумного ин-та. Так, в 2018 г. в МПК проводили исследования 12 научно-исследовательских организаций. Специалисты изучают степные экосистемы, состав флоры и фауны, выясняют влияние на них различных природных и антропогенных факторов, ведут мониторинг живой природы, разрабатывают мероприятия по сохранению биоразнообразия и исследуют многие другие вопросы экологии и природоохранной деятельности. На стационаре ассоциации решаются проблемы содержания и разведения ценных и редких животных. В МПК были академики Ю.Ю. Балега, В.В. Рожнов, А.А. Чибилев, В.Н. Большакова, Г.Г. Матишов, профессора Н.Н. Дроздов, Б.Д. Абатуров, А.Г. Сорокин, Е.И. Ильяшенко, С.В. Левыкин, В.А. Остапенко и многие другие. В работе заповедника участвовали специалисты из США, Великобритании, Франции, Германии, Японии, Израиля, Польши, Аргентины и других стран. Полученный в заповеднике материал используется в кандидатских и докторских диссертациях, монографиях, научных статьях, решениях природоохранных вопросов. Сотрудники заповедника вместе с другими организациями регулярно проводят международные форумы (организовано 6) и участвуют в различных конференциях, издают свои научные труды (вышло 6), книги, сборники статьи, альбомы и иную продукцию.

Ежегодно студенты из ЮФУ, ДонГАУ, МГУ, других вузов страны проходят в заповеднике учебную и производственную практику. В 2018 г. здесь было 36 студентов из 4 вузов. На основе собранного материала они пишут курсовые, выпускные и дипломные работы, магистерские и кандидатские диссертации. Учителя школ пос. Орловского, городов Ростов, Азов, Пролетарск и иных населенных пунктов в музее, в визит-центре, на территории заповедника проводят практические занятия с учащимися.

На Юге России заповедник стал ведущим центром по природоохранной деятельности, формиро-

ванию экологических знаний, мышления и культуры у населения, по развитию экотуризма. Его сотрудники активно участвуют в различных международных, всероссийских и региональных экологических акциях («День Земли», «Марш парков», «Сохраним первоцветы», «Дикая природа России: сохранить и увидеть», «Осенний учёт птиц», «Экология и культура – будущее России», «Загадки Манычской долины», «Живой природе – живое участие» и др.). Только в 2018 г. на экологических мероприятиях и заповедных маршрутах в МПК побывали более 20 000 человек. В День заповедников и национальных парков (11 января) сотрудники отдела просвещения начали работу в межрегиональном эколого-просветительском проекте «Письма животным» в рамках программы «Дикая природа России: сохранить и увидеть». В нем приняли участие более 200 воспитанников дошкольных учреждений РО.

В целях объединения усилий различных структур для решения природоохранных вопросов, координации их деятельности по охране и восстановлению биоразнообразия, экологическому просвещению населения и развитию экотуризма ежегодно в МПК проводится фестиваль «Воспетая степь». Первый фестиваль, собравший около 300 человек, организовала ассоциация на базе своего центра 10–11.10.2013. В нем приняли участие заповедник, ОАО «Газпром газораспределение Ростов н/Д», Минобразование РО, туристические структуры РО, ООО «Солнечное», СМИ, учителя и ученики школ Ростова и пос. Орловского, иные организации. На нем ассоциация, заповедник и другие структуры РО отчитались о своей деятельности по сохранению степного биоразнообразия, экологическому образованию и воспитанию населения, экотуризму на Дону. Собравшиеся обсудили актуальные вопросы экологии Дона, обменялись опытом работы, подвели её итоги и составили планы дальнейшей деятельности. В центре прошел марш флагов школьников с экологическими знаменами. На реконструкции «Скифские амазонки» все увидели оседлавших коней воинственных женщин, а на промоакции «Ускоряя мечту» посадили тюльпаны, деревья. Площадки «Сокол на перчатке», «От отходов в доходы», «Сувенирный шалаш», фотоплощадка «В образе» и другие предложили участникам активное взаимодействие, требовавшее проявить эрудицию, знания. Все посетили заповедные степи, познакомились с редкими и иными животными в полевом стационаре и центре ассоциации, заповеднике.

Фестиваль заинтересовал население и его сделал регулярным. С каждым годом улучшалась его организация, увеличивались количество и геогра-

фия участников. Первые 3 фестиваля прошли в центре и стационаре ассоциации. С IV фестиваля их организаторами стали минприроды РО, заповедник, ассоциация, департамент по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций РО и администрация Орловского р-на. Фестивали стали межрегиональными и проводились в открытой степи, где в эти дни вырастал временный палаточный городок со сценой, мастер-классами, презентационными площадками, сувенирными шалашами, стоянками для автомашин, буфетами и медпунктами. За порядком следили казаки, дорожная полиция. В 2017 г. VI фестиваль был включен в федеральный план по проведению Года экологии и ООПТ и стал всероссийским. Если I фестиваль (10–11.10.2013) посетили около 300 чел., II (18–19.04.2014) – 500, III (19–20.09.14) – 630, то IV (18–19.04.15) – уже 3500, V (16–17.04.2016) – 7 тыс., VI (2–29.04.2017) – более 7 тыс., VII (20–23.04.2018) – более 10 тыс., VIII (13–20.04.2019) – 15 тыс. школьников, учителей, студентов, представителей власти, бизнеса, общественных организаций и любителей природы – это количество зарегистрированных участников. Примерно столько же посещает МПК без регистрации. Так, на торжественной части VI и VIII фестивалей присутствовали по 7 тыс., а всего на каждом из них было более 15 тыс.

участников. С природой МПК познакомились сотни тысяч жителей РО и других регионов, главы всех р-нов РО, гости из Москвы, Санкт-Петербурга, Калмыкии, Ставрополя, Кубани, Мурманска и других мест, спецпредставитель президента России С.Б. Иванов, министры РФ и РО, члены парламента России и Совета Федерации, ЗС РО, председатель правления ОАО «Газпром», президент Сбербанка РФ, директор «Газпром газораспределение Ростов н/Д» и многие другие. Фестивали объединяют неравнодушных к сохранению природы людей, прежде всего школьников, студентов, учителей, представителей различных экологических организаций, ответственных за природоохранную работу. Посетители приобретают богатую информацию о природе степей, получают природоохранные знания и понимание роли природы в нашей жизни.

В настоящее время заповедник «Ростовский» выполняет важнейшую роль в сохранении и восстановлении природы Юга России, в том числе и его биоразнообразия, биоресурсов. За 25-летний период существования его сотрудники внесли большой вклад в решение многих природоохранных проблем. От имени всех экологов Ростовской области сердечно поздравляю сотрудников заповедника со славным юбилеем и искренне желаю дальнейших успехов в охране природы Донской земли.

**В.А. Миноранский,**

*профессор ЮФУ,*

*председатель ассоциации «Живая природа степи»*

## НАШИ ЮБИЛЯРЫ

### OUR PERSONS

---

DOI 10.18522/1026-2237-2020-3-118-119

### ЛЮБОВЬ СЕМЕНОВНА ВОРОВИЧ (к 90-летию со дня рождения)



Любовь Семеновна Ворович влилась в ряды сотрудников нашего журнала 27 лет назад, имея за спиной большой стаж научно-педагогической деятельности в Ростовском инженерно-строительном институте. На новом месте в должности редактора отдела ей пришлось постигать тонкости и премудрости специальности, далекой от ее прежней профессии. Присущие ей жажда познания, огромное трудолюбие, перфекционизм помогли успешно справиться с этой задачей.

Время её перехода в журнал совпало со сломом государственного устройства, кризисом не только в сфере научной периодики, но и в науке в целом. Приходилось искать пути сохранения журнала, одного из авторитетнейших полиотраслевых научных изданий, а также осваивать новые издательские технологии, помогающие минимизировать производственные издержки. Но и в этих условиях надо было сохранять на прежнем уровне качество рецензирования, редактирования, работы с текстами статей. Нужно было выстраивать отношения с рецензентами, членами редколлегии, авторами. Учитывая то, что в тот период были проблемы с финансированием, зарплата почти не выплачивалась, это было очень непросто. Памятуя о своем голодном детстве и не очень сытой юности, Любовь Семеновна всегда пыталась изыскать возможности, чтобы помочь молодым ученым с публикацией их результатов, она не раз проверяла и перепроверяла их, чтобы сделать статью более значимой.

Захлестнувший впоследствии вал статей потребовал много сил моральных и физических, огромного терпения, непрерывного совершенствования в квалификации, а порой и дипломатических способностей. Неизменная доброжелательность, огромный кругозор, готовность подставить плечо в трудную минуту позволили Любови Семеновне с честью справиться с такими большими нагрузками.

Красивая женщина, остроумная собеседница, надежный друг, очень хлебосольная, в чем не раз убеждались и рецензенты, и члены редколлегии, и

сотрудники. От всей души поздравляем Любовь Семеновну с замечательным юбилеем, желаем ей крепкого здоровья и долгих лет жизни. Мы Вас очень любим и ценим! Так держать!

Коллеги, сотрудники редакции нашего журнала, члены редколлегии серии «Естественные науки» присоединяются к поздравлениям и желают нашей дорогой Любови Семеновне как можно дольше оставаться бодрой духом и телом, морального удовлетворения и плодотворного долголетия, а также внимания, тепла и поддержки дорогих ей людей!



Ректор РГУ Ю.А. Жданов и Любовь Семеновна с мужем И.И.Воровичем (2000 г.)

*Е.Г. Гежа, заместитель главного редактора журнала  
«Известия вузов. Северо-Кавказский регион» (2002–2015 гг.)*

DOI 10.18522/1026-2237-2020-3-120-122

## ЮРИЙ ФЕДОРОВИЧ КОРОБЕЙНИК (к 90-летию со дня рождения)



18 июля 2020 г. исполнилось 90 лет известному ученому, заслуженному деятелю науки Российской Федерации, заслуженному профессору Ростовского государственного университета Юрию Федоровичу Коробейнику.

Научные интересы Ю.Ф. Коробейника чрезвычайно широки и разнообразны. Его работы по тео-

рии дифференциальных операторов бесконечного порядка, операторам свертки, теории абсолютно представляющих систем, интерполяционным задачам в пространствах аналитических функций и их связи с базисами и по многим другим актуальным направлениям комплексного и функционального анализа широко известны в России и далеко за ее пределами. Им опубликовано около 400 научных статей и десять монографий, оказавших значительное влияние не только на его непосредственных учеников, но и на многих математиков из других научных центров и школ.

Много сил и внимания Ю.Ф. Коробейник уделял подготовке и воспитанию достойной научной смены. Под его непосредственным руководством выполнены 22 кандидатские диссертации, пять его учеников стали докторами наук. По инициативе Ю.Ф. Коробейника был создан и под его руководством успешно работал первый докторский совет в ЮФУ по специальностям 01.01.01 и 01.01.02, до последнего времени – единственный совет ВАК по этим специальностям на Юге России.

Вся профессиональная жизнь Ю.Ф. Коробейника, начиная со студенческой скамьи, связана с Ростовским государственным, ныне Южным федеральным университетом. На всех постах, на которых ему пришлось работать (ассистент, доцент, профессор, заведующий кафедрой, заведующий отделом в НИИ механики и прикладной математики, проректор РГУ по науке), он с неукротимой энергией стремился к одной цели – укреплению и дальнейшему развитию университета и механико-математического комплекса. Одно из ярких свидетельств его высочайшего авторитета среди математиков и механиков Ростова – Ю.Ф. Коробейник в течение 15 лет, с 1985 по 1999 г., был бессменным президентом Ростовского математического общества.

Благодаря совместным усилиям Ю.Ф. Коробейника и директора (в настоящее время научный руководитель) Владикавказского научного центра РАН А.Г. Кусраева в ЮФУ был фактически создан филиал Южного математического института ВНЦ РАН, в котором Ю.Ф. Коробейник продолжает свою научную деятельность и в настоящее время. Плодотворность этого сотрудничества для обеих организаций, а главное – для развития математики и механики на Юге России, была многократно подтверждена по самым разным направлениям развития современной науки: проведением совместных исследований по государственным программам, многогранной издательской деятельностью, организацией научных школ и конференций, подготовкой молодых ученых к профессиональной деятельности.

Заслуги Ю.Ф. Коробейника получили высокую оценку государства и научной общественности. В 1991 г. ему было присвоено звание заслуженного деятеля науки Российской Федерации, он награжден орденом Дружбы. В 1996 г. ученый совет Ростовского государственного университета присвоил Ю.Ф. Коробейнику почетное звание заслуженного профессора.

*Более подробную информацию о жизненном и творческом пути Ю.Ф. Коробейника можно найти в следующих изданиях:*

– Математика в СССР за сорок лет, 1917–1957. М.: ГИФМЛ, 1959. Т. 2. С. 332;

– Математика в СССР, 1958–1967. М.: Наука, 1969. Т. 2, ч. 1. С. 652–653;

– История отечественной математики. Киев: АН СССР и АН УССР, 1970. Т. 4, кн. 2. С. 584;

– Белозеров С.Е., Миесерова С.И., Ткачева В.А. Механико-математический факультет Ростовского госуниверситета. Ростов н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 1972. Вып. 2. С. 203–209;

– Епифанов О.В., Ильин В.А., Никольский С.М., Седлецкий А.М., Ульянов П.Л., Шеремета М.Н. Юрий Федорович Коробейник (к 60-летию со дня рождения) // Успехи математических наук. 1992. Т. 47, вып. 5. С. 199–200.

– Автобиографический очерк «Долгий путь в науке» (Коробейник Ю.Ф. Избранные труды. Владикавказ: Изд-во ВНЦ РАН и РСО-А, Т. 1, 3. 2011 и 2013.

*Основные научные публикации профессора Ю.Ф. Коробейника:*

Об одном методе исследования дифференциального уравнения бесконечного порядка // Мат. сб. 1962. Т. 56, № 1. С. 107–128.

Об области определения аналитического решения дифференциального уравнения бесконечного порядка // Мат. сб. 1964. Т. 64, № 2. С. 153–170.

Об операторах обобщенного дифференцирования, применимых к любой аналитической функции // Изв. АН СССР. Математика. 1964. Т. 28, № 4. С. 833–854.

О некоторых характеристических свойствах дифференциальных операторов бесконечного порядка // Изв. АН СССР. Математика. 1966. Т. 30, № 5. С. 993–1016.

О решениях дифференциального уравнения бесконечного порядка, аналитических в некруговых областях // Мат. сб. 1966. Т. 71, № 4. С. 535–544.

Некоторые применения теории нормально разрешимых операторов к дифференциальным уравнениям бесконечного порядка // Мат. сб. 1967. Т. 72, № 1. С. 3–37.

О решениях некоторых функциональных уравнений в классах функций, аналитических в выпуклых областях // Мат. сб. 1968. Т. 75, № 2. С. 225–234.

Существование аналитического решения дифференциального уравнения бесконечного порядка и характер его области аналитичности // Мат. сб. 1969. Т. 80, № 1. С. 52–76.

Дифференциальные уравнения бесконечного порядка и бесконечные системы дифференциальных уравнений // Изв. АН СССР. Математика. 1970. Т. 34, № 4. С. 881–922.

Нормальная разрешимость линейных дифференциальных уравнений в комплексной плоскости // Изв. АН СССР. Математика. 1972. Т. 36, № 2. С. 450–471.

Об одной двойственной задаче. 1. Общие результаты. Приложения к пространствам Фреше // Мат. сб. 1975. Т. 97, № 2. С. 193–229.

Представляющие системы // Изв. АН СССР. Математика. 1978. Т. 42, № 2. С. 325–355.

Интерполяционная задача, нетривиальные разложения нуля и представляющие системы // Изв. АН СССР. Математика. 1980. Т. 44, № 5. С. 1066–1114.

Представляющие системы // Успехи матем. наук. 1981. Т. 36, № 1. С. 73–126.

Уравнения свертки в комплексной области // Мат. сб. 1985. Т. 127, № 2. С. 173–197.

Индуктивные и проективные топологии. Достаточные множества и представляющие системы // Изв. АН СССР. Математика. 1986. Т. 50, № 3. С. 539–565.

О правом обратном для оператора свертки, действующего в пространствах ростков на связных множествах в  $C$  // *Мат. сб.* 1996. Т. 187, № 1. С. 55–82.

Представляющие системы экспонент и задача Коши для уравнения в частных производных с постоянными коэффициентами // *Известия РАН. Сер. матем.* 1997. Т. 61, № 3. С. 91–132.

О сюръективности оператора свертки в пространствах аналитических функций // *Сиб. мат. журн.* 1997. Т. 38, № 6. С. 1308–1318.

On absolutely representing systems in spaces of infinitely differentiable functions // *Studia Math.* 2000. Vol. 139, № 2. P. 175–188.

Профессионал самого высокого уровня, блестящий ученый, замечательный организатор, всегда и во всем служивший интересам дела, которому он посвятил свою жизнь, и одновременно активный общественник, искренний и неравнодушный человек. Все эти качества снискали Ю.Ф. Коробейнику глубокое уважение коллег и признательность его учеников.

Друзья, коллеги, редакционная коллегия и редакция журнала поздравляют Юрия Федоровича с юбилеем и желают ему крепкого здоровья, внимания, тепла и заботы со стороны близких, а также многих лет жизни, наполненных новыми творческими успехами!

*А.В. Абанин, А.О. Ватulyян, М.И. Карякин, С.Б. Климентов, А.Г. Кусраев, Ю.А. Устинов*

DOI 10.18522/1026-2237-2020-3-123-126

## НЕУТОМИМОСТЬ И АКТИВНОСТЬ (к 80-летию со дня рождения В.С. Рабиновича)



2 сентября 2020 г. исполнилось 80 лет видному российскому математику, доктору физико-математических наук, профессору Национального политехнического института Мексики, нашему товарищу и коллеге, члену редколлегии журнала Владимиру Самуиловичу Рабиновичу.

Владимир Самуилович прошел в Ростовском университете (ныне Южный федеральный университет) путь от студента до ведущего профессора кафедры алгебры и дискретной математики. Еще аспирантом на кафедре дифференциальных и интегральных уравнений (руководитель доцент В.А. Какичев) он вошел в коллектив известной научной школы профессора Игоря Борисовича Симоненко, стал одним из ключевых участников его семинара. С 1972 г. он – преподаватель созданной И.Б. Симоненко кафедры алгебры и дискретной математики, где прошел весь путь становления как ученого, так и преподавателя. Здесь он стал доцентом, а после защиты в 1993 г. докторской диссертации – профессором.

В течение многих лет В.С. Рабинович читал курс математического анализа для математиков-прикладников в связке со своим учителем И.Б. Симоненко, а затем курс алгебры и геометрии для математиков-прикладников и механиков. К сожалению, Владимир Самуилович не написал по этому курсу учебник или учебное пособие. У одного из авторов статьи сохранились конспекты его лекций. Даже по ним видно, насколько его курс был близок к необходимому и достаточному.

На кафедре алгебры и дискретной математики РГУ Владимир Самуилович создал свою научную школу по теории псевдодифференциальных операторов, воспитал и подготовил целую плеяду учеников, среди которых А. Бабаян, Л. Докторский, В. Кряквин, Б. Ланге, С. Левендорский, М. Лоренц, Я. Луцкий, О. Обрезанова, Л. Ураждина. Активную работу по подготовке научных кадров Владимир Самуилович продолжает в Национальном политехническом институте Мексики, где он работает профессором уже свыше 20 лет. В Мексике он подготовил 6 докторов (PhD) и 22 магистров.

*Приведём далеко не полный обзор основных научных результатов юбиляра, подготовленный его учеником и младшим коллегой В.Д. Кряквинным.*

Первая работа опубликована в 1967 г. В ней рассматривался вопрос о решении в замкнутом виде многомерных уравнений Винера – Хопфа для конусов. В 1968 г. последовала публикация об обобщении на весовой случай пространств Лебега оценок для операторов, инвариантных относительно сдвига. Статьи 1967–1969 гг., посвященные вопросам разрешимости (фредгольмовости) многомерных уравнений Винера – Хопфа в неограниченных  $n$ -мерных областях, имеющих коническую структуру на бесконечности, естественным образом привели к защите в 1969 г. кандидатской диссертации. Следует сказать, что Владимир Самуилович заинтересовался и не только принял на вооружение, но и получил замечательные результаты в бурно развивающемся в то время направлении, изучающем новый объект – псевдодифференциальные операторы.

Им были впервые рассмотрены задачи о разрешимости (фредгольмовости) краевых задач для некоторых классов эллиптических псевдодифференциальных операторов в областях с неограниченной границей, имеющей коническую структуру на бесконечности, а также получены априорные оценки для их решений. После защиты кандидатской диссертации последовали работы, в которых получены интересные результаты для квазиэллиптических псевдодифференциальных операторов и о разрешимости задач Коши и Гурса для параболических псевдодифференциальных уравнений (1971–1979 гг. и далее), о разрешимости дифференциально-разностных уравнений (1978–1985 гг. и далее), о фредгольмовости эллиптических псевдодифференциальных операторов и краевых задач для них на некомпактных многообразиях (работы 1971–1979 гг.).

Продолжая исследования И.Б. Симоненко по многомерным операторам типа свертки, в 1974 г. для этих операторов в конусе были получены необходимые и достаточные условия нетеровости в  $L_p$ -пространстве с экспоненциальным весом.

Эти условия заключаются в том, что символ оператора не должен вырождаться на остове некоторой трубчатой области, связанной с весом и конусом. Ключевые идеи, содержащиеся в этой работе, дали ростки для последующих исследований других классов операторов в разных функциональных пространствах с экспоненциальным весом. В одномерном случае соответствующий результат принадлежит И.Ц. Гохбергу и М.Г. Крейну.

В работах 1982 и 1983 гг. были рассмотрены алгебры, порожденные псевдодифференциальными операторами, операторами умножения на почти периодические функции и операторами сдвига, потом совместно с аспирантом Р. Бабаджанян в работах 1985–1987 гг. были изучены системы интегрально-разностных уравнений в полупространстве на основе локального принципа И.Б. Симоненко (в модификации В.С. Пилиди) и получены условия их нетеровости.

Следующие важные научные результаты В.С. Рабиновича связаны с развитым им методом предельных операторов. Идея предельных операторов, по-видимому, впервые появилась в статье Дж. Фавара (1927 г.) о существовании решений для обыкновенных дифференциальных уравнений с почти периодическими коэффициентами. Далее идею использования предельных операторов применил Э.М. Мухамадиев для описания разрешимости эллиптических уравнений в частных производных (1981 г.), но В.С. Рабинович впервые обобщил этот подход, создав в большой степени общую и даже абстрактную схему метода предельных операторов для ис-

следования разрешимости (фредгольмовости) операторов из различных классов.

Начало в развитии и использовании метода предельных операторов было положено В.С. Рабиновичем в работах 1985 и 1986 гг., выполненных совместно с аспирантом Б. Ланге. Дальнейшие продвижения привели к исследованию разрешимости (фредгольмовости) псевдодифференциальных операторов из нескольких общих классов в разных шкалах функциональных пространств, дискретных и непрерывных операторов типа свертки, общих граничных задач на многообразиях с краем, имеющим коническую структуру на бесконечности, и т.д. (работы 1988, 1992–1994, 1998, 1999, 2001–2003 гг. и более поздние, например работы 2015 г.). В 1993 г. им была защищена докторская диссертация по специальности 01.01.03 «Математическая физика» (физико-математические науки) на тему «Метод предельных операторов в вопросах разрешимости псевдодифференциальных уравнений и уравнений типа свертки». Как видно из перечня публикаций, прошедшая защита была лишь шагом к последующим научным исследованиям, открытиям и достижениям.

Во время непродолжительной работы в Португалии В.С. Рабиновичем был написан и издан небольшой, но очень емкий учебник: *Rabinovich V.S. An Introductory Course on Pseudodifferential Operators*. Instituto Superior Tecnico. Textos de Matematica. Lisbon: Centro de Matematica Aplicada, 1998.

В этот же период была продолжена работа в сотрудничестве с С. Рохом и Б. Зильберманном (Германия), начатая статьей 1998 г. Итогом их совместной работы стала изданная в 2004 г. монография *Limit Operators and Their Applications in Operator Theory* (Rabinovich V., Roch S., Silberman V. Birkhäuser Verlag, Basel, *Operator Theory: Advances and Applications*, vol. 150), в которой изложена общая теория метода предельных операторов и даны ее эффективные применения к исследованию различных задач для дискретных и непрерывных операторов, включая операторы типа свертки, псевдодифференциальные, сингулярные интегральные операторы на кривых Карлесона. В этой монографии предложен также вариант проекционного метода решения соответствующих уравнений.

Следует отметить, что идеи и методы, предложенные в указанной монографии, интенсивно используются и развиваются в настоящее время в работах многих американских, немецких и французских математиков.

Исследования, связанные с предельными операторами, были продолжены соавторами в 2004–2010 гг., в том числе в направлении приложений к задачам математической физики и построений эффективных численных алгоритмов для решения этих задач.

Всего в соавторстве с С. Рохом и/или Б. Зильберманном В.С. Рабинович опубликовал около 30 работ.

Даже названия опубликованных работ свидетельствуют о разносторонности математических интересов В.С. Рабиновича, так что упомянуть все полученные им результаты затруднительно. Но тем не менее продолжим, обратив внимание на работы, посвященные алгебрам сингулярных интегральных операторов, определенных на классе составленных кривых Карлесона. В работах 1991–1996 гг. было показано, что псевдодифференциальные операторы Меллина с символами из подходящих классов являются эффективным инструментом для исследования сингулярных интегральных операторов на контурах с особенностями типа логарифмического завихрения, проведено их полноценное исследование, изучены свойства псевдодифференциальных операторов Меллина и сингулярных интегральных операторов. Эти исследования были продолжены в соавторстве с А. Бетчером (Германия) и Ю.И. Карловичем (Мексика) в работах 1996, 1998, 2000, 2001 гг. В них рассматривались спектры сингулярных интегральных операторов на составных кривых Карлесона с особенностями, псевдодифференциальные операторы Меллина и сингулярные интегральные операторы для весов, удовлетворяющих условию Макенхаупта, и другие родственные задачи.

Еще одно направление исследований, в которое юбиларом был внесен существенный вклад, напрямую связано с современной теорией пространств функций с переменными порядками и показателями. В совместных работах с С.Г. Самко 1997, 2007, 2008, 2011 и 2012 гг. были изучены сингулярные интегральные операторы на составных кривых Карлесона в пространствах Лебега с переменными показателями и в пространствах Гёльдера с весом, а также псевдодифференциальные операторы в пространствах Лебега с переменными показателями. В работах 2017 и 2018 гг. в коллаборации с В. Кряквиним были рассмотрены псевдодифференциальные операторы переменного порядка в шкалах пространств Гёльдера – Зигмунда и Бесова с переменным показателем гладкости, получены достаточные условия компактности и фредгольмовости, в том числе и в весовых пространствах со сверхстепенным поведением на бесконечности.

Замечательный коллектив (В. Рабинович, Б.-В. Шульце, Н. Тарханов (Германия)) собрался для того, чтобы в шести работах 2000–2002 и 2004 гг. изучить разрешимость и свойства решений краевых задач в областях с нелипшицевыми сингулярностями на границе, а также сингулярные интегральные операторы в аналогичных областях.

Еще одно направление, начало которому было положено в работе 1974 г. (продолжено совместно с

аспирантом Я.А. Луцким), посвящено исследованию псевдодифференциальных операторов в пространствах обобщенных функций экспоненциального поведения на бесконечности (1976–1978 гг.), а через некоторое время в совместных работах с Я. Луцким (2008 и 2009 гг.), где они исследовали обратимость параболических псевдодифференциальных операторов с быстрорастущими символами и получили оценки экспоненциального поведения решений псевдодифференциальных операторов с растущими и разрывными символами.

Нужно сказать, что в работах 1974 и 1978 гг. был введен класс псевдодифференциальных операторов с аналитическими символами в трубчатой области  $R^n + i\Omega$  в  $\mathbb{C}^n$ . В ней и в серии работ 1997, 2004, 2006, 2008, 2009, 2011 гг., последние (может, уже и не последние) из которых относятся к 2017–2018 гг., изучены свойства этих операторов, получены сильные результаты о поведении решений дифференциальных и эллиптических псевдодифференциальных уравнений в окрестности сингулярности коэффициентов и на бесконечности, доказаны теоремы об ограниченности во многих важных шкалах пространств, исследована фредгольмовость в соответствующих пространствах с экспоненциальными весами, доказано экспоненциальное убывание решений эллиптических псевдодифференциальных уравнений на бесконечности. В статьях 2004, 2008–2010 гг. были также приведены приложения полученных результатов к исследованию экспоненциального убывания собственных функций уравнений Шрёдингера, Дирака и др.

Научные интересы В.С. Рабиновича распространяются и на широкие прикладные области, включающие распространение акустических и электромагнитных волн в различных средах и от различных источников, задачи дифракции, вопросы квантовой физики и т.д. В работах 1989, 1990, 1993, 1996 и 1998 гг. совместно с С.М. Грудским и другими сотрудниками лаборатории акустики Ростовского государственного университета, а также аспиранткой О.А. Обрезановой исследовалось распространение звука на больших расстояниях в океане от движущегося источника при различных условиях. Были построены асимптотические приближения для акустических полей в стратифицированных волноводах. Эти и родственные исследования были продолжены в работах 2003, 2005, 2007, 2009, 2010 гг. в Мексике с мексиканскими коллегами и учениками.

Публикации последнего десятилетия (к сожалению, не о всех нам известно) показывают, что Владимира Самуиловича увлекли математические задачи, возникающие в квантовой физике. Можно, например, отметить работу 2018 г. о матрице переноса в квантовых волноводах с примесями, или

работы 2017–2019 гг. об исследовании самосопряженности и существенного спектра операторов Шрёдингера с взаимодействиями на неограниченных гиперповерхностях. Работы, в том числе, выполненные в этот период совместно с В. Кравченко, Г. Бурлаком и их мексиканскими коллегами, об электромагнитных полях в различных средах, создаваемых движущимися источниками, в частности, об излучении Черенкова и др., подтверждают высказанный тезис. В этих областях исследований не просто получены теоретические результаты, они доведены до «числа»: работа 2017 г. посвящена численным оценкам акустического поля в океане с движущимся в воздухе источником, а работа 2019 г. позволяет численно исследовать дискретный спектр одномерного оператора Шрёдингера с точечными взаимодействиями.

Удивительна научная продуктивность Владимира Самуиловича как исследователя. В этом обзоре нам удалось затронуть лишь часть его научного продукта. Некоторые его статьи еще неизвестны в России, некоторые еще стоит разобрать и понять.

Обратимся к статистике и базам данных, которые ее предоставляют. За последние 10 лет, включая еще не закончившийся 2020 г., им опубликовано, по данным Zentralblatt MATH, 60 научных работ. Всего же за весь период исследовательской деятельности – более 200 публикаций.

Владимир Самуилович – прекрасный товарищ и коллективный игрок, что бывает не так часто среди математиков. За годы работы на мехмате РГУ у него сложился широкий круг научного и человеческого общения, к нему несомненно принадлежали и принадлежат его старшие товарищи и коллеги – его учитель И.Б. Симоненко, академик И.И. Ворович, профессора Ю.А. Устинов, В.И. Юдович, его ровесники, а порой и соавторы – С. Самко, Н. Карапетянц, А. Задорожный, А. Хейфиц, его младшие товарищи

по кафедре и научному семинару – В. Пилиди, В. Семенюта, А. Сазонов, Я. Ерусалимский, С. Грудский, А. Козак, В. Деундяк, С. Михалкович, М. Абрамян. Научные контакты Владимира Самуиловича, как правило, перерастают в отношения, к которым лучше всего подходит слово «дружба». Это очень для него характерно.

Владимир Самуилович по-прежнему связан с родным университетом, делает ежегодные доклады на семинарах кафедры, рецензирует работы своих коллег, активно работает в редколлегии журнала «Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки». Он – иностранный член диссертационного совета по физико-математическим наукам в Южном федеральном университете.

Нельзя не отметить и того факта, что В.С. Рабинович достиг не только высоких вершин в математике, где это звучит в переносном смысле, но и фактически. Увлекаясь горным туризмом и альпинизмом, он побывал на многих вершинах и перевалах Кавказского хребта, Памира и Тянь-Шаня. Многие годы он был и одним из самых азартных участников утренних воскресных футбольных игр математиков и механиков РГУ на левом берегу Дона.

Владимир Самуилович – отличный семьянин – муж, отец и дедушка, всегда находящий время и силы для своих близких – жены, дочерей, зятьев, внуков и внучек.

Поздравляя Владимира Самуиловича Рабиновича с восьмидесятилетием, искренне желаем ему здоровья, благополучия и творчества! С удовлетворением отмечаем, что он встречает свой юбилей в расцвете сил, открывая все новые грани своего математического таланта. Свидетельством этого является и его недавняя статья «Существенный спектр операторов Шрёдингера на периодических графах», опубликованная в ведущем российском научном журнале «Математические заметки».

*М.И. Карякин, Я.М. Ерусалимский, В.Д. Кряквин, С.М. Грудский,  
А.Н. Карапетянц, А.В. Козак, В.С. Пилиди, С.Г. Самко*

DOI 10.18522/1026-2237-2020-3-127-128

## МИХАИЛ ИВАНОВИЧ ЧЕБАКОВ (к 75-летию со дня рождения)



7 августа 2020 г. исполнилось 75 лет главному научному сотруднику, заведующему лабораторией механика деформируемых тел и конструкций Института математики, механики и компьютерных наук им. И.И. Воровича Южного федерального университета, известному специалисту в области механики контактных взаимодействий доктору физико-математических наук, профессору Михаилу Ивановичу Чебакову.

М.И. Чебаков стал студентом мехмата РГУ в 1963 г. и с тех пор, с двухгодичным перерывом на службу в Армии после первого курса, его жизнь и трудовая деятельность неразрывно связаны с Ростовским госуниверситетом, ныне Южным федеральным университетом.

Окончив в 1970 г. механико-математический факультет РГУ по специальности «механика», а в

1974-м аспирантуру, он защитил кандидатскую, а впоследствии и докторскую диссертации. Следует отметить, что результаты кандидатской диссертации М.И. Чебакова были опубликованы в трех статьях академического журнала «Прикладная математика и механика» и в статье республиканского академического журнала «Прикладная механика». В РГУ (ЮФУ) он работает с 1970 г., занимая различные научные должности, продолжительное время в НИИ механики и прикладной математики РГУ был ученым секретарем, заведующим отделом механики контактных взаимодействий. Михаил Иванович имеет в своем послужном списке свыше 300 научных работ, в том числе 3 монографии, одна из которых вышла в центральном издательстве «Физматлит» (Москва) при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.

М.И. Чебаков регулярно выступает с докладами на научных конференциях и съездах, в том числе и международных.

Михаил Иванович многие годы являлся руководителем базовых бюджетных тем университета, под его руководством выполнено также несколько научных тем, финансируемых РФФИ. М.И. Чебаков был исполнителем двух издательских грантов РФФИ, руководителем европейского гранта, исполнителем международной темы, финансируемой ИНТАС, стипендиатом Германского фонда академических обменов (ДААД).

Он являлся исполнителем и координатором с российской стороны большого международного проекта Седьмой рамочной программы Европейского союза (2012–2016 гг.) с участием ученых из Польши, Румынии, Болгарии, Латвии, Украины и Белоруссии. Проект был связан с разработкой методов диагностики, контроля прочности и способов ремонта магистральных нефте- и газопроводов.

В настоящее время М.И. Чебаков руководит международным российско-болгарским грантом РФФИ.

Много лет является членом диссертационных советов.

Развивая идеи выдающихся ученых академика И.И. Воровича и профессора В.М. Александрова, М.И. Чебаков разработал эффективные аналитические и численные методы решения различных типов интегральных уравнений, парных интегральных уравнений и парных рядов-уравнений, на основе которых им созданы новые подходы к решению широкого класса статических и динамических задач механики контактных взаимодействий.

Многие его исследования имеют практическую направленность, связанную с разработкой методов расчета таких трибосистем, как подшипники скольжения, зубчатые передачи, тормозные системы, рельс – колесо и др.

К своему юбилею М.И. Чебаков подошел в отличной форме, накопив капитал бесценного опыта

и жизненной мудрости, специальных знаний, навыков научного исследователя и преподавателя. Подтверждением этого являются принятые к опубликованию в этом году четыре статьи в ведущих отечественных и зарубежных журналах, в том числе вышедшая из печати статья «Contact interaction of axisymmetric indenter and poroelastic layer» в Докладах Болгарской Академии наук.

Его научные работы и организаторские способности внесли достойный вклад в становление и успехи руководимых им научных подразделений.

От имени коллектива Института и от себя лично поздравляю Михаила Ивановича с 75-летием, желаю ему здоровья, долгих лет жизни, морального удовлетворения и поддержки дорогих ему людей, а также научных достижений, признаний и открытий на благо российской науки!

**М.И. Карякин,** директор Института математики, механики и компьютерных наук им. И.И. Воровича Южного федерального университета

DOI 10.18522/0321-3005-2020-3-129-130

## СЕРГЕЙ ИЛЬИЧ КОЛЕСНИКОВ – УЧЕНЫЙ, ПЕДАГОГ, НАСТАВНИК (к 50-летию со дня рождения)



Замечательному ученому и наставнику 14 февраля 2020 г. исполнилось 50 лет. Сергей Ильич хорошо известен научному сообществу. Он возглавляет кафедру экологии и природопользования ЮФУ, руководит Центром экотехнологий ЮНЕСКО – Кусто, ведущей научной школы РФ «Экология почв».

Окончив в 1992 г. биолого-почвенный факультет РГУ, в 1998 г. он защитил кандидатскую диссертацию по географическим наукам «Влияние загрязнения тяжелыми металлами на биологическую активность черноземов обыкновенных Северного Приазовья и Западного Предкавказья», а в 2001 г. стал одним из самых молодых докторов наук, защитив диссертацию «Агроэкологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами».

Всю свою жизнь Сергей Ильич работает в Южном федеральном университете, с 2006 г. возглавляет кафедру экологии и природопользования Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Иванковского.

Основные направления научной работы: оценка и нормирование антропогенного воздействия на наземные экосистемы; экология, природопользование, охрана природы, экобиотехнологии, химическое загрязнение почв, биология почв, экологические функции почв, устойчивость экосистем, нормирование, прогнозирование.

Сергей Ильич Колесников вносит огромный вклад в развитие науки и образовательной деятельности ЮФУ. Он организатор и руководитель НОЦ «Экология и природопользование» ЮФУ и Центра дополнительного профессионального образования ЮФУ, а также руководитель ведущей научной школы РФ «Экология почв» (гранты Президента РФ с 2010 г. по настоящее время) и председатель диссертационного совета ЮФУ 03.01 по специальностям 03.02.08 – экология (биологические науки) и 03.02.13 – почвоведение (биологические науки), член диссертационных советов Кубанского государственного аграрного университета и Никитского ботанического сада.

Сергей Ильич был организатором и сопредседателем 10 международных научных конференций; организатором V Всероссийского съезда Общества почвоведов; дважды лауреатом гранта Президента РФ для молодых докторов наук; руководителем более 50 научных грантов и госконтрактов; лауреатом медали Общества почвоведов; членом Президиума Общества почвоведов и Президиума ВАК по биологическим наукам; членом Координационного совета по охране окружающей среды и использованию природных ресурсов Ростовской области и Отделения Комиссии РФ по делам ЮНЕСКО в Ростовской области. Также С.И. Колесников – пред-

седатель регионального отделения Международного общества токсикологии и химии окружающей среды (The Society of Environmental Toxicology and Chemistry) и член Международного общества почвоведов (ISSS).

С.И. Колесников является автором и соавтором более 1250 печатных работ, среди которых 60 монографий, более 100 учебных и учебно-методических пособий, в том числе 10 учебников («Экология» – 6 изданий, «Почвоведение» – 4 издания, «Общая био-

логия» – 5 изданий, «Экологические основы природопользования» – 5 изданий, «Биология», «Основы природопользования» и др.). Под его руководством подготовлено более 200 бакалавров, специалистов и магистров, 20 кандидатов наук.

Сердечно поздравляем Сергея Ильича с юбилеем и желаем ему здоровья и новых творческих успехов в научной и педагогической деятельности на благо отечественной науки!

*К.Ш. Казеев, доктор географических наук, профессор,  
Южный федеральный университет*

*Редакция и редколлегия журнала «Известия вузов. Северо-Кавказский регион» серии «Естественные науки» присоединяются ко всем поздравлениям и желают юбилярам дальнейших творческих успехов, здоровья, благополучия и уюта в их домах, продолжать плодотворно трудиться, сохраняя запас прочности, устойчивости и жизнелюбия!*

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
«ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ.  
СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ РЕГИОН. ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ»**

Рецензируемый журнал «Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки» продолжает приём работ. Он имеет статус центрального издания и включён в перечень ВАК по следующим отраслям:

- физико-математические науки (математика, механика);
- науки о Земле.

Принимаются работы и по другим отраслям науки. Также печатаются материалы в разделах «Заметки о книгах», «Научная жизнь», «Штрихи к портрету».

Журнал издается с периодичностью 4 номера в год. С электронной версией можно ознакомиться на сайте Научной электронной библиотеки [http://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=7362](http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7362). Опубликованные статьи индексируются в российских и международных электронных библиотеках и наукометрических базах данных: РИНЦ (RSCI), РУКОНТ, «Киберленинка», ЭБС «Университетская библиотека онлайн», Ulrich, EBSCO, Chemical Abstracts.

Авторы, сохраняя за собой авторские права на работу и передавая журналу «Известия вузов. Северо-Кавказский регион» право первой публикации, автоматически принимают на себя обязательство не печатать её ни полностью, ни частично в каком-либо издании без указания ссылки на оригинальную публикацию в этом журнале.

Издательские услуги оплачиваются организацией или автором после утверждения статьи на редколлегии.

Оформление работ осуществляется согласно правилам:

1. Представляется статья в электронном виде. Перед заголовком указать индекс УДК.
2. Текст должен быть набран в редакторе Microsoft Office Word 2000, 2003, 2007, 2010, 2016 через 1,5 интервала, шрифтом Times New Roman, размером 14 пт, страницы пронумерованы.
3. Сопроводительное или рекомендательное письмо, если статья представляется от организации. Экспертное заключение.
4. Полное название организации и ее адрес на русском и английском языках.
5. Сведения об авторах с указанием адреса, по которому будет вестись переписка, на русском и английском языках.
6. Название статьи и фамилии авторов на русском и английском языках.
7. Аннотация на русском и английском языках (1000–1500 знаков / 150–200 слов).
8. Ключевые слова на русском и английском языках (8–10 слов).

Журнал распространяется по подписке – через ОАО «Роспечать». Подписной индекс – 70415 (подписка на полугодие). В неподписной период отдельные номера журнала за нынешний и прошлые годы можно приобрести в редакции.

Адрес для переписки: 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, 105/42, ЮФУ, редакция журнала «Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки».

Тел./факс главной редакции (863) 218-40-00, добавочный 11-093, 11-094.

E-mail: [izvestiya@sfedu.ru](mailto:izvestiya@sfedu.ru)

Адрес в Интернете: [www.izvestiya.sfedu.ru](http://www.izvestiya.sfedu.ru)

ISSN 1026-2237. DOI 10.18522/1026-2237-2020-3. Известия высших учебных заведений.

Северо-Кавказский регион. Естественные науки.

2020. № 3