

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

*Северо-Кавказский
регион*

ЕСТЕСТВЕННЫЕ

НАУКИ

2016

4

Журнал основан в 1972 г. Ю.А. Ждановым

Главная редакция:

В.И. Колесников (главный редактор)
В.Е. Закруткин, В.С. Золотарев, А.В. Павленко (заместители главного редактора),
Е.А. Шинкаренко (отв. секретарь)

Редакционная коллегия:

В.Е. Закруткин – председатель редколлегии, доктор геолого-минералогических наук, профессор
В.А. Бабешко – академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор
Б.С. Карамурзов – доктор технических наук, профессор
Ю.Ф. Коробейник – доктор физико-математических наук, профессор
А.Г. Кусраев – доктор физико-математических наук, профессор
В.Г. Лобанов – доктор технических наук, профессор
Г.Г. Матишов – академик РАН, доктор геолого-минералогических наук, профессор
В.И. Минкин – академик РАН, доктор химических наук, профессор
М.Х. Рабаданов – доктор физико-математических наук, профессор
Э.З. Эмирбеков – доктор биологических наук, профессор
В.Н. Труфанов – заместитель председателя редколлегии, доктор геолого-минералогических наук, профессор
А.В. Абанин – доктор физико-математических наук, профессор
Н.И. Бойко – доктор геолого-минералогических наук, профессор
В.В. Внуков – доктор биологических наук, профессор
Л.С. Ворович – кандидат физико-математических наук, доцент
Ю.М. Гуфан – доктор физико-математических наук, профессор
О.Н. Демина – доктор биологических наук
А.Г. Захаров – доктор технических наук, профессор
Л.М. Зубов – доктор физико-математических наук, профессор
Я.М. Ерусалимский – кандидат физико-математических наук, доктор технических наук, профессор
М.И. Карякин – доктор физико-математических наук, доцент
С.Б. Климентов – доктор физико-математических наук, профессор
В.И. Колесников – главный редактор, академик РАН, доктор технических наук, профессор
С.И. Колесников – кандидат географических наук, доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Г.В. Куповых – доктор физико-математических наук, профессор
С.В. Курбатов – доктор химических наук, профессор
А.М. Лерер – доктор физико-математических наук, профессор
В.А. Миноранский – доктор сельскохозяйственных наук, профессор
В.В. Онищенко – доктор географических наук, профессор
Э.С. Сианисян – доктор геолого-минералогических наук, профессор
Ю.А. Устинов – доктор физико-математических наук, профессор
Ю.А. Федоров – доктор географических наук, профессор
А.Д. Хованский – кандидат геолого-минералогических наук, доктор географических наук, профессор
С.П. Чернышева – кандидат физико-математических наук, доцент

Учредители:

Министерство образования и науки Российской Федерации, Дагестанский государственный технический университет, Дагестанский государственный университет, Донской государственный технический университет, Кабардино-Балкарский государственный университет, Кубанский государственный технологический университет, Кубанский государственный университет, Пятигорский государственный лингвистический университет, Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростовский государственный экономический университет, Северо-Осетинский государственный университет, Северо-Кавказский федеральный университет, Южно-Российский государственный политехнический университет им. М.И. Платова, Южно-Российский институт управления РАНХ и ГС при Президенте РФ, Южный федеральный университет

Над номером работали: Т.А. Ватульян, Л.С. Ворович, В.И. Литвиненко, С.П. Чернышева, М.С. Шипитко

Подписано в печать 19.12.2016.

Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 15,35.

Уч.-изд. л. 17,6. Тираж 150 экз. Заказ № 5508.

**Адрес редакции и издателя (для переписки): 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42,
ЮФУ, журнал «Известия вузов. Северо-Кавказский регион», e-mail: izvestiya@sfedu.ru
Адрес в Интернете: www.izvestiya.sfedu.ru**

Адрес редколлегии серии «Естественные науки»: 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 200/1, корп. 2, к. 110,
тел.: (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, тел. (863) 247-80-51.

© Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион, 2016

Journal was founded in 1972 by Yu.A. Zhdanov

Main Edition:

V.I. Kolesnikov (Editor-in-Chief)
V.E. Zakrutkin, V.S. Zolotarev, A.V. Pavlenko (Deputy Editor-in-Chief),
E.A. Shinkarenko (Assistant Editor)

Editorial Board:

V.E. Zakrutkin - Chair of the Editorial Board, Doctor of Geology and Mineralogy, Professor
V.A. Babeshko - Academician, Russian Academy of Sciences, Doctor of Physics and Mathematics, Professor
B.S. Karamurзов - Doctor of Technical Sciences, Professor
Yu.F. Korobeinik - Doctor of Physics and Mathematics, Professor
A.G. Kusraev - Doctor of Physics and Mathematics, Professor
V.G. Lobanov - Doctor of Technical Sciences, Professor
G.G. Matishov - Academician, Russian Academy of Sciences, Doctor of Geology and Mineralogy, Professor
V.I. Minkin - Academician, Russian Academy of Sciences, Doctor of Chemistry, Professor
M.H. Rabadanov - Doctor of Physics and Mathematics, Professor
E.Z. Emirbekov - Doctor of Biology, Professor
V.N. Trufanov - Deputy Chair of the Editorial Board, Doctor of Geology and Mineralogy, Professor
A.V. Abanin - Doctor of Physics and Mathematics, Professor
N.I. Boiko - Doctor of Geology and Mineralogy, Professor
V.V. Vnukov - Doctor of Biology, Professor
L.S. Vorovich - Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor
Yu.M. Gufan - Doctor of Physics and Mathematics, Professor
O.N. Dyomina - Doctor of Biology
A.G. Zakharov - Doctor of Technical Sciences, Professor
L.M. Zubov - Doctor of Physics and Mathematics, Professor
Ya.M. Erusalimsky - Candidate of Physics and Mathematics, Doctor of Technical Sciences, Professor
M.I. Karjakin - Doctor of Physics and Mathematics, Associate Professor
S.B. Klimentov - Doctor of Physics and Mathematics, Professor
V.I. Kolesnikov - Editor-in-Chief, Academician, Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor
S.I. Kolesnikov - Candidate of Geography, Doctor of Agricultural Science, Professor
G.V. Kupovykh - Doctor of Physics and Mathematics, Professor
S.V. Kurbatov - Doctor of Chemistry, Professor
A.M. Lerer - Doctor of Physics and Mathematics, Professor
V.A. Minoransky - Doctor of Agricultural Science, Professor
V.V. Onishchenko - Doctor of Geography, Professor
E.S. Sianisyan - Doctor of Geology and Mineralogy, Professor
Yu.A. Ustinov - Doctor of Physics and Mathematics, Professor
Yu.A. Fedorov - Doctor of Geography, Professor
A.D. Khovanskiy - Candidate of Geology and Mineralogy, Doctor of Geography, Professor
S.P. Chernysheva - Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor

The Founders

Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Dagestan State Technical University, Dagestan State University, Don State Technical University, Kabardino-Balkarian State University, Kuban State University, Kuban State Technological University, Pyatigorsk State Linguistic University, Rostov State Building University, Rostov State University of Railway Transport, North Ossetian State University, Rostov State Economic University, North Caucasus Federal University, South Russian State Technical University named after M.I. Platov, South Russian Institute of Management of the Russian Academy of National Economy and Public Administration of the President of the Russian Federation, Southern Federal University

Magazine released T.A. Vatulyan, L.S. Vorovich, V.I. Litvinenko, S.P. Chernysheva, M.S. Shipitko.

Signed print 12.19.2016. Format 60×84/8. Font Times. Conv. print. sheet 15.35

Acc. and publ. print. sheet 17.6. Edition 200 copy. Order No. 5508.

**Address of Editorial Board and the publisher (for correspondence): 344006, Rostov-on-Don, Bolshaya Sadovaya St., 105/42, SFU, journal "Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region", e-mail: izvestiya@sfedu.ru
Web Address: www.izvestiya.sfedu.ru**

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

Printing address: 344090, Rostov-on-Don, Stachki Ave, 200/1, build. 1, room 104,
Publishing and Printing Complex KIBI MEDIA CENTER, SFU

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ РЕГИОН

IZVESTIYA VUZOV. SEVERO-KAVKAZSKII REGION

DOI 10.18522/0321-3005-2016-4

Регистрационный номер 011019
Комитета Российской Федерации по печати
Научно-образовательный и прикладной журнал
Издаётся с 1973 г.
Периодичность серии 4 номера в год
№ 4 (192) 2016 г.

Reg. No. 011019
Of the Committee of the Press of the Russian Federation
Scientifically educational and applied magazine
Was founded in 1973.
Period is 4 numbers per a year
No. 4 (192) 2016.

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

NATURAL SCIENCE

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

<i>Абдулрахман Х., Скороходов В.А.</i> Ресурсные сети с магнитной достижимостью	4	<i>Abdulrahman H., Skorokhodov V.A.</i> Resource Network with Magnetic Reachability	4
<i>Гуров М.Н., Ногин В.А.</i> Оценки для операторов типа потенциала с осциллирующими ядрами и символами и их приложения к описанию образов этих потенциалов	11	<i>Gurov M.N., Nogin V.A.</i> Estimates for the Potential-Type Operators with Oscillating Kernels and Symbols and Their Application to the Description of the Ranges of These Potentials	11
<i>Данилова Н.В.</i> Расчёт интервала справедливых цен для бинарной модели (B,S)-рынка с волатильностью, являющейся марковской цепью	17	<i>Danilova N.V.</i> The Calculation Interval Fair Prices Binary (B,S)-Market Model Volatility, Which Markov Chain	17
<i>Магдесян В.А., Усов А.Б.</i> Использование метода принуждения при моделировании взаимодействия центрального банка с коммерческими банками	21	<i>Magdesyan V.A., Usov A.B.</i> Use of the Method of Coercion when Modeling Interaction of Central Bank with Commercial Banks	21
<i>Онопrienко А.Н., Угольницкий Г.А., Усов А.Б.</i> Имитационное моделирование иерархических регламентов управления (на примере рыболовства)	26	<i>Onoprienko A.N., Ougolnitsky G.A., Usov A.B.</i> Simulation Modeling of the Hierarchical Control Rules (in Fisheries)	26
<i>Тюриков Е.В.</i> Об одной специальной задаче Римана – Гильберта и её приложения	31	<i>Tyurikov E.V.</i> About one Special Riemann-Hilbert Problem and Its Application	31
<i>Чебаков М.И., Ляпин А.А.</i> Моделирование контактного взаимодействия элементов дискового тормоза	36	<i>Chebakov M.I., Lyapin A.A.</i> Modeling of Contact Interaction for Disc Breakes Elements	36

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

BIOLOGICAL SCIENCES

<i>Алиева З.М., Зубairoва Ш.М., Мартемьянова В.К., Юсуфов А.Г.</i> Особенности естественного воспроизведения и реализации процессов регенерации у популяций <i>Hedysarum daghestanicum</i>	40	<i>Alieva Z.M., Zubairova Sh.M., Martemyanova V.K., Yusufov A.G.</i> Features of Natural Reproduction and Regeneration Processes in the Implementation of <i>Hedysarum Daghestanicum</i> Populations	40
<i>Котенко С.Ц., Исламмагомедова Э.А., Халилова Э.А., Абакарова А.А.</i> Биотехнологические свойства нового штамма дрожжей <i>Saccharomyces cerevisiae</i> Y-3980	45	<i>Kotenko S.Ts., Islammagomedova E.A., Khalilova E.A., Abakarova A.A.</i> Biotechnological Properties of New Strain of Yeast <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> Y-3980	45
<i>Самбыла Ч.Н.</i> Изменение структуры фитомассы высокогорной растительности Тувы в связи с особенностями рельефа	51	<i>Sambyla Ch.N.</i> Change of Structure of Phytomass of Mountain Vegetation of Tuva Due to the Features of the Relief	51

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

SCIENCE OF EARTH

<i>Бакаева Е.Н., Тарадайко М.Н.</i> Экоотоксичность поверхностных вод бассейна реки Северский Донец (Ростовская область) по результатам набора биотестов	57	<i>Bakaeva E.N., Taradayko M.N.</i> Ecotoxicity of Surface Waters of the Seversky Donets River Basin (Rostov Region) by Bioassays Kit Results.....	57
<i>Гавриловский Д.В., Гапонов В.Л., Гапонов С.В., Гапонова Е.Ю.</i> Об утилизации радиоактивных отходов ядерных реакторов в России	62	<i>Gavrilovskiy D.V., Gaponov V.L., Gaponov S.V., Gaponova E.Yu.</i> About the Disposal of Radioactive Waste from Nuclear Reactors in Russia	62
<i>Дахова О.О., Хучунаев Б.М., Куповых Г.В.</i> Химическое и физическое загрязнение городских экосистем автотранспортом	67	<i>Dakhova O.O., Khuchunaev B.M., Kupovykh G.V.</i> Chemical and Physical Contamination of Urban Ecosystems by Automobile Transport	67
<i>Камынина Н.Р., Успенский И.А.</i> Информационное обеспечение кадастрового учета	73	<i>Kamynina N.R., Uspenskiy I.A.</i> Cadastral Activities Data Capturing	73
<i>Канониди Х.Д., Канониди К.Х., Митрофанова Т.А.</i> Аэростатные исследования околоземного космического пространства	78	<i>Kanonidi Kh.D., Kanonidi K.Kh., Mitrofanova T.A.</i> Balloon Studies of Near-Earth Space.....	78
<i>Корикова Н.О., Гусакова Н.В., Петров В.В.</i> Оценка экологического состояния почвы городских территорий на основании показателей биологической активности (на примере г. Таганрога)	87	<i>Korikova N.O., Gusakova N.V., Petrov V.V.</i> Assessment of Environmental Status of Soils of Urban Areas on the Basis of Indicators of Biological Activity (for Example, Taganrog).....	87
<i>Мерينوва Ю.Ю., Хованский А.Д.</i> Комплексная экологическая оценка городских округов Ростовской области	92	<i>Merinova Yu.Yu., Khovanskiy A.D.</i> The Complex Ecological Assessment of the Rostov Region's Urban Districts.....	92
<i>Митрофанова Т.А., Канониди Х.Д., Канониди К.Х., Тедорадзе Р.В.</i> Влияние стратосферного и тропосферного озона на тепловой баланс планеты и движение атмосферы	98	<i>Mitrofanova T.A., Kanonidi Kh.D., Kanonidi K.Kh., Tedoradze R.V.</i> The Impact of Stratospheric and Tropospheric Ozone in the Thermal Balance of the Planet and the Atmosphere Movement	98
<i>Решетняк О.С., Закруткин В.Е.</i> Донные отложения как источник вторичного загрязнения речных вод металлами (по данным лабораторного эксперимента)	102	<i>Reshetnyak O.S., Zakrutkin V.E.</i> Bottom Sediments as a Source of Secondary Water Pollution by Metals (According to the Laboratory Experiment).....	102
<i>Фоменко Н.Е., Закруткин В.Е., Складченко Г.Ю., Гапонов Д.А.</i> Мониторинг динамики подземных вод в Восточном Донбассе по результатам скважинной электроразведки	110	<i>Fomenko N.E., Zakrutkin V.E., Sklyarenko G.Yu., Gaponov D.A.</i> Monitoring of the Grounwater Dynamics in the Eastern Donbass by Results of Electric Prospecting in Boreholes.....	110

НАУЧНАЯ ЖИЗНЬ

SCIENTIFIC LIFE

<i>Ватульян А.О., Карякин М.И., Чебаков М.И.</i> XVIII Международная конференция «Современные проблемы механики сплошной среды», посвященная памяти В.М. Александрова (Ростов-на-Дону, 7–10 ноября 2016 г.)	120	<i>Vatulyan A.O., Karyakin M.I., Chebakov M.I.</i> XVIII International Conference “Modern Problems of Continuum Mechanics” dedicated to the memory V.M. Alexandrov (Rostov-on-Don, November 7-10, 2016)	120
<i>Закруткин В.Е., Сагателян А.К., Решетняк О.С.</i> Международная научная конференция государств – членов ОДКБ «Проблемы безопасности окружающей среды», (г. Ереван, Армения, 27-29 сентября 2016 г.)	123	<i>Zakrutkin V.E., Saghatelian A.K., Reshetnyak O.S.</i> International Scientific Conference of the States - Members OCST “Environment Security Issues” (Yerevan, Armenia, September 27-29, 2016)	123

НАШИ ЮБИЛЯРЫ

OUR PERSONS

<i>Ватульян А.О., Ивановкин П.Г., Чебаков М.И.</i> Владимиру Ивановичу Колесникову – 75!	126	<i>Vatulyan A.O., Ivanochkin P.G., Chebakov M.I.</i> Vladimir Ivanovich Kolesnikov - 75 years old!	126
--	-----	--	-----

ПАМЯТИ УЧЕНОГО

IN MEMORY OF SCIENTIST

<i>Наседкин А.В., Ватульян А.О., Карякин М.И.</i> Александр Владимирович Белоконь (1941–2013)	128	<i>Nasedkin A.V., Vatulyan A.O., Karyakin M.I.</i> Alexander Vladimirovich Belokon (1941 - 2013)	128
---	-----	--	-----

Указатель материалов, опубликованных в журнале «Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки» в 2016 г.	130	Index of articles published in the journal “Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Estestvennyye nauki” in 2016.....	130
---	-----	---	-----

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

PHYSICS AND MATHEMATICS

УДК 519.1

DOI 10.18522/0321-3005-2016-4-4-10

РЕСУРСНЫЕ СЕТИ С МАГНИТНОЙ ДОСТИЖИМОСТЬЮ

© 2016 г. Х. Абдулрахман, В.А. Скороходов

RESOURCE NETWORK WITH MAGNETIC REACHABILITY

H. Abdulrahman, V.A. Skorokhodov

Абдулрахман Хайдар – аспирант, Институт математики, механики и компьютерных наук имени И.И. Воровича Южного федерального университета, ул. Мильчакова, 8а, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: abdulrahm.haidar@gmail.com

Haidar Abdulrahman – Postgraduate, Vorovich Institute of Mathematics, Mechanics and Computer Sciences, Southern Federal University, Milchakov St., 8a, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: abdulrahm.haidar@gmail.com

Скороходов Владимир Александрович – кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра алгебры и дискретной математики, Институт математики, механики и компьютерных наук имени И.И. Воровича Южного федерального университета, ул. Мильчакова, 8а, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: pdvaskor@yandex.ru

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

В настоящей работе рассмотрена модель распределения ресурсов в однородных и неоднородных сетях с ограниченной достижимостью. Ресурсная сеть однородна, если все пропускные способности дуги равны, в противном случае – неоднородна. Рассмотрены два вида ресурсных сетей с ограничением на достижимость: с накоплением неубывающей магнитности и с накоплением-исчезанием магнитности. Для каждого вида сетей разработаны методы нахождения порогового значения и предельного состояния для произвольной величины суммарного ресурса.

Ключевые слова: ресурсная сеть, потоки в сетях, распределение потока, нестандартная достижимость, предельное состояние, пороговое значение.

We consider the model of resource distribution for homogeneous and inhomogeneous networks with limited reachability. Resource network called homogeneous if all capacity in the arcs are equal and inhomogeneous otherwise. We consider two kinds of resource networks with a restriction on the reachability: first, networks with accumulation of non-decreasing magnetism; second, networks with accumulation-disappearance of magnetism. The methods for finding of limit state for arbitrary total value the resource and threshold of resource network are developed for each type of distribution.

Keywords: resource network, flows in networks, flow distribution, nonstandard reachability, limit state, threshold.

Введение

Ресурсные сети – динамические графовые модели распространения ресурса – введены и достаточно хорошо изучены в работах О.П. Кузнецова и Л.Ю. Жилияковой (см., например [1–4]). Ресурсная сеть – это сеть, для каждой дуги которой указана пропускная способность, а для каждой вершины – величина находящегося в ней ресурса. В каждый момент дискретного времени ресурс каждой вершины перераспределяется между смежны-

ми с ней вершинами по определённым правилам. Таким образом, между каждыми последовательными моментами времени по дугам сети проходит поток. Правила функционирования сети таковы, что обязательно выполняются два условия. Первое – условие замкнутости сети, т.е. ресурс ни в какой вершине сети не добавляется извне и не исчезает. Второе – условие неразрывности: ресурс, выходящий из вершины, вычитается из ее ресурса, а ресурс, входящий в вершину, прибавляется к ее ресурсу.

В работах [5, 6] рассмотрены графы с нестандартной достижимостью, предполагающей, что допустимыми являются не все возможные пути на графе, а только те, которые удовлетворяют некоторым дополнительным условиям.

В статьях [7, 8] рассмотрены задачи поиска максимального потока в сетях с определёнными условиями распределения потока.

В настоящей работе рассмотрена модель распределения ресурсов на графах с ограничениями магнитной достижимости. Рассмотрены графы с накоплением неубывающей магнитности и с накоплением-исчезанием магнитности. Основной задачей нашего исследования является разработка метода нахождения порогового значения T и предельного состояния Q^* в таких сетях для произвольной величины суммарного ресурса. Показано, что для нахождения порогового значения в эргодической (сильно связной) ресурсной сети можно использовать подходы, разработанные в работах [7, 8].

Основные определения

Приведем основные определения, касающиеся ресурсных сетей, и некоторые результаты, полученные в работах [1–6].

Определение 1. Ресурсной сетью называют связную ориентированную сеть $G(X, U, f)$ ($X = \{x_1, \dots, x_n\}$) без стоков, для каждой дуги u которой указана пропускная способность $r(u)$ и задана вектор-функция $Q(t) = (q_1(t); \dots; q_n(t))$, где $q_i(t) \geq 0 \forall i \in [1; n]_{\mathbb{Z}}$.

Величина $q_i(t)$ называется количеством ресурса в вершине x_i в момент времени t .

Для того чтобы определить вектор-функцию $Q(t)$, задается вектор $Q(0) = (q_1(0); \dots; q_n(0))$ начального распределения ресурса в сети G и указываются правила перераспределения ресурсов (правила функционирования сети):

$$q_i(t+1) = q_i(t) - \sum_{u \in [x_i]^+} F(u, t) + \sum_{u \in [x_i]^-} F(u, t) \quad \forall i \in [1; n]_{\mathbb{Z}},$$

где $F(u, t)$ – величина ресурсного потока, выходящего по дуге u в момент времени t (для определенности будем считать, что x_j – начальная вершина дуги u):

$$F(u, t) = \begin{cases} r(u), & q_j(t) > \sum_{v \in [x_j]^+} r(v); \\ \frac{r(u)}{\sum_{v \in [x_j]^+} r(v)} \cdot q_j(t), & q_j(t) \leq \sum_{v \in [x_j]^+} r(v). \end{cases}$$

Здесь и далее через $[x]^+$ будем обозначать множество дуг, выходящих из вершины x ; через $[x]^-$ – входящих в вершину x .

Определение 2. Состояние $Q(t)$ называется устойчивым, если выполняется равенство $Q(t) = Q(t+1)$.

Согласно правилам перераспределения ресурса: если $Q(t)$ устойчиво, то для всех натуральных i имеет место равенство $Q(t) = Q(t+i)$.

Определение 3. Состояние $Q^* = (q_1^*; \dots; q_n^*)$ называется асимптотически достижимым из состояния $Q(0)$, если для каждого $i \in [1; n]_{\mathbb{Z}}$ и всякого $\varepsilon > 0$ существует t_ε такое, что для всех $t > t_\varepsilon$ имеет место неравенство $|q_i^* - q_i(t)| < \varepsilon$.

Определение 4. Состояние Q^* называется предельным, если оно либо устойчиво и существует такой момент времени t , что $Q^* = Q(t)$, либо оно асимптотически достижимо из состояния $Q(0)$.

Определение 5. Ресурсную сеть будем называть эргодической, если она является сильно связной.

Определение 6. Эргодическую ресурсную сеть будем называть регулярной, если существуют по крайней мере два цикла, длины которых являются взаимно простыми числами.

Распределение ресурса на графе с магнитной достижимостью

Рассмотрим вопрос о распределении ресурса в ресурсных сетях с магнитной достижимостью. При этом будем рассматривать два вида ограничений магнитной достижимости: с накоплением неубывающей магнитности и с накоплением-исчезанием магнитности [5].

Сети с накоплением неубывающей магнитности. Рассмотрим сеть G с накоплением неубывающей магнитности [5]. Множество дуг такой сети разбито на два подмножества: $U = U_M \cup U_H$ и $U_M \cap U_H = \emptyset$. Прохождение по дуге множества U_M увеличивает величину магнитности пути на единицу. Допустимыми путями в сети G являются только те пути μ , которые удовлетворяют следующему условию: если к i -му шагу путь μ от своего начала накопил магнитность, большую либо равную k , и среди дуг, выходящих из концевой вершины i -й дуги пути μ , есть хотя бы одна магнитная, то следующая $(i+1)$ дуга пути μ обязана быть дугой из множества U_M .

Таким образом, в сети с накоплением неубывающей магнитности множество допустимых путей не совпадает с множеством всех путей этой сети без ограничения на достижимость. Для решения задач о кратчайшем пути и о максимальном потоке предложен подход, который состоит в построении вспомогательного графа $G'(X', U', f')$, количество вершин которого больше, чем у исходного графа, однако все его пути являются допустимыми [5]. При этом любой допустимый путь на исходном графе можно единственным образом восстановить по пути на вспомогательном графе.

Согласно данному подходу, укажем правила построения вспомогательного графа G' для графа G с условием неубывающей магнитности.

Каждой вершине x графа G ставится в соответствие $k+1$ вершина $\{x^0, x^1, \dots, x^k\}$ на вспомогательном графе G' , а дуги вспомогательного графа строятся по следующему правилу:

– каждой магнитной дуге u графа G (для определённости полагаем $f(u) = (x, y)$) ставится в соответствие $k+1$ дуга $\{u^0, u^1, \dots, u^k\}$ на вспомогательном графе G' такая, что $f'(u^j) = (x^{j-1}, y^j) \forall j \in [1; k]_Z$ и $f'(u^{k+1}) = (x^k, y^k)$;

– каждой немагнитной дуге u графа G (для определённости полагаем $f(u) = (x, y)$) ставится в соответствие $k+1$ дуга $\{u^0, u^1, \dots, u^k\}$ на G' такая, что $f'(u^j) = (x^j, y^j) \forall j \in [0; k]_Z$, если из вершины x выходят только немагнитные дуги, в противном случае – k дуг $\{u^0, u^1, \dots, u^{k-1}\}$ на G' таких, что $f'(u^j) = (x^j, y^j) \forall j \in [0; k-1]_Z$.

Множество дуг вспомогательного графа, соответствующих одной дуге u на исходном графе, будем обозначать через A_u .

Пример 1. Рассмотрим граф G (рис. 1), для которого дуги $\{u_1, u_2, u_3, u_4\}$ таковы, что

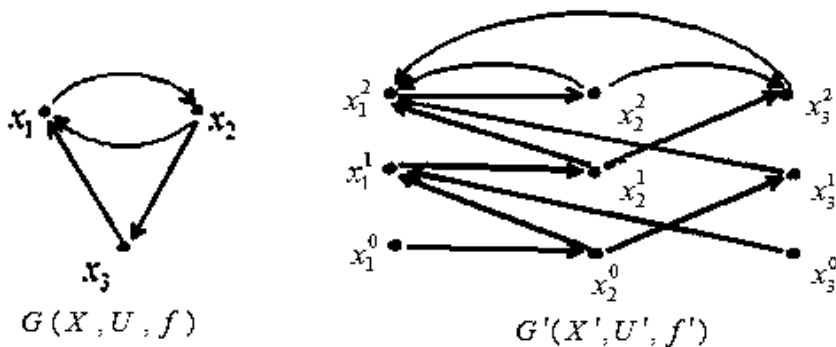


Рис. 1. Сеть G и соответствующая ей вспомогательная сеть G' . Пример 1 / Fig. 1. Network G and the corresponding auxiliary network G' . Example 1

$f(u_1) = (x_1, x_2)$, $f(u_2) = (x_2, x_1)$, $f(u_3) = (x_2, x_3)$ и $f(u_4) = (x_3, x_1)$.

Положим $k=2$, $U_M = \{u_2, u_3, u_4\}$ и $U_H = \{u_1\}$.

Вспомогательный граф G' для графа G также показан на рис. 1.

Рассмотрим ресурсную сеть $G(X, U, f)$. Пусть $G'(X', U', f')$ – вспомогательный граф для сети G .

Образует матрицу

$$Q'(t) = \begin{pmatrix} q_1^k(t) & q_2^k(t) & \dots & q_n^k(t) \\ q_1^{k-1}(t) & q_2^{k-1}(t) & \dots & q_n^{k-1}(t) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ q_1^0(t) & q_2^0(t) & \dots & q_n^0(t) \end{pmatrix},$$

столбцами которой являются векторы ресурса вершин в момент времени t , т.е. $q_i^j(t)$ – величина ресурса с j -м уровнем магнитности i -й вершины в момент времени t .

Рассмотрим распределение ресурса для графов с накоплением неубывающей магнитности для однородной и неоднородной ресурсных сетей.

А. Однородная сеть. Пусть рассматриваемая ресурсная сеть является однородной, т.е. пропускные способности всех дуг равны некоторому значению r . Будем полагать, что распределение ресурса на графе G' (а значит, и на исходном графе G) происходит таким образом.

Шаг 1. Поскольку ресурс, накопивший максимальный уровень магнитности, «притягивается» магнитными дугами, то рассмотрим дугу u^k на развертке (для определенности положим $(p_1 \circ f)(u^k) = x_i^k$), выходящую из вершины уровня k развертки, имеющей пропускную способность, равную r .

Поток, который проходит в дугу u^k в момент времени t , $F(u^k, t) = \frac{\min\{r \cdot m_i^k, q_i^k(t)\}}{m_i^k} = a_u$, где m_i^k –

количество выходящих дуг из вершины $x_i^k = (p_1 \circ f)(u^k)$, которая имеет ресурс q_i^k и отдает ресурс $a_u \cdot m_i^k$.

Шаг 2. Рассмотрим дугу u^α (для определенности положим $(p_1 \circ f)(u^\alpha) = x_i^\alpha$, где $\alpha = 0, \dots, k-1$), которая имеет пропускную способность $r(u^\alpha)$. Поток, который проходит в дугу u^α в момент времени t , имеет вид

$$F(u^\alpha, t) = \frac{q_i^\alpha(t)}{\sum_{\alpha=0}^{k-1} q_i^\alpha(t)} \cdot \frac{r(u^\alpha) - a_u \cdot (|A_{u^k}| - k)}{r(u^\alpha) \cdot m_i^\alpha - a_u \cdot m_i^k} \times$$

$$\times \min \left\{ \sum_{\alpha=0}^{k-1} q_i^\alpha(t), r(u^\alpha) \cdot m_i^\alpha - a_u \cdot m_i^k \right\},$$

где m_i^α – количество выходящих дуг из вершины $x_i^\alpha = (p_1 \circ f)(u^\alpha)$; $q_i^\alpha(t)$ – количество ресурса в вершине x_i^α в момент времени t . Таким образом, вершина x_i^α отдает ресурс

$$\frac{q_i^\alpha(t)}{\sum_{\alpha=0}^{k-1} q_i^\alpha(t)} \cdot \min \left\{ \sum_{\alpha=0}^{k-1} q_i^\alpha(t), r(u^\alpha) \cdot m_i^\alpha - a_u \cdot m_i^k \right\}.$$

Пример 2. Рассмотрим граф G из примера 1, полагая при этом пропускные способности всех дуг равными величине $r = 4$. Распределение ресурса на вспомогательном графе G' с начальным состоянием $Q'(0)$ будет проходить следующим образом:

$$Q'(0) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 12 & 10 & 2 \end{pmatrix}; \quad Q'(1) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 6 & 0 & 4 \\ 8 & 6 & 0 \end{pmatrix};$$

$$Q'(2) = \begin{pmatrix} 4 & 0 & 0 \\ 7,286 & 1,714 & 3 \\ 5,714 & 2,286 & 2 \end{pmatrix}; \quad Q'(3) = \begin{pmatrix} 3,857 & 4 & 0,854 \\ 8,429 & 0 & 1,143 \\ 5,714 & 0 & 0 \end{pmatrix};$$

$$Q'(4) = \begin{pmatrix} 4 & 3,857 & 2 \\ 8,28 & 0,149 & 0 \\ 5,613 & 0,101 & 0 \end{pmatrix}; \quad Q'(5) = \begin{pmatrix} 4,004 & 4 & 2,004 \\ 8,331 & 0 & 0,051 \\ 5,613 & 0 & 0 \end{pmatrix};$$

$$Q'(6) = \begin{pmatrix} 4,059 & 4 & 2 \\ 8,331 & 0 & 0 \\ 5,613 & 0 & 0 \end{pmatrix} = Q'(7) = \dots$$

В. Неоднородная сеть. Пусть рассматриваемая ресурсная сеть не является однородной, т.е. каждая дуга u имеет собственную пропускную способность $r(u)$. Тогда будем полагать, что распределение ресурса на графе G' (а значит, и на исходном графе G) происходит таким образом.

Шаг 1. Рассмотрим дугу u^k (для определенности положим $(p_1 \circ f)(u^k) = x_i^k$) из вершин уровня k , имеющую пропускную способность $r(u^k)$. Поток, который проходит по дуге u^k в момент времени t , имеет вид

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

где $q_i^k(t)$ – количество ресурса вершины x_i^k в момент времени t .

Шаг 2. Рассмотрим дугу u^α (для определенности положим $(p_1 \circ f)(u^\alpha) = x_i^\alpha$, где $\alpha = 0, \dots, k-1$), имеющую пропускную способность $r(u^\alpha)$. Поток, который проходит в дугу u^α в момент времени t , имеет вид

$$F(u^\alpha, t) = \frac{q_i^\alpha(t)}{\sum_{\beta=0}^{k-1} q_i^\beta(t)} \cdot \frac{r(u^\alpha) - F(u^k, t) \cdot (|A_{u^k}| - k)}{\sum_{v \in [x_i^\alpha]^+} r(v) - \sum_{v \in [x_i^k]^+} F(v, t)} \times$$

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

Пример 3. Рассмотрим граф G на рис. 2, дуги которого таковы, что $f(u_1) = (x_1, x_2)$, $f(u_2) = (x_2, x_1)$, $f(u_3) = (x_2, x_3)$, $f(u_4) = (x_3, x_1)$. Положим $k = 2$, $U_M = \{u_1, u_3, u_4\}$, $U_H = \{u_2\}$, $r(u_1) = 4$, $r(u_2) = 2$, $r(u_3) = 3$, $r(u_4) = 5$.

Вспомогательный граф G' также показан на рис. 2. Структура исходного графа схожа со структурой графа G примера 1, однако ограничение на достижимость существенно меняет вспомогательный граф.

$$Q'(0) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 12 & 10 & 2 \end{pmatrix}; \quad Q'(1) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 2 & 4 & 3 \\ 10 & 5 & 0 \end{pmatrix}; \dots;$$

$$Q'(27) = \begin{pmatrix} 3 & 17,864 & 3 \\ 0,136 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad Q'(28) = \begin{pmatrix} 3 & 18 & 3 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

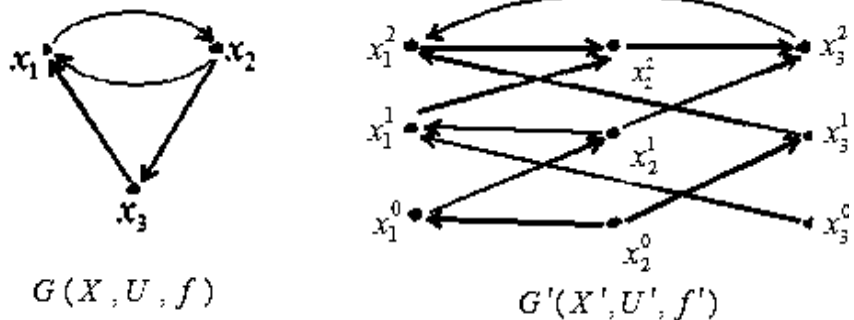


Рис. 2. Сеть G и соответствующая ей вспомогательная сеть G' . Пример 3 / Fig. 2. Network G and the corresponding auxiliary network G' . Example 3

Графы с накоплением-исчезанием магнитности. Рассмотрим сеть G с накоплением-исчезанием магнитности [5]. Множество дуг такой сети также разбито на два подмножества: $U = U_M \cup U_H$ и $U_M \cap U_H = \emptyset$. Прохождение по дуге множества U_M увеличивает величину магнитности пути. Отличие рассмотренного ограничения от предыдущего (магнитно-накопительного для неубывающей магнитности) состоит в том, что прохождение по любой дуге множества U_H приводит к исчезновению магнитности, и ее снова придется накапливать. Для магнитно-накопительного ограничения величина магнитности может только увеличиваться [5].

Сформулируем правила построения вспомогательного графа G' для графа G с накоплением-исчезанием магнитности.

Каждой вершине x графа G ставится в соответствие $k+1$ вершина $\{x^0, x^1, \dots, x^k\}$ на вспомогательном графе G' , а дуги вспомогательного графа строятся по следующему правилу:

– каждой магнитной дуге u графа G (для определённости полагаем $f(u) = (x, y)$) ставится в соответствие $k+1$ дуга $\{u^0, u^1, \dots, u^k\}$ на вспомогательном графе G' такая, что $f'(u^j) = (x^{j-1}, y^j) \forall j \in [1; k]_Z$ и $f'(u^{k+1}) = (x^k, y^k)$;

– каждой немагнитной дуге u графа G (для определённости полагаем $f(u) = (x, y)$) ставится в соответствие $k+1$ дуга $\{u^0, u^1, \dots, u^k\}$ на G' такая, что $f'(u^j) = (x^j, y^0) \forall j \in [0; k]_Z$, если из вершины x выходят только немагнитные дуги, в противном случае – k дуг $\{u^0, u^1, \dots, u^{k-1}\}$ на G' таких, что $f'(u^j) = (x^j, y^0) \forall j \in [0; k-1]_Z$.

Отметим, что правила распределения ресурса на вспомогательном графе G' для обоих типов магнитности одинаковы.

Пример 4. Рассмотрим $G'(X', U', f')$ – вспомогательный граф графа $G(X, U, f)$ с накоплением-исчезанием магнитности (рис. 3).

Считаем, что

$$U_M = \{u_2, u_4, u_5, u_6\},$$

$$U_H = \{u_1, u_3\}, k = 2,$$

$$f(u_1) = (x_1, x_2),$$

$$f(u_2) = (x_2, x_4),$$

$$f(u_3) = (x_4, x_4),$$

$$f(u_4) = (x_4, x_3),$$

$$f(u_5) = (x_2, x_3),$$

$$f(u_6) = (x_3, x_1).$$

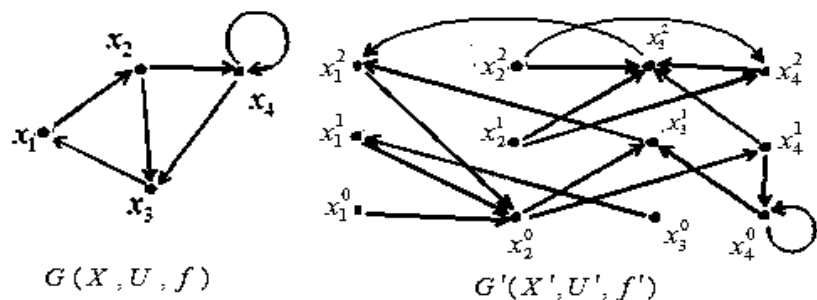


Рис. 3. Сеть G и соответствующая ей вспомогательная сеть G' . Пример 4 / Fig. 3. Network G and the corresponding auxiliary network G' . Example 4

Нахождение порогового значения на вспомогательном графе

Пусть $G(X, U, f)$ – граф с магнитной достижимостью; $G'(X', U', f')$ – его вспомогательный граф. Тогда определим множество вершин $Z^+(t)$, $Z^-(t)$ графа G' следующим образом. Будем говорить, что в момент времени t вершина $x_i^\alpha \in Z^+(t)$, если

$$\left(q_i^k(t) \geq \sum_{v \in [x_i^k]^+} r(v) \right) \vee \left(\sum_{j=0}^{k-1} q_i^j(t) \geq \sum_{v \in [x_i^j]^+} r(v) - \sum_{v \in [x_i^k]^+} a_v \right).$$

Множество $Z^-(t)$ определим как дополнение $Z^+(t)$ относительно X' , т.е. $Z^-(t) = X' \setminus Z^+(t)$.

Рассмотрим вопрос о нахождении порогового значения T для ресурсной сети G' с магнитной достижимостью. Находим T в сети G' с накоплением неубывающей магнитности порядка k . Здесь имеем два случая: G' сводится и не сводится к эргодической сети. При этом будем говорить, что G' сводится к эргодической, если граф G связан и содержит только одну изолированную компоненту сильной связности [6].

Для вспомогательного графа G' , который не сводится к эргодической сети, предельное состояние всегда зависит от начального состояния сети $Q'(0)$ [1]. Если G' сводится к эргодической сети, рассмотрим два случая:

1. Если величина суммарного ресурса $W > T$, то предельное состояние зависит от начального состояния $Q'(0)$ [1].

2. $W \leq T$. В этом случае все вершины графа G' перейдут в зону Z^- , откуда следует, что для любой вершины $x_i^\alpha \in X'$ величина ресурса распределяется пропорционально пропускным способностям выходящих дуг, т.е. $\frac{F(u_i)}{r(u_i)} = \frac{F(u_j)}{r(u_j)}$ для всех $u_i, u_j \in [x_i^\alpha]^+$.

Следовательно, общее предельное распределение ресурса между вершинами сети можно рассматривать как жестко распределенный поток [7].

Таким образом, для величин $r(u)$, $F(u)$ справедливы следующие выражения:

$$\begin{cases} \sum_{u \in [x_i^\alpha]^+} F(u) - \sum_{u \in [x_i^\alpha]^-} F(u) = 0; \\ 0 \leq F(u) \leq r(u). \end{cases} \quad (1)$$

$\alpha = 0, \dots, k, \quad i = 1, \dots, n.$

Для нахождения порогового значения можно воспользоваться методами, описанными в работах [7, 8]. Для сети G' составим систему алгебраических уравнений относительно неизвестных $F(u)$ ($u \in U'$) (количество ресурса, проходящего по дуге u) и Q_x ($x \in X'$) (количество ресурса в вершине x), описывающую закономерности распределения ресурса между вершинами при условии, что все вершины находятся в зоне Z^- и достигнуто предельное состояние Q^* . Ее решение позволит определить пороговое значение для сети G' .

Выделим подграф $G''(X'', U'', f'')$ – единственную изолированную компоненту сильной связности, при этом $U'' \subset U', X'' \subset X'$. Положим $U'' = \{u_1^\Delta, u_2^\Delta, \dots, u_l^\Delta\}$, $X'' = \{x_1^\Delta, x_2^\Delta, \dots, x_p^\Delta\}$, т.е. $|U''| = l, |X''| = p$.

Заметим, что после конечного числа шагов каждая вершина из множества $X' \setminus X''$ будет отдавать весь свой ресурс и ничего не получать, т.е. такая вершина в предельном состоянии будет обладать нулевым ресурсом. Следовательно, все дуги $U' \setminus U''$ будут иметь нулевые потоки, т.е. соответствующие компоненты решения построенной системы будут равны нулю. Другими словами, $F(u) = 0$ для всех $u \in U' \setminus U''$ и $Q_x = 0$ для всех $x \in X' \setminus X''$.

Составим систему алгебраических уравнений относительно неизвестных $F(u_i^\Delta)$ и $Q_{x_j^\Delta}$, $i = 1, \dots, l, j = 1, \dots, p$ (т.е. только для подграфа G'')

$$\begin{cases} F(u) - \frac{r(u)}{\sum_{v \in [x_j^\Delta]^+} r(v)} \cdot Q_x = 0, \quad \forall x \in X_k'', \forall u \in [x]^\Delta; \\ F(u) - \frac{r(u) - F(u^k) \cdot (|A_u| - k)}{\sum_{v \in [x]^\Delta} r(v) - \sum_{v \in [x^k]^\Delta} F(v)} \cdot Q_x = 0, \quad \forall x \in X'' \setminus X_k'', \forall u \in [x]^\Delta; \\ Q_{x_j^\Delta} - \sum_{v \in [x_j^\Delta]^-} F(v) = 0, \quad \forall x \in X''; \\ F(w^\Delta) = z, \quad \forall z > 0. \end{cases} \quad (2)$$

В (2) $X_k'' \subset X''$ – множество вершин уровня k ; вершина $x^k \in X_k''$ соответствует вершине x ; w^Δ – произвольная дуга сети G'' .

Для любого $z > 0$ положительное решение системы (2) существует и единственно. Будем полагать, что это решение имеет вид

$$(F, Q) = (F(u_1^\Delta); F(u_2^\Delta); \dots; F(u_l^\Delta); Q_{x_1^\Delta}; Q_{x_2^\Delta}; \dots; Q_{x_p^\Delta}).$$

Также отметим [9], что решение системы (2) на подграфе G'' является пропорциональным, т.е.

$$(F, Q) = r(w^\Delta) \cdot (\zeta_1; \zeta_2; \dots; \zeta_l; \zeta_1; \zeta_2; \dots; \zeta_p)^T,$$

где $\zeta_i = 1$ при таком i , что $w^\Delta = u_i^\Delta, i = 1, \dots, l$.

Таким образом, по пропорциональности найдем величину a , которая обеспечивает выполнение условия $0 \leq a \cdot F(u_i^\Delta) \leq r(u_i^\Delta)$ для всех значений i .

В результате $a = \min_{i=1, \dots, l} \left\{ \frac{r(u_i^\Delta)}{F(u_i^\Delta)} \right\}$, т.е.

$(F^*, Q^*) = a \cdot (F, Q)$, откуда получим, что пороговое значение можно определить из соотношения

$$T = \sum_{j=1}^p Q_{x_j^\Delta}^*.$$

Замечание. В случае магнитной достижимости с накоплением-исчезанием магнитности для каждой дуги u_i^Δ подграфа G'' (для определенности считаем, что $u_i^\Delta \in A_u$) должно выполняться условие

$$0 \leq \sum_{v \in A_u \cap U''} F(v) \leq r(u_i^\Delta). \quad (3)$$

Таким образом, в случае магнитной достижимости с накоплением-исчезанием магнитности величина a имеет вид

$$a = \min_{i=1, \dots, l} \left\{ \frac{r(u_i^\Delta)}{\sum_{v \in A_u} F(v)} \right\}. \quad (4)$$

Пример 5. Рассмотрим $G'(X', U', f')$ – вспомогательный граф графа $G(X, U, f)$ с накоплением-исчезанием магнитности из примера 4.

Положим $r(u_1) = 3, r(u_2) = r(u_3) = 2, r(u_5) = 5, r(u_6) = r(u_4) = 4$.

Эргодическая часть $G''(X'', U'', f'')$ показана на рис. 4. Множества вершин $X'' = \{x_1^\Delta, x_2^\Delta, \dots, x_6^\Delta\}$ и дуг $U'' = \{u_1^\Delta, u_2^\Delta, \dots, u_9^\Delta\}$ таковы, что

$$\begin{aligned} f(u_1^\Delta) &= (x_1^\Delta, x_2^\Delta), \quad f(u_2^\Delta) = (x_2^\Delta, x_4^\Delta), \\ f(u_3^\Delta) &= (x_3^\Delta, x_1^\Delta), \quad f(u_4^\Delta) = (x_4^\Delta, x_5^\Delta), \\ f(u_5^\Delta) &= (x_2^\Delta, x_3^\Delta), \quad f(u_6^\Delta) = (x_5^\Delta, x_1^\Delta), \\ f(u_7^\Delta) &= (x_6^\Delta, x_3^\Delta), \quad f(u_8^\Delta) = (x_4^\Delta, x_6^\Delta), \\ f(u_9^\Delta) &= (x_6^\Delta, x_6^\Delta). \end{aligned}$$

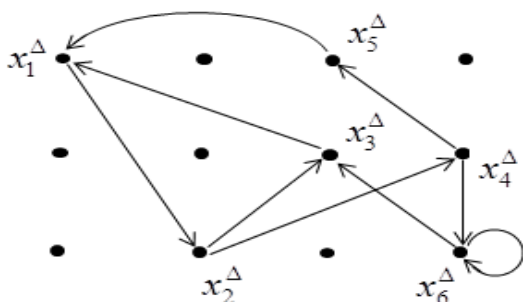


Рис. 4. Эргодическая часть графа G'
 / Fig. 4. Ergodic part of the graph G'

Построим систему вида (2) с последним уравнением $F(u_2^\Delta) = r(u_2^\Delta) = 2$. Решая её, получим вектор

$$(F, Q) = (7; 2; \frac{17}{3}; \frac{4}{3}; 5; \frac{4}{3}; \frac{2}{3}; \frac{2}{3}; \frac{1}{3}; 7; 7; \frac{17}{3}; 2; \frac{4}{3}; 1),$$

компоненты которого не удовлетворяют условию (3), поскольку $F(u_1^\Delta) = 7 > r(u_1^\Delta) = 3$. Далее из равенства (4) получим величину $a = \frac{3}{7}$. Умножая (F, Q) на a , получим предельные поток и состояние, т.е. $(F^*, Q^*) = a \cdot (F, Q) =$

$$= (3; \frac{6}{7}; \frac{17}{7}; \frac{4}{7}; \frac{15}{7}; \frac{4}{7}; \frac{2}{7}; \frac{2}{7}; \frac{1}{7}; 3; 3; \frac{17}{7}; \frac{6}{7}; \frac{4}{7}; \frac{3}{7}).$$

Таким образом, пороговое значение равно $T = \frac{72}{7}$.

Литература

1. Жиякова Л.Ю. Эргодические циклические ресурсные сети. I. Колебания и равновесные состояния при малых ресурсах // Управление большими системами : сб. тр. 2013. № 43. С. 34–54.
2. Жиякова Л.Ю. Эргодические циклические ресурсные сети. II. Большие ресурсы // Управление большими системами : сб. тр. 2013. № 45. С. 6–29.
3. Жиякова Л.Ю. Несимметричные ресурсные сети. III. Исследование предельных состояний // Автоматика и телемеханика. 2012. № 7. С. 67–77.
4. Кузнецов О.П., Жиякова Л.Ю. Двусторонние ресурсные сети–новая потоковая модель // Докл. АН. 2010. Т. 433, № 5. С. 609–612.
5. Ерусалимский Я.М., Скороходов В.А., Кузьмина М.В., Петросян А.Г. Графы с нестандартной достижимостью: задачи, приложения. Ростов н/Д., 2009. 195 с.
6. Скороходов В.А. Устойчивость и стационарное распределение на графах с нестандартной достижимостью // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2007. № 4. С. 17–21.

7. Скороходов В.А., Чеботарева А.С. Задача о максимальном потоке в сети с особыми условиями распределения потока // Дискретный анализ и исследование операций. 2015. Т. 22, № 3. С. 55–74.

8. Ерзин А.И., Тахонов И.И. Равновесное распределение ресурсов в сетевой модели // Сиб. журн. промышленной математики. 2005. Т. VIII, № 3 (23). С. 58–68.

9. Скороходов В.А. Задача нахождения порогового значения в эргодической ресурсной сети // Управление большими системами : сб. тр. 2016. Вып. 63. С. 6–23.

References

1. Zhilyakova L.Yu. [Ergodic cyclical resource networks. I. Oscillations and equilibrium states with small resources]. *Upravlenie bol'shimi sistemami* [Large systems management]. Proceedings. 2013, no. 43, pp. 34-54.
2. Zhilyakova L.Yu. [Ergodic cyclical resource networks. II. Large resources]. *Upravlenie bol'shimi sistemami* [Large systems management]. Proceedings. 2013, no. 45, pp. 6-29.
3. Zhilyakova L.Yu. Nesimmetrichnye resursnye seti. III. Issledovanie predel'nykh sostoyanii [Asymmetric resource networks. III. Study of limit states]. *Avtomatika i telemekhanika*, 2012, no. 7, pp. 67-77.
4. Kuznetsov O.P., Zhilyakova L.Yu. Dvustoronnie resursnye seti – novaya potokovaya model' [Bilateral resource networks - new threading model]. *Dokl. AN*. 2010, vol. 433, no. 5, pp. 609-612.
5. Erusalimskii Ya.M., Skorokhodov V.A., Kuz'minova M.V., Petrosyan A.G. *Grafy s nestandartnoi dostizhimost'yu: zadachi, prilozheniya* [Graphs with custom reachability: tasks, application]. Rostov-on-Don, 2009, 195 p.
6. Skorokhodov V.A. Ustoichivost' i statsionarnoe raspredelenie na grafakh s nestandartnoi dostizhimost'yu [Stability and stationary distribution on graphs with custom reachability]. *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestv. nauki*. 2007, no. 4, pp. 17-21.
7. Skorokhodov V.A., Chebotareva A.S. Zadacha o maksimal'nom potoke v seti s osobymi usloviyami raspredeleniya potoka [Maximum flow problem in a network with special conditions of flow distribution]. *Diskretnyi analiz i issledovanie operatsii*. 2015, vol. 22, no. 3, pp. 55-74.
8. Erzin A.I., Takhonov I.I. Ravnovesnoe raspredelenie resursov v setevoi modeli [Equilibrium resource distribution in a network model]. *Sib. zhurn. industrial'noi matematiki*. 2005, vol. VIII, no. 3 (23), pp. 58-68.
9. Skorokhodov V.A. [The problem of finding the threshold in ergodic resource network]. *Upravlenie bol'shimi sistemami* [Large systems management]. Proceedings. 2016, no. 63, pp. 6-23.

УДК 517.983

DOI 10.18522/0321-3005-2016-4-11-16

ОЦЕНКИ ДЛЯ ОПЕРАТОРОВ ТИПА ПОТЕНЦИАЛА С ОСЦИЛЛИРУЮЩИМИ ЯДРАМИ И СИМВОЛАМИ И ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ К ОПИСАНИЮ ОБРАЗОВ ЭТИХ ПОТЕНЦИАЛОВ

© 2016 г. М.Н. Гуров, В.А. Ногин

ESTIMATES FOR THE POTENTIAL-TYPE OPERATORS WITH OSCILLATING KERNELS AND SYMBOLS AND THEIR APPLICATION TO THE DESCRIPTION OF THE RANGES OF THESE POTENTIALS

M.N. Gurov, V.A. Nogin

Гуров Михаил Николаевич – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник, Южный математический институт Владикавказского научного центра РАН, ул. Маркуса, 22, г. Владикавказ, 362027, e-mail: mgurov@inbox.ru

Michail N. Gurov – Candidate of Physics and Mathematics, Researcher, Southern Institute of Mathematics of Vladikavkaz Scientific Center, RAS, Marcus St., 22, Vladikavkaz, 362027, Russia, e-mail: mgurov@inbox.ru

Ногин Владимир Александрович – кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра дифференциальных и интегральных уравнений, Институт математики, механики и компьютерных наук имени И.И. Воровича Южного федерального университета, ул. Мильчакова, 8а, г. Ростов н/Д, 344090; Южный математический институт Владикавказского научного центра РАН, ул. Маркуса, 22, г. Владикавказ, 362027, e-mail: vanogin@sfnu.ru

Vladimir A. Nogin – Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Department of Differential and Integral Equations, Vorovich Institute of Mathematics, Mechanics and Computer Sciences, Southern Federal University, Milchakov St., 8a, Rostov-on-Don, 344090, Russia; Southern Institute of Mathematics of Vladikavkaz Scientific Center, RAS, Marcus St., 22, Vladikavkaz, 362027, Russia, e-mail: vanogin@sfnu.ru

Изучаются операторы типа потенциала $K^{\alpha,\beta}$, ядра которых имеют особенность на единичной сфере и осциллируют на бесконечности. Такие операторы возникают в различных задачах анализа и математической физики, в частности, в теории комплексных степеней некоторых операторов математической физики: Гельмгольца, Лапласа и операторов Клейна – Гордона – Фока. В рамках метода аппроксимативных обратных операторов построено обращение потенциалов $f = K^{\alpha,\beta} \varphi$ с L_p -плотностями в неэллиптическом случае, когда символы рассматриваемых потенциалов вырождаются на множестве нулевой меры в \mathbb{R}^n . В работе также описан образ $K^{\alpha,\beta}(L_p)$ в терминах оператора, левого обратного к $K^{\alpha,\beta}$.

Ключевые слова: потенциал, метод аппроксимативных обратных операторов, обращение потенциала, образ оператора.

We study multidimensional potential-type operators $K^{\alpha,\beta}$ whose kernels have singularities on the unit sphere and oscillate at infinity. Operators of such a kind appear in various problems of analysis and mathematical physics, in particular, in the theory of complex power of second order differential operators: the Laplace operator, the Helmholtz operator and the Klein - Gordon - Fock operator. Within the framework of the method of approximative inverse operators, we construct the inversion of potentials $f = K^{\alpha,\beta} \varphi$ with densities in L_p in the non-elliptic case when their symbols degenerate on a set of null measure in \mathbb{R}^n . We also describe the range $K^{\alpha,\beta}(L_p)$ in terms of the operator left inverse to $K^{\alpha,\beta}$.

Keywords: potential, method of approximative inverse operators, inversion of potential, discription of the operators range.

Введение

В работе изучаются операторы свертки

$$(K^{\alpha,\beta} \varphi)(x) = \int_{\mathbb{R}^n} k_{\alpha,\beta}(t) \varphi(x-t) dt \quad (1)$$

с ядрами

$$k_{\alpha,\beta}(t) = \begin{cases} \omega(t')(1-|t|^2+i0)^{\beta-1}, & 1-\delta \leq |t| \leq 1+\delta, 0 < \beta < 1; \\ \theta(t')e^{i|t|} |t|^{-\alpha-n}, & |t| \geq T, 0 < \operatorname{Re} \alpha < n. \end{cases}$$

Здесь $\delta \in (0;1)$, $N > 1+\delta$, $t' = t/|t|$. Однородные нулевой степени функции $\omega(t')$ и $\theta(t')$ бесконечно дифференцируемы в $\mathbb{R}^n \setminus \{0\}$.

Вне указанных окрестностей ядро оператора $k_{\alpha,\beta}(t)$ предполагается ограниченным.

Операторы вида (1) возникают в различных задачах анализа и математической физики, в частности, в теории комплексных степеней некоторых операторов математической физики: Гельмгольца, Клейна – Гордона – Фока и Шрёдингера (см. [1–3] и имеющуюся там библиографию).

В рамках метода аппроксимативных обратных операторов построено обращение потенциалов $f = K^{\alpha,\beta}\varphi$, $\varphi \in L_p$, в неэллиптическом случае, т.е. когда $\text{mes}\{\xi : \hat{k}_{\alpha,\beta}(\xi) = 0\} = 0$, где $\hat{k}_{\alpha,\beta}(\xi)$ – символ оператора (1).

Обращение потенциала $f = K^{\alpha,\beta}\varphi$, $\varphi \in L_p$, строится в виде

$$H^{\alpha,\beta}f = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \lim_{\delta \rightarrow 0}^{(L_p, \mu)(L^2)} h_{\varepsilon,\delta}^{\alpha,\beta} * f, \mu < -\frac{(n-1)p}{2}, \quad (2)$$

где

$$h_{\varepsilon,\delta}^{\alpha,\beta}(t) = F^{-1} \left(\frac{\overline{\hat{k}_{\alpha,\beta}(\xi)} (|\xi|^2 - 1)^\ell e^{-\varepsilon|\xi|^2}}{(|\hat{k}_{\alpha,\beta}(\xi)|^2 + i\delta)(|\xi|^2 + (\varepsilon + i)^2)^\ell} \right)(t). \quad (3)$$

Здесь $\ell > n^2/2 + 2n + 3$ [4].

Дано также описание образа $K^{\alpha,\beta}(L_p)$ в терминах обращающих конструкций в неэллиптическом случае.

Заметим, что при обращении и описании потенциалов $K^{\alpha,\beta}\varphi$ с L_p -плотностями существенно используется информация об ограниченности оператора (1) из L_p в сумму пространств $L_{q_1} + L_{q_2}$ (см. замечание 1). Возникающие здесь принципиальные трудности связаны с вопросом о плотности в L_p пространства Φ_V Самко – Лизоркина, построенного по множеству, которое является объединением множества нулей символа оператора (1) и единичной сферы (см. замечание 2). Эти трудности преодолеваются с помощью указанных $L_p \rightarrow L_{q_1} + L_{q_2}$ оценок.

Отметим также, что рассмотренная здесь задача описания образа $K^{\alpha,\beta}(L_p)$ потенциала (1) в неэллиптическом случае является одной из наиболее трудных, поскольку символ потенциала и его производные одновременно имеют нули и особенности на сферах в R^n . Полученные здесь результаты (см. теоремы 3, 4) являются новыми, не имеющими аналогов.

Вспомогательные сведения и утверждения

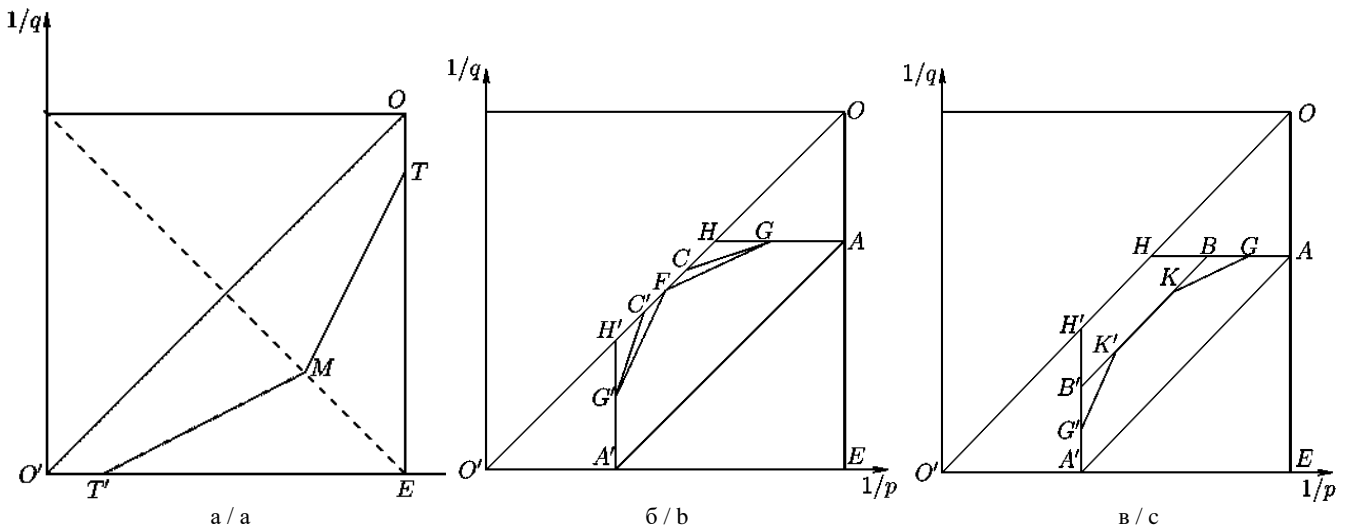
В работе будут использованы следующие обозначения: (A, B, \dots, K) – открытый многоугольник в R^2 с вершинами в точках A, B, \dots, K ; $[A, B, \dots, K]$ – его замыкание. Через $L(A)$ обозначим L -характеристику оператора A , т.е. множество всех точек $(1/p, 1/q)$ -плоскости ($1 \leq p \leq q \leq \infty$) таких, что оператор A ограничен из L_p в L_q .

Пусть $0 < \text{Re}\alpha < n$, $\beta > 0$. Введем в рассмотрение следующие точки $(1/p, 1/q)$ -плоскости:

$$\begin{aligned} A &= \left(1, 1 - \frac{\text{Re}\alpha}{n}\right), \quad A' = \left(\frac{\text{Re}\alpha}{n}, 0\right), \\ C &= \left(\frac{3}{2} - \frac{2\text{Re}\alpha}{n-1}, \frac{3}{2} - \frac{2\text{Re}\alpha}{n-1}\right), \quad C' = \left(\frac{2\text{Re}\alpha}{n-1} - \frac{1}{2}, \frac{2\text{Re}\alpha}{n-1} - \frac{1}{2}\right), \\ E &= (1, 0), \quad F = \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right), \\ G &= \left(1 - \frac{(n - \text{Re}\alpha)(n-1)}{n(n+3)}, 1 - \frac{\text{Re}\alpha}{n}\right), \\ G' &= \left(\frac{\text{Re}\alpha}{n}, \frac{(n - \text{Re}\alpha)(n-1)}{n(n+3)}\right), \\ H &= \left(1 - \frac{\text{Re}\alpha}{n}, 1 - \frac{\text{Re}\alpha}{n}\right), \quad H' = \left(\frac{\text{Re}\alpha}{n}, \frac{\text{Re}\alpha}{n}\right), \\ O &= (1, 1), \quad O' = (0, 0), \\ K &= \left(\frac{2(\text{Re}\alpha + 1)}{n+1} - \frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right), \\ K' &= \left(\frac{1}{2}, \frac{3}{2} - \frac{2(\text{Re}\alpha + 1)}{n+1}\right), \\ B &= \left(1 - \frac{(n-1)(n - \text{Re}\alpha)}{n(n+1)}, 1 - \frac{\text{Re}\alpha}{n}\right), \\ B' &= \left(\frac{\text{Re}\alpha}{n}, \frac{(n-1)(n - \text{Re}\alpha)}{n(n+1)}\right), \\ T' &= (\beta, 0), \quad T = (1, 1 - \beta), \quad M = \left(\frac{n + \beta}{n+1}, \frac{1 - \beta}{n+1}\right). \end{aligned}$$

Для формулировки основных результатов нам понадобятся следующие множества на $(1/p, 1/q)$ -плоскости (рисунок):

$$L_1(\beta, n) = \begin{cases} \left(\frac{1}{p}, \frac{1}{q}\right), 0 < p \leq q < \infty : \begin{cases} \frac{1}{p} - \frac{n}{q} \leq \beta, \frac{1}{p} + \frac{1}{q} \leq 1, \\ \frac{n}{p} - \frac{1}{q} \leq \beta + n - 1, \frac{1}{p} + \frac{1}{q} \geq 1, \end{cases} \\ \left(\frac{1}{p}, 0\right), 0 < p \leq \infty, q = \infty : 0 \leq \frac{1}{p} < \beta, \end{cases}$$



Множества L_i на $(1/p, 1/q)$ -плоскости: а – $L_1(\beta, n)$, $\beta > 0$; б – $L_2(\alpha, n)$, $0 < Re\alpha \leq \frac{n-1}{2}$; в – $L_3(\alpha, n)$, $\frac{n-1}{2} < Re\alpha < n$ /
 The sets L_i on the $(1/p, 1/q)$ -plane: а – $L_1(\beta, n)$, $\beta > 0$; б – $L_2(\alpha, n)$, $0 < Re\alpha \leq \frac{n-1}{2}$; с – $L_3(\alpha, n)$, $\frac{n-1}{2} < Re\alpha < n$

$$L_1(\beta, n) = [O', O, T, M, T'] \setminus \{T'\};$$

$$L_2(\alpha, n) =$$

$$= \begin{cases} [A', H', H, A, E] \setminus ([A', H'] \cup [A, H]), & 0 < Re\alpha \leq \frac{n(n-1)}{2(n+1)}, \\ (A', G', C', C, G, A, E) \cup (A, E) \cup (A', E) \cup (C', C), & \frac{n(n-1)}{2(n+1)} < Re\alpha < \frac{n-1}{2}, \\ (A', G', F, G, A, E) \cup (A, E) \cup (A', E) \cup \{F\}, & Re\alpha = \frac{n-1}{2}, Im\alpha \neq 0, \\ (A', G', F, G, A, E) \cup (A, E) \cup (A', E), & \alpha = \frac{n-1}{2}, \\ (A', G', K', K, G, A, E) \cup (A, E) \cup (A', E) \cup [K', K], & \frac{n-1}{2} < Re\alpha < \frac{n}{2}, \\ (A', B', B, A, E) \cup (A, E) \cup (A', E), & \frac{n}{2} \leq Re\alpha < n, Im\alpha \neq 0, \\ (A', B', B, A, E) \cup (A, E) \cup (A', E) \cup (B', B), & \frac{n}{2} \leq \alpha < n, \end{cases}$$

$$L_3(\alpha, n) = [O, A, A', O'] \setminus (\{A'\} \cup \{A\}).$$

При доказательстве основных результатов будут использованы следующие определения.

Пусть V – произвольное замкнутое множество в R^n . Через Ψ_V обозначим класс всех функций из S , исчезающих вместе со всеми своими производными на V :

$$\Psi_V = \{\psi(x) \in S : D^k \psi(x) = 0, x \in V, |k| = 0, 1, 2, \dots\}.$$

Обозначим через Φ_V пространство прообразов Фурье функций из $\Psi_V : \Phi_V = F^{-1}(\Psi_V)$.

В работе [5] получено явное представление для

символа $\hat{k}_{\alpha, \beta}(\xi)$ оператора (1), а также доказано, что $\hat{k}_{\alpha, \beta}(\xi)$ является бесконечно дифференцируемой функцией вне любой окрестности S^{n-1} .

Кроме того, в [5] доказан ряд следующих утверждений:

Теорема 1. Пусть $0 < Re\alpha < n$, $0 < \beta < 1$. Тогда:

- I. Справедливо вложение $L(K^{\alpha, \beta}) \supset L_1(\beta, n) \cap L_2(\alpha, n) \cap L_3(\alpha, n)$.
- II. Множество $L(K^{\alpha, \beta})$ не содержит точек:
 - 1) лежащих вне множества $L_1(\beta, n)$;
 - 2) лежащих на отрезке $[A, H]$ и выше него, если $\theta(\sigma) \neq 0$, $\sigma \in S^{n-1}$;
 - 3) лежащих на отрезке $[A', H']$ и левее него при тех же условиях, что и в пункте 2);
 - 4) лежащих на отрезке $[O', O]$, если $\alpha = (n-1)/2$;
 - 5) лежащих выше прямой $B'B$ при тех же условиях, что и в пункте 2).

Теорема 2. Пусть выполнены условия теоремы 1. Тогда, если q_1 и q_2 таковы, что $1 < q_1, q_2 \leq 2$ и $(1/p, 1/q_1) \in L_2(\alpha, n) \cap L_3(\alpha, n)$, $(1/p, 1/q_2) \in L_1(\beta, n)$, то оператор $K^{\alpha, \beta}$ ограничен из L_p в $L_{q_1} + L_{q_2}$.

Лемма 1. Ядро $h_{\varepsilon,\delta}^{\alpha,\beta}(t)$, определенное равенством (3), принадлежит L_1 .

Лемма 2. Пусть $\varphi \in S$. Тогда

$$(H_{\varepsilon,\delta}^{\alpha,\beta} K^{\alpha,\beta} \varphi)(x) = (A_\varepsilon \varphi)(x) + (B_{\varepsilon,\delta} A_\varepsilon^1 \varphi)(x), \quad (4)$$

где $(H_{\varepsilon,\delta}^{\alpha,\beta} f)(x) = (h_{\varepsilon,\delta}^{\alpha,\beta} * f)(x)$,

$$\hat{A}_\varepsilon \varphi(\xi) = \frac{(|\xi|^2 - 1)^l e^{-\varepsilon|\xi|^2}}{(|\xi|^2 + (\varepsilon + i)^2)^l} \hat{\varphi}(\xi). \quad (5)$$

Здесь $\hat{A}_\varepsilon^1 \varphi(\xi)$ получено из (5) заменой $e^{-\varepsilon|\xi|^2}$ на $e^{-\varepsilon|\xi|^2/2}$; $B_{\varepsilon,\delta}$ – оператор с символом $-i\delta e^{-\varepsilon|\xi|^2/2} / (|\hat{k}_{\alpha,\beta}(|\xi|)|^2 + i\delta)$.

Основные результаты

Теорема 3. Пусть $0 < \operatorname{Re} \alpha < n$, $0 < \beta < 1$ и $\max\{1/2, \operatorname{Re} \alpha/n\} < 1/p \leq 1$. Тогда справедлива формула

$$(H^{\alpha,\beta} K^{\alpha,\beta} \varphi)(x) = \varphi(x), \quad \varphi \in L_p. \quad (6)$$

Здесь оператор $H^{\alpha,\beta}$ – оператор (2).

Теорема 4. Пусть $0 < \operatorname{Re} \alpha < n$, $0 < \beta < 1$ и $\max\{1/2, \operatorname{Re} \alpha/n\} < 1/p \leq 1$. Тогда

$$K^{\alpha,\beta}(L_p) = \{f \in L_{q_1} + L_{q_2} : H^{\alpha,\beta} f \in L_p\},$$

где $H^{\alpha,\beta}$ – оператор (2); q_1 и q_2 – произвольные числа, для которых $1 < q_1, q_2 \leq 2$ и оператор $K^{\alpha,\beta}$ ограничен из L_p в $L_{q_1} + L_{q_2}$.

Доказательство теоремы 3. Заметим, что

$$(A_\varepsilon \varphi)(x) = (W_\varepsilon \varphi)(x) + \sum_{k=1}^l C_l^k (-\varepsilon(2i + \varepsilon))^k (\varepsilon + i)^{l-2k} \times \\ \times (G_{2k}((\varepsilon + i)|t|) * W_\varepsilon \varphi)(x), \quad \varphi \in S, \quad (7)$$

где ядро $G_{2k}((\varepsilon + i)|t|) = \frac{2^{(2-n-2k)/2} K_{n/2-k}((\varepsilon + i)|t|)}{\pi^{n/2} \Gamma(k)((\varepsilon + i)|t|)^{n/2-k}}$ принадлежит L_1 [6]; $K_\nu(z)$ – функция Макдональда

порядка ν [7]; $W(x, \varepsilon) = (4\pi\varepsilon)^{-\frac{n}{2}} e^{-\frac{|x|^2}{4\varepsilon}}$ – ядро Гаусса – Вейерштрасса; $W_\varepsilon \varphi(x) = (W(\cdot, \varepsilon) * \varphi)(x)$.

Формула (7) проверяется переходом к образам Фурье [8].

Равенство (4), доказанное на функциях $\varphi \in S$, распространим по ограниченности на все пространство L_p , где p удовлетворяет неравенству $\max\{1/2, \operatorname{Re} \alpha/n\} < 1/p \leq 1$. Такое распространение возможно ввиду теоремы 1. Оператор в правой части также ограничен из L_p в $L_{1,\mu}$ для некоторого $\mu < -\frac{(n-1)p}{2}$.

Далее заметим, что

$$\lim_{\delta \rightarrow 0}^{(L_2)} (B_{\varepsilon,\delta} A_\varepsilon^1 \varphi)(x) = 0, \quad \varphi \in L_p, 1 \leq p \leq 2. \quad (8)$$

Действительно, применяя равенство Парсеваля, получим $\|B_{\varepsilon,\delta} A_\varepsilon^1 \varphi\|_2^2 =$

$$= (2\pi)^{-n} \int_{\mathbb{R}^n} \frac{\delta^2 e^{-\varepsilon|\xi|^2}}{|\hat{k}_{\alpha,\beta}(\xi)|^4 + \delta^2} |\hat{A}_\varepsilon^1 \varphi(\xi)|^2 d\xi \rightarrow 0$$

при $\delta \rightarrow 0$ в силу мажорантной теоремы Лебега. Существование суммируемой мажоранты для подынтегральной функции следует из неравенства

$$\frac{\delta^2 e^{-\varepsilon|\xi|^2}}{|\hat{k}_{\alpha,\beta}(\xi)|^4 + \delta^2} |\hat{A}_\varepsilon^1 \varphi(\xi)|^2 \leq e^{-(\varepsilon|\xi|^2)/2} |\hat{A}_\varepsilon^1 \varphi(\xi)|^2 \in L_1.$$

С учетом (8) $\lim_{\delta \rightarrow 0}^{(L_2)} (H_{\varepsilon,\delta}^{\alpha,\beta} K^{\alpha,\beta} \varphi)(x) = (A_\varepsilon \varphi)(x)$.

Используя равенство

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} (-\varepsilon(2i + \varepsilon))^k (\varepsilon + i)^{l-2k} \times \quad (9)$$

$$\times (G_{2k}((\varepsilon + i)|t|) * W_\varepsilon \varphi)(x) = 0, \quad k = 1, 2, \dots, l \quad [9],$$

где $\varphi \in L_p$, $1 \leq p < 2n/(n-1)$, получаем (6) (предел в (9) понимается в смысле $L_{p,\mu}$ или почти всюду [7]).

Доказательство теоремы 4. Вложение

$$K^{\alpha,\beta}(L_p) \subset \{f \in L_{q_1} + L_{q_2} : H^{\alpha,\beta} f \in L_p\} \quad (10)$$

следует из теорем 2 и 3.

Докажем вложение, обратное к (10). Пусть $f = f_1 + f_2$, где $f_1 \in L_{q_1}$, $f_2 \in L_{q_2}$ и $H^{\alpha,\beta} f \in L_p$.

Пусть функция $u \in S$ такова, что $\hat{u}(\xi) = 0$ в некоторой окрестности множества $V = \{\xi : \hat{k}_{\alpha,\beta}(\xi) = 0\} \cup S^{n-1}$ (следовательно, $u \in \Phi_V$).

Легко показать, что

$$\langle K^{\alpha,\beta} H^{\alpha,\beta} f, u \rangle = \langle H^{\alpha,\beta} f, \overline{K^{\alpha,\beta} u} \rangle. \quad (11)$$

Используя (11), получаем

$$\langle K^{\alpha,\beta} H^{\alpha,\beta} f, u \rangle = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \lim_{\delta \rightarrow 0} \left(\sum_{j=1}^2 \langle f_j, \overline{H_{\varepsilon,\delta}^{\alpha,\beta} K^{\alpha,\beta} u} \rangle \right).$$

Пусть $K_{\varepsilon,\delta}$ – оператор с символом

$$\frac{(|\xi|^2 - 1)^l e^{-\varepsilon|\xi|^2/2}}{(|\hat{k}_{\alpha,\beta}(\xi)|^2 - i\delta)(|\xi|^2 + (\varepsilon - i)^2)^l}.$$

Тогда на основании равенства

$$(H_{\varepsilon,\delta}^{\alpha,\beta} K^{\alpha,\beta} u)(x) = (A_\varepsilon u)(x) + i\delta (K_{\varepsilon,\delta} W_{\varepsilon/2} u)(x),$$

которое проверяется переходом к образам Фурье

$$[9], \text{ получаем } \langle K^{\alpha,\beta} H^{\alpha,\beta} f, u \rangle = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left(\sum_{j=1}^2 \langle f_j, \overline{A_\varepsilon u} \rangle \right) +$$

$$+ \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \lim_{\delta \rightarrow 0} \left(\sum_{j=1}^2 \langle f_j, i\delta K_{\varepsilon,\delta} W_{\varepsilon/2} u \rangle \right).$$

Докажем равенство

$$\lim_{\delta \rightarrow 0} \langle f_j, i\delta K_{\varepsilon, \delta} W_{\delta^2} u \rangle = 0, \quad j=1,2. \quad (12)$$

С учетом того, что символ оператора (1) является бесконечно дифференцируемой функцией вне любой окрестности S^{n-1} [5], заключаем, что $(K_{\varepsilon, \delta} \hat{W}_{\delta^2} u)(\xi) \in \Psi_V$; следовательно,

$$\langle f_j, i\delta K_{\varepsilon, \delta} W_{\delta^2} u \rangle = (2\pi)^{-n} \langle Ff_j, i\delta F(K_{\varepsilon, \delta} W_{\delta^2} u) \rangle,$$

где Ff_j понимается в смысле Ψ'_V ; это преобразование Фурье совпадает с преобразованием Фурье, понимаемом в смысле L_{q_j} (в соответствии с теоремой Хаусдорфа – Юнга). Применяя неравенство Гельдера, получаем

$$|\langle f_j, i\delta K_{\varepsilon, \delta} W_{\delta^2} u \rangle| \leq \delta \|Ff_j\|_{q'_j} \times \left(\int_{R^n} \frac{e^{-\varepsilon|\xi|^2} q_j \|\xi\|^2 - 1 |^{q_j} |(F\omega)(\xi)|^{q_j}}{|\hat{k}_{\alpha, \beta}(\xi)|^{2q_j} \|\xi\|^2 + (\varepsilon - i)^2 |^{q_j}} d\xi \right)^{1/q_j}. \quad (13)$$

Заметим, что интеграл в правой части (13) конечен [4, теорема 4.7].

Переходя к пределу в (13) при $\delta \rightarrow 0$, получим (12). Принимая во внимание (12) и (13), получим

$$\begin{aligned} \langle K^{\alpha, \beta} H^{\alpha, \beta} f, u \rangle &= \\ &= \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left(\sum_{j=1}^2 (2\pi)^{-n} \langle f_j, \frac{(|\xi|^2 - 1)^l e^{-\varepsilon|\xi|^2}}{(|\xi|^2 + (\varepsilon - i)^2)^l} \hat{u}(\xi) \rangle \right) = \\ &= \langle f_1, u \rangle + \langle f_2, u \rangle. \end{aligned}$$

Таким образом, нами доказано равенство

$$\langle K^{\alpha, \beta} H^{\alpha, \beta} f, u \rangle = \langle f_1, u \rangle + \langle f_2, u \rangle. \quad (14)$$

Переходя к заключительному этапу доказательства теоремы 4, выберем для заданной функции $\varphi \in S$ последовательность $\{u_m\}$, $u_m \in S$, такую, что $(Fu_m)(\xi) = 0$ в некоторой окрестности множества

$$V \text{ и } \lim_{m \rightarrow \infty}^{(L_{q_1})} u_m = \varphi, \quad \lim_{m \rightarrow \infty}^{(L_{q_2})} u_m = \varphi. \text{ Существование такой}$$

последовательности было доказано в [10].

На основании (14)

$$\langle K^{\alpha, \beta} H^{\alpha, \beta} f, u_m \rangle = \langle f_1, u_m \rangle + \langle f_2, u_m \rangle.$$

Используя теорему 2 и переходя в этом равенстве к пределу при $m \rightarrow \infty$, получаем $\langle f, \varphi \rangle = \langle K^{\alpha, \beta} H^{\alpha, \beta} f, \varphi \rangle$, $\varphi \in S$. Следовательно, $f(x) = (K^{\alpha, \beta} H^{\alpha, \beta} f)(x)$ для почти всех $x \in R^n$.

Последнее равенство означает, что $f(x) \in K^{\alpha, \beta}(L_p)$. Теорема полностью доказана.

Замечание 1. Существование чисел q_1 и q_2 , описанных в формулировке теоремы 4, вытекает из теоремы 2.

Замечание 2. Доказательство теоремы 4 существенно основано на возможности одновременной аппроксимации функции $\varphi \in S$ по норме пространств L_{p_1} и L_{p_2} ($p_1, p_2 \geq 2$) функциями из Φ_V (V – произвольное замкнутое множество R^n), преобразование Фурье которых обращается в нуль в некоторой окрестности множества V . Возможность такой аппроксимации была доказана в [10] (см. также [7]).

Литература

1. *Вожжов Д.В., Ногин В.А.* Комплексные степени вырождающихся дифференциальных операторов, связанных с оператором Клейна–Гордона–Фока // Изв. вузов. Математика. 2009. № 9. С. 3–12.
2. *Stein E.M.* Harmonic Analysis: Real-variable Method, Orthogonality, and Oscillatory Integrals. Princeton, 1993. 355 p.
3. *Strichartz R.S.* A priori estimates for the wave equation and some applications // J. Funct. Anal. 1970. № 5. P. 218–235.
4. *Karasev D.N., Nogin V.A.* Description of the ranges of some potential-type operators with oscillating kernels in the non-elliptic case // Fractional Calculus and Applied Analysis. 2002. Vol. 5, № 3. P. 315–349.
5. *Гуров М.Н.* Операторы свертки с осциллирующими ядрами или символами в пространствах Харди – Лебега и пространствах гильбертовских функций: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Ростов н/Д., 2016. 95 с.
6. *Бейтман Г., Эрдейи А.* Высшие трансцендентные функции. М., 1974. Т. 2. 296 с.
7. *Samko S.G.* Hypersingular integrals and their applications. L., 2002. Vol. 5. 376 p.
8. *Karasev D.N., Nogin V.A.* Inversion of some potential-type operators with oscillating kernels in the elliptic and non-elliptic cases // Integral Transforms and Special Functions. 2002. Vol. 13. P. 529–545.
9. *Ногин В.А., Шевченко К.С.* Обращение некоторых потенциалов Рисса с осциллирующими характеристиками в неэллиптическом случае // Изв. вузов. Математика. 1999. № 10. С. 77–79.
10. *Samko S.G.* A new approach to the inversion of the Riesz potential operator // Fractional Calculus and Applied Analysis. 1998. Vol. 1, № 3. P. 225–245.

References

1. Vozhzhov D.V., Nogin V.A. Kompleksnye stepeni vyrozhdayushchikhsya differentsial'nykh operatorov, svyazannykh s operatorom Kleina – Gordona – Foka [Complex powers of degenerating differential operators connected with the Klein-Gordon-Fock operator]. *Izv. vuzov. Matematika*. 2009, no. 9, pp. 3-12.
2. Stein E.M. *Harmonic Analysis: Real-variable Method, Orthogonality, and Oscillatory Integrals*. Princeton, 1993, 355 p.
3. Strichartz R.S. A priori estimates for the wave equation and some applications. *J. Funct. Anal.* 1970, no. 5, pp. 218-235.
4. Karasev D.N., Nogin V.A. Description of the ranges of some potential-type operators with oscillating kernels in the non-elliptic case. *Fractional Calculus and Applied Analysis*. 2002, vol. 5, no. 3, pp. 315-349.
5. Gurov M.N. *Operatory svertki s ostsilliruyushchimi yadrami ili simbolami v prostranstvakh Khardi – Lebege i prostranstvakh gel'derovskikh funktsii*: dis. ... kand. fiz.-mat. nauk [Convolution operators with oscillating kernels or symbols in the Hardy spaces - spaces of Lebesgue and Holder functions]. Rostov-on-Don, 2016, 95 p.
6. Beitman G., Erdeii A. *Vysshie transtsendentnye funktsii* [Higher transcendental functions]. Moscow, 1974, vol. 2, 296 p.
7. Samko S.G. *Hypersingular integrals and their applications*. London, 2002, vol. 5, 376 p.
8. Karasev D.N., Nogin V.A. Inversion of some potential-type operators with oscillating kernels in the elliptic and non-elliptic cases. *Integral Transforms and Special Functions*. 2002, vol. 13, pp. 529-545.
9. Nogin V.A., Shevchenko K.S. Obrashchenie nekotorykh potentsialov Rissa s ostsilliruyushchimi kharakteristikami v neellipticheskom sluchae [Inversion of some Riesz potentials with oscillating characteristics in nonelliptic case]. *Izv. vuzov. Matematika*. 1999, no. 10, pp. 77-79.
10. Samko S.G. A new approach to the inversion of the Riesz potential operator. *Fractional Calculus and Applied Analysis*. 1998, vol. 1, no. 3, pp. 225-245.

УДК 519.2

DOI 10.18522/0321-3005-2016-4-17-20

РАСЧЁТ ИНТЕРВАЛА СПРАВЕДЛИВЫХ ЦЕН ДЛЯ БИНАРНОЙ МОДЕЛИ (B,S)-РЫНКА С ВОЛАТИЛЬНОСТЬЮ, ЯВЛЯЮЩЕЙСЯ МАРКОВСКОЙ ЦЕПЬЮ*

©2016 г. Н.В. Данилова

THE CALCULATION OF THE INTERVAL OF THE FAIR PRICES FOR THE BINARY (B,S)-MARKET MODEL WITH VOLATILITY, WHICH IS MARKOV CHAIN

N.V. Danilova

Данилова Наталья Викторовна – кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра высшей математики и исследования операций, Институт математики, механики и компьютерных наук имени И.И. Воровича Южного федерального университета, ул. Мильчакова, 8а, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: danilova198686@mail.ru

Natalia V. Danilova – Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Department of High Mathematics and Operations Research, Vorovich Institute of Mathematics, Mechanics and Computer Sciences, Southern Federal University, Milchakov St., 8a, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: danilova198686@mail.ru.

Рассматривается случайный процесс, один из параметров которого является марковской цепью с заданной матрицей переходных вероятностей и неопределённым начальным распределением, а другой – радемахеровской случайной величиной. Приводится задача вычисления минимального и максимального значений математического ожидания некоторой функции от этого процесса, обладающей определёнными свойствами, по начальному распределению. Представлено приложение задачи в финансовой математике. Рассчитывается интервал цен опциона.

Ключевые слова: марковская цепь, волатильность, случайное блуждание.

The stochastic process which is based on the Markov chain and the random walk is considered in the paper. The Markov chain has the given matrix of transitive probabilities and the unknown vector of initial distribution. The problem of calculation of minimal and maximal values of the given function of this process is considered. The calculation example is resulted. The problem appendix in mathematical finance is also presented, as it is shown in the paper. The interval of the fair prices, which suit both the seller and the buyer of the European call option, is calculated. In several cases we deal with the unique fair price.

Keywords: Markov chain, volatility, random walk.

Введение

Фундаментальные работы Ф. Блэка, М. Шоулза [1] и Р. Мертона [2] внесли значительный вклад в теорию оценивания опционов. Многочисленные статистические наблюдения показали, что модели Блэка, Шоулза и Мертона недостаточно хорошо отражают рыночные цены, так как рыночная волатильность в них не является константой. Эта проблема известна как «улыбка волатильности». В настоящее время основное внимание исследователей в области финансовой математики сфокусировано на моделях стохастической волатильности, в которых волатильность является случайным процессом. Модели стохастической волатильности впервые изучены Х. Джонсоном и Д. Шано [3], Дж. Халлом и А. Уайтом [4], Л. Скоттом [5]. Другие модели со стохастической волатильностью предложены Е. Штейном [6], С. Хестоном [7]. В этих моделях изменение цен активов управлялось с помощью процесса волатильности, который может быть как зависимым, так и не зависимым от процесса стоимости рискованного актива. Как правило, в этих моде-

лях волатильность является процессом Ито. Это предполагает знание начальной волатильности.

Наряду с моделями стохастической волатильности рассматриваются модели с неопределённой волатильностью [8–10]. В них волатильность является траекторией неважно детерминированной или случайной, принадлежащей допустимому множеству траекторий. То есть на волатильность накладываются ограничения, например, в виде неравенства $\underline{\sigma}(t) \leq \sigma(t) \leq \bar{\sigma}(t)$ с известными границами или в виде условия Гельдера $|\sigma(t) - \sigma(\tau)| \leq L|t - \tau|^\lambda, 0 < \lambda \leq 1$.

В классических моделях Блэка, Шоулза и Мертона эволюции стоимости акции и банковского счёта описываются дифференциальными уравнениями, стохастическим и детерминированным

$$dS_t = S_t(\mu dt + \sigma dW_t), \quad dB_t = rB_t dt, \quad (1)$$

с начальными условиями S_0, B_0 . В первом уравнении W_t – винеровский процесс относительно исходной меры и исходного стохастического базиса. В стохастической финансовой математике особую роль играет процесс дисконтированной стоимости

* Работа поддержана грантом 213.01-07-2014/07 ПЧВГ.

(S_t/B_t) и эквивалентная исходной мартингаловая мера, относительно которой и исходного стохастического базиса дисконтированная стоимость является мартингалом. Переход к единственной мартингаловой мере в этой модели осуществляется заменой винеровского процесса W_t на процесс W_t^* , который удовлетворяет уравнению $dW_t^* = \frac{\mu-r}{\sigma} dt + dW_t$. Относительно мартингаловой меры и исходного стохастического базиса процесс W_t^* является винеровским. Переход от процесса W_t к новому процессу W_t^* называется преобразованием Гирсанова [11]. После преобразования Гирсанова первое уравнение в (1) трансформируется в уравнение $dS_t = S_t(rdt + \sigma dW_t^*)$. В ряде приложений, в частности в стохастической финансовой математике, требуется вычислить по мартингаловой мере математическое ожидание $E_{\sigma}^* f(S_T)$ от неотрицательной и ограниченной функции. Если рассматривать функцию f как платежное обязательство по некоторому финансовому контракту, которое должно быть оплачено в финальный момент T , то выражение $C = \exp(-rT)E_{\sigma}^* f(S_T)$ является справедливой ценой этого контракта. В этой модели упомянутое математическое ожидание

$$E_{\sigma}^* f(S_T) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f \left(S_0 \exp \left(\int_0^T (r - \sigma^2/2) dt + \sqrt{\int_0^T \sigma^2 dt} x \right) \right) \times \exp(-x^2/2) dx.$$

Математическое ожидание также может быть вычислено в результате решения уравнения $\frac{\partial v}{\partial t} + rx \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\sigma^2 x^2}{2} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = 0$ с краевым условием $v(T, x) = f(x)$, причём $E_{\sigma}^* f(S_T)$ и решение уравнения связаны равенством $E_{\sigma}^* f(S_T) = v(0, S_0)$. Для любой фиксированной траектории σ из допустимого множества траекторий Ξ порождаемая уравнением $dS_t = S_t(rdt + \sigma dW_t^*)$ мера является мартингаловой. В связи с этим можно рассматривать задачи вычисления $\sup_{\sigma \in \Xi} E_{\sigma}^* f(S_T)$ и $\inf_{\sigma \in \Xi} E_{\sigma}^* f(S_T)$. Если множество допустимых траекторий $\Xi = \{\sigma(t), 0 \leq t \leq T, \underline{\sigma} \leq \sigma(t) \leq \bar{\sigma}\}$ и функция f является непрерывной и ограниченной, то $\sup_{\sigma \in \Xi} E_{\sigma}^* f(S_T) = \bar{v}(0, S_0)$, где \bar{v} – вязкостное решение

$$\text{уравнения } \frac{\partial v}{\partial t} + rx \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{x^2}{2} \max_{\underline{\sigma} \leq \sigma \leq \bar{\sigma}} \left(\sigma^2 \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \right) = 0 \text{ с краевым условием } \bar{v}(T, x) = f(x); \inf_{\sigma \in \Xi} E_{\sigma}^* f(S_T) = \underline{v}(0, S_0),$$

где \underline{v} – вязкостное решение уравнения $\frac{\partial v}{\partial t} + rx \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{x^2}{2} \min_{\underline{\sigma} \leq \sigma \leq \bar{\sigma}} \left(\sigma^2 \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \right) = 0$ с краевым условием $\underline{v}(T, x) = f(x)$. Основным недостатком модели является то, что волатильность $\sigma(t) \in [\underline{\sigma}, \bar{\sigma}]$. Отсюда отношение $\frac{\sigma(t)}{\sigma(\tau)} \in \left[\frac{\underline{\sigma}}{\bar{\sigma}}, \frac{\bar{\sigma}}{\underline{\sigma}} \right]$. В [10] этот недостаток

был в некоторой степени преодолён. В модели, рассматриваемой в этой работе, волатильность является решением дифференциального уравнения $d\sigma(t) = \delta(t)\sigma(t)dt$ с начальным условием σ_0 и нефиксированной функцией $\delta(t)$, причём $\delta(t) \in [\underline{\delta}, \bar{\delta}]$.

Для отношения $\frac{\sigma(t)}{\sigma(\tau)}$ справедливо двойное неравенство: $\exp(\underline{\delta}(t-\tau)) \leq \frac{\sigma(t)}{\sigma(\tau)} \leq \exp(\bar{\delta}(t-\tau))$ и при

$\tau \rightarrow t$ отношение стремится к единице. Для непрерывной и ограниченной функции f вычисление $\sup_{\delta \in \Delta} E_{\delta}^* f(S_T)$ и $\inf_{\delta \in \Delta} E_{\delta}^* f(S_T)$ также связано с вязкостными решениями \bar{v} и \underline{v} двумерных уравнений, которые принято называть уравнениями G-теплопроводности $\sup_{\delta \in \Delta} E_{\delta}^* f(S_T) = \bar{v}(0, S_0, \sigma_0)$ и

$$\inf_{\delta \in \Delta} E_{\delta}^* f(S_T) = \underline{v}(0, S_0, \sigma_0), \text{ где}$$

$\Delta = \{\delta(t), 0 \leq t \leq T : \underline{\delta} \leq \delta(t) \leq \bar{\delta}\}$. Там же установлено, что одним из способов решения уравнения G-теплопроводности являются дискретизация стохастического дифференциального уравнения и использование при этом радемахеровских случайных величин. Поэтому далее рассматривается дискретная модель, порождаемая последовательностью радемахеровских случайных величин.

Альтернативой вышеприведенным моделям является задание семейства мер на измеримом пространстве, порождаемом допустимыми траекториями волатильности. При этом используется представление волатильности в виде марковского процесса с неполностью определенными параметрами, допустим, с известной матрицей интенсивностей и неопределённым начальным распределением. Именно такая задача рассматривается ниже.

Модель

Рассматривается дискретная модель $S_n = S_{n-1}(1+r + \sigma_n \varepsilon_n)$, $B_n = B_{n-1}(1+r)$, (2) где $(\sigma_n)_{n=1}^N$ – марковская цепь, не зависящая от ε ; каждое $\sigma_n, n=1, \dots, N$ принимает $\tilde{N}+1$ значение из

интервала $[\underline{\sigma}, \bar{\sigma}]$, а именно $\sigma_n \in \{\underline{\sigma}, \underline{\sigma} + h, \dots, \bar{\sigma} - h, \bar{\sigma}\}$, $h = \frac{\bar{\sigma} - \underline{\sigma}}{\tilde{N}}$, $n = 1, \dots, N$. Множество возможных значений волатильности обозначим через $\Delta = (\Delta_i)_{i=0}^{\tilde{N}}$, где $\Delta_i = \underline{\sigma} + i \cdot h$, $i = 0, \dots, \tilde{N}$. Матрица переходных вероятностей имеет вид $\mathbf{Q} = (q_{ij})_{i,j=0}^{\tilde{N}}$, где $q_{ij} = P(\sigma_n = \Delta_i / \sigma_{n-1} = \Delta_j)$, $i = 0, \dots, \tilde{N}$, $j = 0, \dots, \tilde{N}$. Вектор начальных вероятностей имеет вид $\mathbf{P} = (p_i)_{i=0}^{\tilde{N}}$, где $p_i = P(\sigma_1 = \Delta_i)$, $i = 0, \dots, \tilde{N}$. В (2) $(\varepsilon_n)_{n=1}^N$ – одинаково распределённые и независимые радемахеровские случайные величины. При постоянной волатильности данная модель является бинарной моделью Кокса – Росса – Рубинштейна [12].

Легко проверяется

Утверждение 1. Для любого фиксированного начального распределения P марковской последовательности σ мера, порождаемая уравнением (2), является мартингальной относительно естественного стохастического базиса с фильтрацией $F_0 = \sigma(\emptyset, \Omega), \dots, F_n = \sigma(\varepsilon_1, \sigma_1), \dots, (\varepsilon_n, \sigma_n)$.

Доказательство. Мартингальное равенство $E_P\left(\frac{S_n}{B_n} / F_{n-1}\right) = \frac{S_{n-1}}{B_{n-1}}$ с учётом (2) имеет вид $E_P(\sigma_n \varepsilon_n / F_{n-1}) = 0$. В силу свойств радемахеровской последовательности $(\varepsilon_n)_{n=1}^N$ получаем, что мартингальное равенство выполняется для любой фиксированной последовательности $(\sigma_n)_{n=1}^N$.

Рассмотрим функцию f , ограниченную на конечном множестве возможных значений случайной величины S_N , для которой необходимо вычислить $\min_P E_P f(S_N)$ и $\max_P E_P f(S_N)$.

Утверждение 2. Математическое ожидание $E_P f(S_N)$ линейно зависит от начального распределения P .

Доказательство следует из непосредственного вычисления математического ожидания $E_P f(S_N)$:

$$E_P f(S_N) = E_P f\left(S_0 \prod_{i=1}^N (1 + r + \sigma_i \varepsilon_i)\right) = E_P f\left(S_0 \exp\left(\sum_{i=1}^N a_i\right) \exp\left(\sum_{i=1}^N b_i \varepsilon_i\right)\right),$$

$$\text{где } a_i = \frac{1}{2}(\ln(1 + r + \sigma_i) + \ln(1 + r - \sigma_i)),$$

$$b_i = \frac{1}{2}(\ln(1 + r + \sigma_i) - \ln(1 + r - \sigma_i)).$$

$$\text{Итак, } E_P f\left(S_0 \exp\left(\sum_{i=1}^N a_i\right) \exp\left(\sum_{i=1}^N b_i \varepsilon_i\right)\right) = \left(\frac{1}{2}\right)^N \sum_{i_i \in \{-1,1\}} \dots \sum_{i_N \in \{-1,1\}} E_P \left(f\left(S_0 \exp\left(\sum_{i=1}^N a_i\right) \exp\left(\sum_{j=1}^N b_j i_j\right)\right)\right).$$

Следовательно, $Ef = Eg(a_1, \dots, a_N; b_1, \dots, b_N) = Eh(\sigma_1, \dots, \sigma_N)$.

Введем обозначение: $\sigma = \{\sigma_1, \dots, \sigma_N\}$, а Ξ – множество допустимых значений σ . Имеем $Eh(\sigma) = \sum_{\sigma \in \Xi} h(\sigma) P(\sigma)$. В силу того, что $(\sigma_n)_{n=1}^N$ – марковская цепь, справедливо равенство $P(\sigma) = P(\sigma_N / \sigma_{N-1}) \cdot \dots \cdot P(\sigma_1)$. Отсюда

$$Eh(\sigma) = \sum_{i=0}^{\tilde{N}} A_i p_i, \text{ где } A_i, i = 0, \dots, \tilde{N} \text{ – константы.}$$

Поскольку $Ef(S_N)$ линейно зависит от параметров p_i ($\sum_{i=1}^{\tilde{N}} p_i = 1$, $p_i \geq 0$), то справедливо

Утверждение 3. $\min_P E_P f(S_N) = \min_{i=0, \dots, \tilde{N}} A_i$,
 $\max_P E_P f(S_N) = \max_{i=0, \dots, \tilde{N}} A_i$.

Доказательство. Первый факт вытекает из того, что задача линейного программирования $\sum_{i=1}^{\tilde{N}} p_i A_i \Rightarrow \min$ при ограничениях $\sum_{i=1}^{\tilde{N}} p_i = 1$, $p_i \geq 0$, имеет решение $p_j^* = \delta_{i^*, j}$, где $i^* = \arg \min_i A_i$. Аналогично устанавливается второй факт.

Пример. Начальные данные: $N = 3$, $\tilde{N} = 2$,
 $S_0 = 1$, $\mu = 0,3$, $\underline{\sigma} = 0,2$, $\bar{\sigma} = 0,4$,

$$\mathbf{Q} = \begin{pmatrix} 0,1 & 0,5 & 0 \\ 0,9 & 0,2 & 0,6 \\ 0 & 0,3 & 0,4 \end{pmatrix}, \quad f(x) = \max(x - 1, 0).$$

Функция

$$h(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3) = \frac{1}{8} (f((1,3 + \sigma_1)(1,3 + \sigma_2)(1,3 + \sigma_3)) + f((1,3 + \sigma_1)(1,3 + \sigma_2)(1,3 - \sigma_3)) + f((1,3 + \sigma_1)(1,3 - \sigma_2)(1,3 + \sigma_3)) + f((1,3 + \sigma_1)(1,3 - \sigma_2)(1,3 - \sigma_3)) + f((1,3 - \sigma_1)(1,3 + \sigma_2)(1,3 + \sigma_3)) + f((1,3 - \sigma_1)(1,3 + \sigma_2)(1,3 - \sigma_3)) + f((1,3 - \sigma_1)(1,3 - \sigma_2)(1,3 + \sigma_3)) + f((1,3 - \sigma_1)(1,3 - \sigma_2)(1,3 - \sigma_3))).$$

Коэффициенты $A_0 \approx 1,197$, $A_1 \approx 1,203$, $A_2 \approx 1,214$.

Следовательно, $\min_{p_0, p_1, p_2} Ef(S_3) = A_0 \approx 1,197$,

$$p_0 = 1, \quad p_1 = 0, \quad p_2 = 0.$$

Аналогично $\max_{p_0, p_1, p_2} Ef(S_3) = A_2 \approx 1,214, \quad p_0 = 0, \quad p_1 = 0, \quad p_2 = 1.$

Отметим, что в примере экстремальными являются крайние значения. Вполне возможно, этот факт связан со свойствами функции f , а именно с выпуклостью.

Заключение

В модели, предложенной в [10], предполагается знание начального значения волатильности σ_0 , что не всегда оправданно. Предлагаемая модель лишена этого недостатка и поэтому, на наш взгляд, заслуживает внимания. В модели предполагается, что выбор матрицы переходных вероятностей позволяет добиться того, чтобы волатильность колебалась относительно неизвестного уровня, например, сделав крайние состояния марковской цепи отражающими состояниями. Отметим, что предложенная модель не относится к моделям со стохастической и неопределенной волатильностью, скорее это модель с неопределенным «уровнем» волатильности.

Литература

1. Black F., Scholes M. The pricing of options and corporate liabilities // *J. of Political Economy*. 1973. Vol. 81, № 3. P. 637–659.
2. Merton R. Theory of rational option pricing // *The Bell J. of Economics and Management Science*. 1973. Vol. 4, № 1. P. 141–183.
3. Johnson H., Shanno D. Option pricing when the variance is changing // *J. of Financial and Quantitative Analysis*. 1987. Vol. 22. P. 143–151.
4. Hull J., White A. The pricing of options on assets with stochastic volatilities // *J. of Finance*. 1987. Vol. 42, № 2. P. 281–300.
5. Scott L. Option pricing when the variance changes randomly: theory, estimation and an application // *J. of Financial and Quantitative Analysis*. 1987. Vol. 22. P. 419–438.
6. Stein E., Stein J. Stock price distributions with stochastic volatility: an analytic approach // *Reviews of Financial Studies*. 1991. Vol. 4, № 4. P. 727–752.
7. Heston S. A closed-form solution for options with stochastic volatility with applications to bond and currency options // *Reviews of Financial Studies*. 1993. Vol. 6, № 2. P. 327–343.
8. Avellaneda M., Levy A., Par'as A. Pricing and hedging derivative securities in markets with uncertain volatilities // *Applied Mathematical Finance*. 1995. Vol. 2, № 2. P. 73–88.
9. Meyer G. The Black Scholes Barenblatt equation for options with uncertain volatility and its application to static hedging // *Theoretical and Applied Finance*. 2006. Vol. 9. P. 673–703.

10. Beliaevsky G., Danilova N., Grober T. The uncertainty volatility models and tree approximation // *Applied Mathematical Sciences*. 2016. Vol. 10, № 19. P. 921–930.

11. Гирсанов И.В. О преобразовании одного класса случайных процессов с помощью абсолютно непрерывной замены меры // *Теория вероятностей и её применения*. 1960. Т. 5, № 3. С. 314–330.

12. Ширяев А.Н. Основы стохастической финансовой математики. Т. 1 : Факты, модели. М., 2004. 512 с.

References

1. Black F., Scholes M. The pricing of options and corporate liabilities. *J. of Political Economy*. 1973, vol. 81, no. 3, pp. 637-659.
2. Merton R. Theory of rational option pricing. *The Bell J. of Economics and Management Science*. 1973, vol. 4, no. 1, pp. 141-183.
3. Johnson H., Shanno D. Option pricing when the variance is changing. *J. of Financial and Quantitative Analysis*. 1987, vol. 22, pp. 143-151.
4. Hull J., White A. The pricing of options on assets with stochastic volatilities. *J. of Finance*. 1987, vol. 42, no. 2, pp. 281-300.
5. Scott L. Option pricing when the variance changes randomly: theory, estimation and an application. *J. of Financial and Quantitative Analysis*. 1987, vol. 22, pp. 419-438.
6. Stein E., Stein J. Stock price distributions with stochastic volatility: an analytic approach. *Reviews of Financial Studies*. 1991, vol. 4, no. 4, pp. 727-752.
7. Heston S. A closed-form solution for options with stochastic volatility with applications to bond and currency options. *Reviews of Financial Studies*. 1993, vol. 6, no. 2, pp. 327-343.
8. Avellaneda M., Levy A., Par'as A. Pricing and hedging derivative securities in markets with uncertain volatilities. *Applied Mathematical Finance*. 1995, vol. 2, no. 2, pp. 73-88.
9. Meyer G. The Black Scholes Barenblatt equation for options with uncertain volatility and its application to static hedging. *Theoretical and Applied Finance*. 2006, vol. 9, pp. 673-703.
10. Beliaevsky G., Danilova N., Grober T. The uncertainty volatility models and tree approximation. *Applied Mathematical Sciences*. 2016, vol. 10, no. 19, pp. 921-930.
11. Girsanov I.V. O preobrazovanii odnogo klassa sluchainykh protsessov s pomoshch'yu absolyutno nepreryvnoi zameny mery [On the transformation of a class of stochastic processes with the help of an absolutely continuous change of measure]. *Teoriya veroyatnostei i ee primeneniya*. 1960, vol. 5, no. 3, pp. 314-330.
12. Shiryayev A.N. *Osnovy stokhasticheskoi finansovoi matematiki. T. 1 : Fakty, modeli* [Fundamentals of stochastic financial mathematics. Vol. 1: Facts, models]. Moscow, 2004, 512 p.

УДК 519.83+519.86

DOI 10.18522/0321-3005-2016-4-21-25

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ПРИНУЖДЕНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО БАНКА С КОММЕРЧЕСКИМИ БАНКАМИ*

© 2016 г. В.А. Магдесян, А.Б. Усов

USE OF THE METHOD OF COERCION WHEN MODELING INTERACTION OF CENTRAL BANK WITH COMMERCIAL BANKS

V.A. Magdesyan, A.B. Usov

Магдесян Владимир Артурович – магистр, Институт математики, механики и компьютерных наук имени И.И. Воровича Южного федерального университета, ул. Мильчакова, 8а, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: vmagdesyan@yandex.ru

Vladimir A. Magdesyan – Master, Vorovich Institute of Mathematics, Mechanics and Computer Sciences, Southern Federal University, Milchakov St., 8a, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: vmagdesyan@yandex.ru

Усов Анатолий Борисович – доктор технических наук, профессор, кафедра прикладной математики и программирования, Институт математики, механики и компьютерных наук имени И.И. Воровича Южного федерального университета, ул. Мильчакова, 8а, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: usov@math.sfedu.ru

Anatoliy B. Usov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Applied Mathematics and Programming, Vorovich Institute of Mathematics, Mechanics and Computer Sciences, Southern Federal University, Milchakov St., 8a, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: usov@math.sfedu.ru

Рассматривается взаимодействие центрального банка и коммерческих банков в сфере кредитования населения. При моделировании используется теоретико-игровой и иерархический подходы. В качестве метода иерархического управления используется метод принуждения. Указаны алгоритмы построения равновесия Штакельберга при аналитическом исследовании и имитационном моделировании. Приведены результаты аналитического исследования методом множителей Лагранжа для специального вида входных функций и имитационного моделирования для входных функций общего вида. Дан анализ полученных результатов, сделан ряд выводов о поведении системы в целом.

Ключевые слова: иерархия, двухуровневая система, Штакельберг, равновесие.

Examines the interaction of Central Bank and commercial banks in sphere of crediting of the population. When modeling uses a game-theoretic and hierarchical approaches. As a method of hierarchical control is used, the method of forcing. Provided the algorithms for constructing the Stackelberg equilibrium in analytical study and simulation modeling. The results of analytical studies by the method of Lagrange multipliers for a special type of input functions and simulation for the input functions of general form. The analysis of the obtained results, a number of conclusions about the behavior of the whole system.

Keywords: hierarchy, two-level control system, Stackelberg, equilibrium.

В современном мире системы управления – это многоуровневые иерархические системы, включающие в свой состав несколько субъектов управления. Имеется субъект управления верхнего уровня (начальник) и один или несколько субъектов нижнего уровня (подчиненных). Отношения между ними являются иерархическими; цели различных субъектов различны и могут даже противоречить друг другу. Предполагается, что все субъекты стремятся к достижению своих эгоистических целей, которые чаще всего противоречат объективным целям развития всей системы в целом [1–4]. Для достижения этих объективных целей нужен субъект управления верхнего уровня. Проблема выполнения объективных целей развития системы актуальна для экономических, эколого-экономи-

ческих, социальных и политических систем различной структуры. Теория математического моделирования разного рода систем управления включает как дескриптивные, так и нормативные аспекты [5, 6].

В данной статье исследуется двухуровневая банковская система. В качестве субъектов в ней рассматриваются центральный банк (ЦБ, ведущий) и один или несколько коммерческих банков (КБ, ведомых). Проблема моделирования поведения субъектов банковских систем чрезвычайно актуальна в настоящее время. Имеется значительное количество моделей (в основном математически неформализованных или рассматриваемых в рамках финансовой математики без учета иерархии), в которых изучаются различные стороны

* Работа выполнена при финансовой поддержке ЮФУ, проект № 213-01-07-2014/07ПЧВГ.

взаимодействия субъектов разного вида банковских систем. Выделим близкие к данной работе [7–9]. В [7] проведен анализ банковской системы, включающей в качестве субъектов собственно банк и население. Взаимодействие между банками и населением моделируется в виде повторяющейся сигнальной игры, где банки посылают сигнал в виде обещанного процента по депозитам. Население, наблюдая эту ставку, принимает решение об инвестировании или отказывается от банковских вложений. В [8] рассматривается подход к оптимизации параметров франчайзингового договора на основе представления отношений франчайзера и франчайзи в виде иерархической игры. Эта работа является примером построения финансовых взаимоотношений между субъектами, где в качестве ведущего выступает франчайзер, а в качестве ведомого – франчайзи. Их отношения регулируются с помощью договора франшизы, в котором устанавливаются параметры и условия предоставления франшизы. В [9] рассмотрены критерии принятия финансовых решений в КБ. Здесь дан комплексный, системный подход к концептуальному управлению финансами КБ и к оценке инвестиционной привлекательности банковского учреждения на основе модели фундаментального анализа банка, которая адаптирована к стандартам отечественной учетной политики КБ.

Модели, предложенные в [7, 8], были исследованы, как и модель, рассмотренная в данной работе, с точки зрения теоретико-игрового подхода. В [9] проведено исследование модели фундаментального анализа КБ. В развитие моделей [7, 8] ниже с точки зрения теоретико-игрового и иерархического подходов изучается функционирование двухуровневой банковской системы, включающей ЦБ и один или несколько КБ.

Математическая постановка задачи

Рассматривается двухуровневая модель [3, 4] банковской системы, включающая ЦБ и несколько КБ. Взаимоотношения внутри системы устроены следующим образом: ЦБ воздействует на КБ. Его главной целью является поддержание всей банковской системы в некотором заданном состоянии. Добиться этого ЦБ может несколькими способами, поэтому, кроме того, он преследует свои частные цели и стремится к максимизации своего дохода. Подобная организация взаимоотношений обусловила иерархию между субъектами управления системы, в соответствии с которой ЦБ выступает в качестве субъекта управления верхнего уровня, КБ – нижнего. Данная система в случае

побуждения была проанализирована в [10]. Ниже исследован случай принуждения [4].

При принуждении ЦБ воздействует на множество допустимых управлений КБ. При этом у КБ не остается возможности выбора стратегии поведения, которая бы не обеспечивала поддержания системы в заданном состоянии. Воздействие при этом носит административно-законодательный характер. ЦБ запрещает КБ использовать стратегии, которые не удовлетворяют требованиям поддержания системы в заданном состоянии, с помощью издания различных законов и правил, жесткого требования им следовать. При этом из множества возможных стратегий принуждения ЦБ выбирает ту стратегию, которая отвечает его интересам (максимизации прибыли).

Предполагается, что ЦБ стремится к максимизации своего дохода. Его целевая функция имеет вид

$$J_0 = KVD(v, PSL) \cdot v - R(KVD(v, PSL), v) - M(KVD(v, PSL), v) \rightarrow \max_K, \quad (1)$$

где $v = W/100$; W – процент, под который ЦБ выдает деньги КБ; $PSL = \frac{T}{100}$, T – процент, под который КБ выдает деньги клиентам; $KVD(v, PSL)$ – размер выданных ЦБ кредитов; $R(KVD, v)$ – затраты ЦБ на рекламу; $M(KVD, v)$ – зарплата сотрудников ЦБ; K – максимальный процент, под который КБ может выдавать кредиты клиентам.

Целевая функция КБ

$$J_1 = KVD(v, PSL) \cdot (PSL - v) - L(KVD(v, PSL), PSL) - S(KVD(v, PSL), PSL) - KVD(v, PSL) \cdot v \rightarrow \max_{PSL}, \quad (2)$$

где $L(KVD, PSL)$ – затраты в КБ на аренду помещения; $S(KVD, PSL)$ – зарплата сотрудников КБ.

Функции $R(KVD, v)$, $M(KVD, v)$, $L(KVD, PSL)$, $S(KVD, PSL)$ являются выпуклыми возрастающими, $KVD(v, PSL)$ – убывающая функция своих аргументов.

В модели предполагается, что все деньги, взятые у ЦБ, КБ выдает населению в виде кредитов.

Ограничения на управления ЦБ и КБ берутся в виде

$$PSL_{\min} \leq PSL \leq K, \quad (3)$$

$$K_{\min} \leq K \leq K_{\max}, \quad (4)$$

где PSL_{\min} , K – минимально и максимально возможный процент выплат по кредитам; v_{\min} , v_{\max} – минимальный и максимальный процент, взимаемый

ЦБ; K_{\min}, K_{\max} – возможные значения параметра K . Ведущий в этом случае управляет величиной K .

Кроме того, потребуем, чтобы количество выданных кредитов лежало в заданном диапазоне, т.е.

$$kv_{\min} \leq KVD(v, PSL) \leq kv_{\max}, \quad (5)$$

где $kv_{\min}, kv_{\max} = const$.

Итак, исследуется двухуровневая модель взаимодействия банков, описываемая соотношениями (1)–(5).

Аналитическое исследование модели

Для модели (1)–(5) строится равновесие Штакельберга согласно следующему алгоритму:

1. Решается задача (2)–(4). Определяются оптимальные стратегии КБ в зависимости от стратегии ЦБ.

2. Найденные на первом шаге алгоритма величины $PSL^*(K)$ подставляются в (1), (5). Решается задача (1), (3)–(5). Решение обозначим через K^* .

3. Равновесие имеет вид $(K^*, PSL^*(K^*))$ и является равновесием по Штакельбергу для модели (1)–(5).

Проведем аналитическое исследование модели (1)–(5) методом множителей Лагранжа согласно этому алгоритму для следующих входных функций:

$$KVD(v, PSL) = \frac{C_1}{v^2}; \quad (6)$$

$$L(KVD, v, PSL) = B_2 \cdot KVD \cdot PSL^2 \cdot v;$$

$$S(KVD, v, PSL) = B_3 \cdot KVD \cdot PSL^2;$$

$$R(KVD, v, PSL) = C_2 \cdot KVD \cdot v^3 \cdot PSL;$$

$$M(KVD, v, PSL) = C_3 \cdot KVD \cdot v^3 \cdot PSL^2.$$

Здесь $C_1, C_2, C_3, B_2, B_3 = const$.

Подставим (6) в (1)–(5). Первой решается задача КБ (2), (3). Решение проведем методом множителей Лагранжа. Оптимальное управление ведомого определяется формулой

$$PSL^* = \begin{cases} PSL_{\min}, & \text{если } B_3 > \frac{1 - 2 \cdot PSL_{\min} \cdot B_2 \cdot v}{2 \cdot PSL_{\min}}; \\ PSL_1, & \text{если } B_3 < \frac{1 - 2 \cdot PSL_{\min} \cdot B_2 \cdot v}{2 \cdot PSL_{\min}}, K > \frac{1}{2 \cdot B_2 \cdot v + 2 \cdot B_3}; \\ K, & \text{если } K < \frac{1}{2 \cdot B_2 \cdot v + 2 \cdot B_3}. \end{cases}$$

Обозначим $K_1 = \frac{1}{2 \cdot B_2 \cdot v + 2 \cdot B_3}$.

Решим задачу ЦБ в случае $K_{\min} \leq K_1 \leq K_{\max}$. Тогда возможны три подслучая:

1. При $K_{\min} \leq K < K_1$ оптимальная стратегия ЦБ определяется формулой

$$K^* = \begin{cases} K_{\min}, & \text{если } C_2 < -2 \cdot C_3 \cdot K_{\min}, C_3 < \frac{C_2}{-2 \cdot K_{\min}}; \\ K_2, & \text{если } -2 \cdot C_3 \cdot K_{\max} < C_2 < -2 \cdot C_3 \cdot K_{\min}, \\ & \frac{C_2}{-2 \cdot K_{\min}} < C_3 < \frac{C_2}{-2 \cdot K_{\max}}; \\ K_{\max}, & \text{если } C_2 > -2 \cdot C_3 \cdot K_{\max}, C_3 > \frac{C_2}{-2 \cdot K_{\max}}. \end{cases}$$

Равновесием в этом случае является одна из пар стратегий $(K_{\min}, K^*), (K_1, K^*)$.

2. $K_1 \leq K < K_{\max}$.

В качестве K^* может быть любое значение из промежутка (K_1, K_{\max}) . Равновесием является пара (PSL_{\min}, K^*) .

В результате равновесием системы является одна из пар: $(K_{\min}, K^*), (K_1, K^*), (PSL_{\min}, K^*)$.

Имитация

В случае входных функций общего вида равновесие строится путем имитации в результате перебора областей допустимых управлений ЦБ и КБ с некоторым шагом [2–4].

Алгоритм имитационного моделирования для модели (1)–(5) при принуждении состоит в следующем:

1. Разобьем область допустимых управлений ЦБ на N частей точками $u_i = i \cdot h_K$, где

$$h_K = \frac{K_{\max} - K_{\min}}{N}, \quad i = \overline{0, N}.$$

2. Выбираем текущее значение u_i .

3. Выбираем текущее управление КБ

$$v_j = j \cdot h_{PSL}, \quad \text{где } h_{PSL} = \frac{K - PSL_{\min}}{N}.$$

4. Находим максимальное значение (2), перебирая v_j , где $j = \overline{0, N}$, при фиксированном u_i .

5. В (1) подставляем найденное на предыдущем шаге значение $v^* = v^*(u_i)$.

6. Перебирая $i = \overline{0, N}$, находим пару $(u_i^*, v^*(u_i^*))$, доставляющую максимум (1) при выполненном условии (5).

7. Равновесие Штакельберга при принуждении имеет вид $\{u_i^*, v^*(u_i^*)\}_{i=1}^N$.

Результаты счета

Численные расчеты при имитации проводились для входных функций вида

$$KVD(v, PSL) = \frac{C_1 \cdot \ln\left(\frac{PSL}{v^3}\right) \cdot v^2}{PSL^4}; \quad (7)$$

$$L(KVD, v, PSL) = \frac{B_2 \cdot KVD \cdot PSL^4 \cdot \sqrt{PSL \cdot v}}{\ln\left(\frac{PSL}{v^3}\right) \cdot \ln\left(\frac{PSL}{v^2}\right)};$$

$$S(KVD, v, PSL) = \frac{B_3 \cdot KVD \cdot PSL^6}{v \cdot \ln\left(\frac{PSL}{v^3}\right) \cdot \ln\left(\frac{v}{PSL^2}\right)};$$

$$R(KVD, v, PSL) = \frac{C_2 \cdot KVD \cdot \sqrt{PSL \cdot v} \cdot PSL^4}{\ln\left(\frac{PSL}{v^3}\right)};$$

$$M(KVD, v, PSL) = \frac{C_3 \cdot KVD \cdot PSL^7}{v^2 \cdot \ln\left(\frac{PSL}{v^3}\right) \cdot \ln\left(\frac{PSL}{v^2}\right)}.$$

Для характеристики степени согласованности интересов различных субъектов управления в иерархических системах вводится понятие индекса системной согласованности KF [4], который вычисляется по формуле

$$KF^{IMP-ST} = \frac{J^{IMP-ST}}{J_{max}^{IMP-ST}}, \quad (8)$$

$$KF^{COMP-ST} = \frac{J^{COMP-ST}}{J_{max}^{COMP-ST}}. \quad (9)$$

Пример 1. Для входных функций (7) и $PSL_{min} = 0,11$, $K_{min} = 0,05$, $K_{max} = 0,12$, $v = 0,02$, $B_2 = 50$ р., $B_3 = 10$ р., $C_1 = 1000$ р., $C_2 = 110$ р., $C_3 = 100$ р. получим, что $K^* = 0,05$, $PSL^* = 0,0536$, $J_0 = 7978,76$ р., $J_1 = 5806$ р., $KF = 0,791$.

Пример 2. Для входных данных примера 1 и $C_1 = 3000$ р. получим, что оптимальные стратегии субъектов не изменятся и $J_0 = 23936,28$ р.; $J_1 = 17417$ р., $KF = 0,7914$.

Таким образом, при увеличении величины C_1 , связывающей количество взятых у ЦБ кредитов и ставку по кредитам, доход обоих субъектов растет.

Пример 3. Для входных данных примера 1 и $C_2 = 200$ р. получим $J_0 = 7568,49$ р.; $J_1 = 5806$ р., $KF = 0,785$.

Пример 4. Для входных данных примера 1 и $C_3 = 300$ р. получим $J_0 = 7861,44$ р.; $J_1 = 5806$ р., $KF = 0,788$.

Таким образом, при увеличении величин C_2 и C_3 доход ЦБ уменьшается, что логично, так как увеличение затрат на рекламу или на зарплату сотрудников при принуждении не окупает себя.

Пример 5. Для входных данных примера 1 и $B_2 = 100$ р. получим $J_0 = 7978,76$ р.; $J_1 = 5805,86$ р., $KF = 0,7913$.

Пример 6. Для входных данных примера 1 и $B_3 = 100$ р. получим $J_0 = 7978,76$ р.; $J_1 = 5803,44$ р., $KF = 0,7914$.

При увеличении величин B_2 и B_3 доход КБ уменьшается.

Пример 7. Для входных данных примера 1 и $B_3 = 40$ р.; $PSL_{min} = 0,12$ в таблице указана зависимость доходов ЦБ и КБ от процента, под который КБ выдает деньги клиентам.

Результаты счета для входных данных примера 7
 / Account results for the input data of Example 7

K_{min}	K_{max}	PSL^*	J_0 , р.	J_1 , р.	KF
0,05	0,12	0,054137	7660,64	5805	0,77
0,05	0,15	0,053	7936,4	5805,46	0,79
0,05	0,18	0,053948	7770,83	5805,75	0,78
0,05	0,21	0,053652	7947,27	5805,39	0,8

Таким образом, повышение максимального значения, которое может достигать процент, под который КБ выдает деньги клиентам, уменьшает его доход (количество клиентов, обратившихся в банк за кредитами, падает). ЦБ в этом случае увеличивает свой доход.

Заключение

В работе на основе теоретико-игрового и иерархического подходов построена двухуровневая математическая модель банковской системы. Использован метод принуждения в качестве метода иерархического управления. Проведен ряд численных экспериментов исследования равновесия Штакельберга. Выявлены некоторые закономерности функционирования системы, которые состоят в следующем:

1. Построение равновесия Штакельберга при принуждении возможно, ЦБ может добиться поддержания системы в заданном состоянии.

2. Доход ЦБ больше при принуждении, чем при побуждении. Доход КБ больше при побуждении, чем при принуждении.

4. При увеличении затрат ЦБ на зарплату сотрудников или затрат КБ на аренду помещения при принуждении субъекты терпят меньшие убытки, чем при побуждении. Повышение затрат на рекламу ЦБ и увеличение зарплат сотрудников ЦБ при принуждении уменьшает доход ЦБ, но увеличивает индекс системной согласованности.

При повышении затрат КБ на аренду помещения и зарплату сотрудников при принуждении индекс системной согласованности растет. Повышение величины максимально допустимого процента, под который КБ выдает деньги клиентам, уменьшает его доход (количество клиентов, обратившихся в банк, уменьшается). ЦБ в этом случае, напротив, увеличивает свой доход.

5. При принуждении индекс системной согласованности выше, чем при побуждении.

6. При принуждении КБ часто терпят убытки, и им невыгодно сотрудничать с ЦБ.

Литература

1. Угольницкий Г.А. Иерархическое управление устойчивым развитием. М., 2010. 336 с.
2. Угольницкий Г.А., Усов А.Б. Динамические иерархические игры двух лиц в программных стратегиях и их приложения // Математическая теория игр и ее приложения. 2013. Т. 5, вып. 2. С. 82–104.
3. Угольницкий Г.А., Усов А.Б. Исследование дифференциальных моделей иерархических систем управления путем их дискретизации // Автоматика и телемеханика. 2013. № 2. С. 109–122.
4. Угольницкий Г.А., Усов А.Б. Равновесия в моделях иерархически организованных динамических систем с учетом требований устойчивого развития // Автоматика и телемеханика. 2014. № 6. С. 86–102.
5. Кононенко А.Ф. О многошаговых конфликтах с обменом информацией // Журн. вычисл. математики и мат. физики. 1977. № 4. С. 922–931.
6. Горелов М.А., Кононенко А.Ф. Динамические модели конфликтов. Иерархические игры // Автоматика и телемеханика. 2015. № 2. С. 89–106.
7. Белянин А.В. Эволюция рынка частных сбережений: теоретико-игровой анализ. М., 2005. 44 с.
8. Соломаха А.Г., Соломаха Г.М. Теоретико-игровой подход к оптимизации параметров франчайзингового договора. // Вестн. ТвГУ. Экономика и управление. 2014. № 4, т. 1. С. 184–190.
9. Масленченков Ю.С. Финансовый менеджмент в коммерческом банке. Фундаментальный анализ. М., 1996. 194 с.
10. Магдесян В.А., Усов А.Б. Моделирование социального партнерства в банковской системе // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2016. № 1. С. 21–25.

References

1. Ugol'nitskii G.A. *Ierarkhicheskoe upravlenie ustoichivym razvitiem* [Hierarchical management of sustainable development]. Moscow, 2010, 336 p.
2. Ugol'nitskii G.A., Usov A.B. *Dinamicheskie ierarkhicheskie igry dvukh lits v programmnykh strategiyakh i ikh prilozheniya* [Dynamic hierarchical two-person game in program strategies and their applications]. *Matematicheskaya teoriya igr i ee prilozheniya*. 2013, vol. 5, no. 2, pp. 82-104.
3. Ugol'nitskii G.A., Usov A.B. *Issledovanie differentsial'nykh modelei ierarkhicheskikh sistem upravleniya putem ikh diskretizatsii* [Investigation of differential patterns of hierarchical control systems by their sampling]. *Avtomatika i telemekhanika*. 2013, no. 2, pp. 109-122.
4. Ugol'nitskii G.A., Usov A.B. *Ravnesiya v modelyakh ierarkhicheskii organizovannykh dinamicheskikh sistem s uchedom trebovaniy ustoichivogo razvitiya* [Equilibrium models of hierarchically organized dynamic systems taking into account the requirements of sustainable development]. *Avtomatika i telemekhanika*. 2014, no. 6, pp. 86-102.
5. Kononenko A.F. *O mnogoshagovykh konfliktakh s obmenom informatsiei* [About multistep conflicts with the exchange of information]. *Zhurn. vychisl. matematiki i mat. fiziki*. 1977, no. 4, pp. 922-931.
6. Gorelov M.A., Kononenko A.F. *Dinamicheskie modeli konfliktov. Ierarkhicheskie igry* [Dynamic model of conflict. Hierarchical games]. *Avtomatika i telemekhanika*. 2015, no. 2, pp. 89-106.
7. Belyanin A.V. *Evolutsiya rynka chastnykh sbezhenii: teoretiko-igrovoi analiz* [The evolution of the market of private savings: game-theoretic analysis]. Moscow, 2005, 44 p.
8. Solomakha A.G., Solomakha G.M. *Teoretiko-igrovoi podkhod k optimizatsii parametrov franchaiznogo dogovora* [Game-theoretic approach to the optimization of the franchise contract parameters]. *Vestn. TvGU. Ekonomika i upravlenie*. 2014, no. 4, vol. 1, pp. 184-190.
9. Maslennchenkov Yu.S. *Finansovyi menedzhment v kommercheskom banke. Fundamental'nyi analiz* [Financial management in commercial bank. Fundamental analysis]. Moscow, 1996, 194 p.
10. Magdesyan V.A., Usov A.B. *Modelirovanie sotsial'nogo partnerstva v bankovskoi sisteme* [Modelling of social partnership in the banking system]. *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestv. nauki*. 2016, no. 1, pp. 21-25.

УДК 519.83+519.86

DOI 10.18522/0321-3005-2016-4-26-30

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЕРАРХИЧЕСКИХ РЕГЛАМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ РЫБОЛОВСТВА)*

© 2016 г. А.Н. Оноприенко, Г.А. Угольницкий, А.Б. Усов

SIMULATION MODELING OF THE HIERARCHICAL CONTROL RULES (IN FISHERIES)

A.N. Onoprienko, G.A. Ougolnitsky, A.B. Usov

Оноприенко Алексей Николаевич – магистр, кафедра прикладной математики и программирования, Институт математики, механики и компьютерных наук имени И.И. Воровича Южного федерального университета, ул. Мильчакова, 8а, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: onoprienkoalexey@gmail.com

Alexey N. Onoprienko – Master, Department of Applied Mathematics and Programming, Vorovich Institute of Mathematics, Mechanics and Computer Sciences, Southern Federal University, Milchakov St., 8a, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: onoprienkoalexey@gmail.com

Угольницкий Геннадий Анатольевич – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики и программирования, Институт математики, механики и компьютерных наук имени И.И. Воровича Южного федерального университета, ул. Мильчакова, 8а, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: ougoln@mail.ru

Guennady A. Ougolnitsky – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Head of the Department of Applied Mathematics and Programming, Vorovich Institute of Mathematics, Mechanics and Computer Sciences, Southern Federal University, Milchakov St., 8a, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: ougoln@mail.ru

Усов Анатолий Борисович – доктор технических наук, профессор, кафедра прикладной математики и программирования, Институт математики, механики и компьютерных наук имени И.И. Воровича Южного федерального университета, ул. Мильчакова, 8а, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: usov@math.sfedu.ru

Anatoliy B. Usov – Doctor of Technical Science, Professor, Department of Applied Mathematics and Programming, Vorovich Institute of Mathematics, Mechanics and Computer Sciences, Southern Federal University, Milchakov St., 8a, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: usov@math.sfedu.ru

Исследуются динамические модели согласования общих и частных интересов (СОЧИ-модели) на примере рыболовства. Описаны различные информационные регламенты иерархических динамических игр на примере СОЧИ-модели. Указаны алгоритмы построения равновесия Штакельберга. Основное внимание уделено имитационному моделированию различных информационных регламентов с использованием эвристических алгоритмов. Приведены результаты счета по выбранным сценариям. Обоснован выбор сценариев для имитации. Проведены численные эксперименты. Выполнен сравнительный анализ результатов имитации для тестовых данных при использовании разных информационных регламентов.

Ключевые слова: дифференциальные игры, иерархическое управление, имитационное моделирование, принуждение, побуждение, равновесие Штакельберга.

Dynamic models of concordance of private and public interests (CPPI-models) in fisheries are investigated. Different information structures of hierarchical differential games on the example of a CPPI-model are described. Algorithms of building the Stackelberg equilibrium are proposed. The principal attention is given to the simulation modeling of different information rules based on heuristic algorithms. Numerical calculations are made, and the choice of simulation scenarios is explained. A comparative analysis of the numerical results for different information structures with test data is conducted.

Keywords: differential games, hierarchical control, simulation modeling, compulsion, impulsion, Stackelberg equilibrium.

Статья посвящена исследованию динамических СОЧИ-моделей (моделей согласования общих и частных интересов) с использованием метода имитационного моделирования. Понятие СОЧИ-моделей восходит к двум источникам: статической модели Гермейера – Вателя [1] и динамическим моделям экономики общественных благ [2].

Идея СОЧИ-моделей заключается в разделении ресурсов активных агентов на две части: одна преследует частный интерес, другая ассигну-

ется на общественные нужды. Другими словами, каждый игрок, имея некоторый ресурс, самостоятельно решает, какую его часть потратить только на себя, а какую – на общественное благо (борьбу с общественным злом) совместно с другими игроками. Выигрыш агента складывается из дохода от частной деятельности и доли от общественного дохода (убытка). Для описания общественного дохода в модель вводится соответствующая функция.

* Работа выполнена при финансовой поддержке ЮФУ, проект № 213-01-07-2014/07ПЧВГ.

Каждый агент в модели стремится максимизировать собственный выигрыш, складывающийся из дохода от частной деятельности и доли от общественного дохода, причем это далеко не всегда ведет к максимизации функции общественного благосостояния. Здесь возникает важная проблема принятия решений в системах с несколькими агентами, известная как неэффективность равновесий [3].

Для исследования в настоящей работе выбран метод имитационного моделирования [4] как наиболее универсальный, поскольку большинство иерархических дифференциально-игровых моделей решить аналитическим путем не представляется возможным. Недостаток использования имитации как обобщенного численного метода заключается в отсутствии гарантии нахождения оптимального решения.

Цель работы состоит в реализации и исследовании различных информационных регламентов иерархического управления с использованием имитационного моделирования. Необходимо описать и реализовать следующие регламенты иерархического управления:

1. Программные стратегии, побуждение.
2. Программные стратегии, принуждение.
3. Программные и позиционные стратегии, побуждение.
4. Программные и позиционные стратегии, принуждение.

Каждый из этих четырех регламентов должен быть реализован для игры Штакельберга [5]. Концепция управления устойчивым развитием с использованием методов принуждения и побуждения подробно изложена в [6].

Математическая постановка задачи

В качестве конкретной модели, на которой проводятся исследования, выступает динамическая СОЧИ-модель управления рыболовством с учетом требований устойчивого развития [7].

Игроки максимизируют целевые функционалы

$$J_i = \int_0^T e^{-\rho t} \{ a v_i(t) P(t) - s_i(t) M [P(t) - P^*]^2 \} dt - \quad (1)$$

$$- e^{-\rho T} s_i(T) M [P(T) - P^*]^2$$

при ограничениях на управления

$$q_i(t) \leq u_i(t) \leq r_i, \quad i = 1, \dots, N \quad (2)$$

и уравнение динамики биомассы рыбной популяции

$$\dot{P} = f(P(t), u(t)), \quad P(0) = P_0. \quad (3)$$

Каждый игрок распределяет свой ресурс между общественными и частными интересами, поэтому

его выигрыш складывается из двух составляющих: дохода от частной деятельности и доли в совместно создаваемом общественном доходе (или доли ущерба от общественного зла, с которым совместно борются игроки). В данном случае игроки – это рыболовецкие предприятия $i = 1, \dots, N$, максимизирующие доход от рыболовства с учетом возможного штрафа за нарушение условия устойчивого развития популяции, которое имеет вид $\forall t P(t) = P^*$ или, в более слабой форме, $\forall t [P(t) - P^*]^2 \leq \varepsilon$, где $P(t)$ – текущее значение биомассы рыбной популяции; P^* – его идеальное значение, полностью удовлетворяющее требованиям устойчивого развития. При нарушении условия устойчивого развития на игроков налагается штраф с коэффициентом M ; $s_i(t)$ – доля штрафа для игрока i в момент t , что определяет второе слагаемое в подынтегральной функции. Первое слагаемое – это доход игрока i в момент t от рыболовства, где a – цена единицы биомассы рыбы.

В динамических СОЧИ-моделях управление игрока $u_i(t)$ – часть ресурса r_i , ассигнуемая на общественные нужды (тогда $r_i - u_i(t)$ – часть ресурса, выделяемая на частную деятельность). В данной модели $r_i - u_i(t)$ – это инвестиции в наращивание промысловых усилий, тогда доля вылова рыбы i -м предприятием вычисляется как некоторая функция промыслового усилия $v_i(t) = h_i(r_i - u_i(t))$. Без существенного ограничения общности положим $v_i(t) = k_i(r_i - u_i(t))^{p_i}$, $0 < p_i < 1$. Величина $u_i(t)$ отражает ассигнования на повышение экологичности промысла и выборозведение.

Модель (1)–(3) представляет собой дифференциальную игру N лиц, в которой условия устойчивого развития учтены с помощью штрафов в целевых функционалах. Для удобства программной реализации упростим модель. Сначала приведем ее к линейному виду

$$J_i = \int_0^T e^{-\rho t} [a k_i (r_i - u_i)^{p_i} P(t) - s_i M (P^* - P(t))] dt - \quad (4)$$

$$- s_i(T) M (P^* - P(T)) \rightarrow \max,$$

$$\dot{P} = [r + k (\sum_i u_i(t))^{p_i} - \sum_i k_i (r_i - u_i(t))^{p_i}] P(t), \quad P(0) = P_0$$

с теми же ограничениями на управление $q_i(t) \leq u_i(t) \leq r_i$, $i = 1, \dots, N$, где r – коэффициент естественного прироста рыбной популяции; P^* – экспертно оцениваемое оптимальное значение $P(t)$, $P(t) \leq P^*$.

На втором этапе вместо функции выигрыша ведомого (4) используется ее дискретизированная

$$\text{версия } J_i = \sum_0^T e^{-\rho} [ak_i(r_i - u_i(t))^{p_i} P(t) - s_i(t),$$

$$M(P^* - P(t))] \rightarrow \max .$$

Контрольный орган (ведущий игрок) для максимизации своего целевого функционала может воздействовать на рыбооловецкие предприятия (ведомых игроков) посредством экономического (побуждение) или административного (принуждение) управления.

При побуждении ведущий игрок использует для управления переменные $s_i(t)$ при условии $s_i(t) \geq 0$, $s_1(t) + \dots + s_n(t) = 1$, $t \geq 0$.

При принуждении ведущий выбирает переменные $q_i(t)$ из условия $0 \leq q_i(t) \leq r_i$, $t \geq 0$, $i = 1, \dots, n$, устанавливая тем самым нижнюю границу выбора стратегии для каждого из игроков.

Считается, что интересы органа управления верхнего уровня описываются стремлением к максимизации утилитаристской функции общественного благосостояния, т.е. $J = \sum_{i=1}^n J_i \rightarrow \max$.

Таким образом, модель представляет собой иерархическую дифференциальную игру органа управления верхнего уровня (ведущего) с несколькими активными агентами нижнего уровня (ведомыми). Рассмотрим два принципиально различных регламента взаимодействия субъектов:

1. И ведущий, и ведомые игроки используют программные стратегии. Ведущий перед началом игры знакомит каждого ведомого с частью своего управления, относящейся к этому конкретному игроку. В зависимости от управления ведущего ведомые ищут оптимальную стратегию, максимизируя свой целевой функционал. Ведомые действуют абсолютно независимо друг от друга. Обратная связь по состоянию отсутствует.

2. Ведущий использует программные стратегии, ведомые – позиционные. Ведущий выбирает свою стратегию в начале игры. Ведомые – последовательно в каждый период имитации, зная управление ведущего на текущий период и текущее состояние системы.

Для каждого из этих регламентов рассмотрены случаи побуждения и принуждения.

Программные стратегии

Предполагается, что и ведущий, и все ведомые при выборе оптимальной стратегии используют программные стратегии. Тогда порядок игры выглядит следующим образом:

1. Ведущий в начале имитации выбирает для каждого из N ведомых управление на каждый из T периодов имитации.

2. Каждый из ведомых, узнав управление ведущего на каждый из T периодов имитации, ищет собственную оптимальную стратегию в ответ на действия ведущего в виде набора ресурсов, ассигнуемых на общественные нужды, u_i ($0 \leq u_i \leq r_i$).

3. Ведущий получает от каждого из N ведомых его стратегию в ответ на переданное ведомому управление и на ее основании рассчитывает собственный выигрыш.

Перечисленные действия выполняются циклически в процессе перебора ведущим возможных стратегий. Цель – найти ту, при которой выигрыш ведущего будет максимален.

Необходимо отметить, что выигрыш ведомого в конце каждого из периодов имитации зависит от состояния системы в начале этого периода, которое (за исключением ее известного начального состояния) зависит от состояния системы в начале предыдущего этапа и совокупности действий всех ведомых на этом этапе.

В случае программных стратегий, если ведомые действуют независимо, они не могут знать состояние системы на каждом из этапов, а имеют данные лишь на начало имитации. Поскольку отталкиваться при выборе оптимальной стратегии ведомые от чего-то должны, остается единственный вариант – использовать некоторую эвристику. Ведомые могут лишь «предположить» состояние системы.

Таким образом, если ведущий хочет знать свой выигрыш при выборе определенного управления, он, зная набор стратегий всех ведомых и начальное состояние системы, должен определить стратегии ведомых и на их основании получить собственный выигрыш.

Ниже исследованы случаи побуждения и принуждения. При побуждении ведущий «побуждает» ведомых использовать выгодные для него стратегии, влияя на их целевые функции. Управление ведущего служат штрафы. При принуждении ведущий непосредственно влияет на множество стратегий ведомых. Он ограничивает управления ведомых снизу. Считается, что штрафы в этом случае фиксированы и заданы.

Позиционные стратегии

Ведущий по-прежнему использует программные стратегии. Ведомые, не имея достаточно информации, вынуждены использовать стратегии позиционные. Иными словами, ведомые перед началом каждого нового периода имитации оценивают текущее состояние системы и на основании этой ин-

формации выбирают стратегии. Порядок игры выглядит следующим образом:

1. Ведущий в начале имитации выбирает для каждого из N ведомых управление на каждый из T периодов имитации.

2. Каждый из N ведомых, оценив состояние системы P_t в текущий момент времени t , имея доступный ресурс r_t , выбирает стратегию, приносящую ему максимальный выигрыш в этот период имитации.

3. Если $t < T$, то повторяем пункт 2.

4. Ведущий, получив суммарные выигрыши ведомых за всю имитацию, рассчитывает собственный выигрыш.

Перечисленные действия выполняются циклически в процессе перебора ведущим возможных стратегий. Цель – найти ту, при которой выигрыш ведущего будет максимален.

Тестовые примеры

В ходе исследования был проведен ряд имитаций, позволивших провести разносторонний анализ как конкретной модели, так и самих методов исследования, предложенных в работе. Исследован случай четырех ведомых. Опишем подробно сценарий 1, остальные сценарии устроены аналогично.

Сценарий 1. Начальное количество рыбы равно норме, все игроки в равных условиях и имеют равномерное распределение ресурсов на всю имитацию (таблица), т.е. $P_0 = P^* = 100$; $r = 2$; $k = 1$; $p = 2$; $r_i = 100$; $k_i = 1$; $p_i = 1$; $i = 1,2,3,4$.

Опишем полученные для сценария 1 результаты. Стратегии ведущего изображены в виде матриц, где столбцы – периоды имитации, строки – ведомые игроки (таблица). Здесь ПРП – программные стратегии, побуждение; ПРПР – программные стратегии, принуждение; ПП – позиционные стратегии, побуждение; ППР – позиционные стратегии, принуждение; ВВ – выигрыш ведущего (1E+16).

Сценарий 2. Количество рыбы намного больше уровня нормы. Один из игроков имеет существенное превосходство в ресурсе; распределение ресурсов равномерное, т.е. $P_0 = 200$; $P^* = 100$; $r = 2$; $p = 2$; $k = 1$; $r_i = 100$; $k_i = 1$; $p_i = 1$; $i = 1,2,3,4$; $r_1 = 400$.

В этом случае оптимальные стратегии ведущего получаются такими же, как в предыдущем случае, однако его выигрыш становится на два порядка больше (в районе $6,4E+18$). Из этого можно сделать вывод, что увеличение количества ресурсов игроков при сохранении равномерности их распределения не вынуждает ведущего менять свою стратегию.

На выигрыш ведущего положительно повлияли, во-первых, увеличение начального количества рыбы (штрафы стали появляться позже – они начисляются лишь при отрицательном отклонении биомассы рыбы от нормы); во-вторых, увеличение доступных ресурсов одного из игроков.

Результаты счета для сценария 1 / Account results for scenario 1

Регламент	Оптимальная стратегия				ВВ
ПРП	0,33	0,33	0,33	0,33	8,5
	0,33	0	0	0,33	
	0,33	0,33	0,33	0,33	
	0	0,33	0,33	0	
ПРПР	0,33	0,33	0,33	0,33	7,5
	0,33	0,33	0,33	0,33	
	0,33	0,33	0,33	0,33	
	0,33	0,33	0,33	0,33	
ПП	0,33	0,33	0,33	0,33	8,2
	0,33	0,33	0,33	0,33	
	0,33	0,33	0	0,33	
	0	0	0,33	0	
ППР	0,33	0,33	0,33	0,33	7,2
	1	1	1	1	
	1	1	1	1	
	1	1	1	1	

Сценарий 3. Количество рыбы значительно меньше нормы. Суммарное количество ресурса у всех игроков одинаковое, однако каждый из игроков имеет большее количество ресурса. Кроме того, один из игроков работает эффективнее других, т.е.

$$P_0 = 50; P^* = 100; r = 2; k = 1; p = 2;$$

$$r_1 = 200; 50; 50; 50; k_i = 1; p_i = 1; i = 1,2,3,4; k_2 = 2;$$

$$r_2 = 50; 200; 50; 50; r_3 = 50; 50; 200; 50;$$

$$r_4 = 50; 50; 50; 200.$$

В этом случае появился игрок, работающий эффективнее других, т.е. его затраты на частную деятельность вносят более значимый вклад в функцию общественного благосостояния, нежели другие игроки. В случае использования стратегий побуждения штрафы к такому игроку не применяются. Происходит это, судя по всему, потому, что прибавка к значению функции общественного благосостояния, приносимая им за счет дохода от частной деятельности, компенсирует ущерб от излишнего вылова им рыбы, который приходится оплачивать другим игрокам. По отношению к другим игрокам просматривается правило: большая часть штрафа применяется к игроку, имеющему большее количество доступного ресурса на данном этапе. Тем самым игрок вынужден расходовать избыточное количество ресурса на общественное благо. Точно так же при использовании стратегий принуждения игроку, работающему более эффективно,

позволяется большая свобода действия. Происходит это благодаря тому, что доход его от частной деятельности приносит больший вклад, чем у остальных игроков.

Заключение

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Для каждого из ведомых игроков оптимальная стратегия на отдельный период имитации зависит от следующих факторов: эффективности извлечения дохода от частной деятельности, скорости восстановления популяции и коэффициента штрафа M . Увеличение эффективности извлечения дохода от частной деятельности и скорости восстановления популяции ведет к смещению равновесия в сторону расходов на частную деятельность, увеличение коэффициента штрафа M – в сторону общественного блага.

2. Изменение уровня биомассы рыбы при условии сохранения остальных показателей неизменными не вносит в систему качественных изменений и влияет лишь количественно на выигрыши игроков. Оптимальная стратегия ведущего не меняется.

3. Несмотря на различия в реализации, принципах работы и разной точности, результаты работы моделей, построенных на основе всех рассмотренных регламентов, оказались похожи друг на друга. Это говорит о том, что логика их построения и работы верна и полученные результаты можно использовать для дальнейшего анализа.

Литература

1. Гермейер Ю.Б., Ватель И.А. Игры с иерархическим вектором интересов // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. 1974. № 3. С. 54 – 69.
2. Long N.V. A Survey of Dynamic Games in Economics. Munich, 2010. 292 p.

3. Algorithmic Game Theory / ed. by N. Nisan, T. Roughgarden, E. Tardos, V. Vazirani. Cambridge, 2007. 737 p.

4. Кельтон Д.В., Лоу А.М. Имитационное моделирование. СПб., 2004. 847 с.

5. Basar T., Olsder G. Dynamic Noncooperative Game Theory. Philadelphia, 1999. 519 p.

6. Угольницкий Г.А. Управление устойчивым развитием активных систем. Ростов н/Д., 2016. 940 с.

7. Никитина А.В., Пучкин М.В., Семенов И.С., Сухинов А.И., Угольницкий Г.А., Усов А.Б., Чистяков А.Е. Дифференциально-игровая модель предотвращения замороз в мелководных водоемах // Управление большими системами. 2015. № 55. С. 343–361.

References

1. Germeier Yu.B., Vatel' I.A. Igrы s ierarkhicheskim vektorom interesov [Games with a hierarchical vector of interests]. Izv. AN SSSR. Tekhn. kibernetika. 1974, no. 3, pp. 54-69.

2. Long N.V. A Survey of Dynamic Games in Economics. Munich, 2010, 292 p.

3. Algorithmic Game Theory. Ed. by N. Nisan, T. Roughgarden, E. Tardos, V. Vazirani. Cambridge, 2007, 737 p.

4. Kel'ton D.V., Lou A.M. Imitatsionnoe modelirovanie [Simulation]. Saint Petersburg, 2004, 847 p.

5. Basar T., Olsder G. Dynamic Noncooperative Game Theory. Philadelphia, 1999, 519 p.

6. Ugol'nitskii G.A. Upravlenie ustoychivym razvitiem aktivnykh sistem [Management of a sustainable development of active systems]. Rostov-on-Don, 2016, 940 p.

7. Nikitina A.V., Puchkin M.V., Semenov I.S., Sukhinov A.I., Ugol'nitskii G.A., Usov A.B., Chistyakov A.E. [Differential game model to prevent deaths in the shallow waters]. Upravlenie bol'shimi sistemami [Large systems management]. Proceedings. 2015, no. 55, pp. 343-361.

УДК 517.956.223+ 539.3

DOI 10.18522/0321-3005-2016-4-31-35

ОБ ОДНОЙ СПЕЦИАЛЬНОЙ ЗАДАЧЕ РИМАНА – ГИЛЬБЕРТА И ЕЁ ПРИЛОЖЕНИИ

© 2016 г. Е.В. Тюриков

ABOUT ONE SPECIAL RIEMANN-HILBERT PROBLEM AND ITS APPLICATION

E. V. Tyurikov

Тюриков Евгений Владимирович – доктор физико-математических наук, доцент, кафедра геометрии, Институт математики, механики и компьютерных наук им. И.И. Воровича Южного федерального университета, ул. Мильчакова, 8а, Ростов н/Д, 344090, e-mail: etyurikov@hotmail.com

Evgeniy V. Tyurikov – Doctor of Physics and Mathematics, Associate Professor, Geometry Department, Vorovich Institute of Mathematics, Mechanics and Computer Science, Southern Federal University, Milchakov St., 8a, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: etyurikov@hotmail.com

Получен ряд результатов, относящихся к мембранной теории выпуклых оболочек с кусочно-гладкой границей её срединной поверхности. Развитие этой теории с помощью аппарата обобщенных аналитических функций требует расширенной постановки основной граничной задачи. Такая постановка даётся для оболочки с односвязной срединной поверхностью с использованием специального граничного условия Римана – Гильберта, которое позволяет дать прозрачную геометрическую интерпретацию состояний напряжённого равновесия при условии концентрации напряжений в угловых точках, а также «сравнивать» различные состояния равновесия. Такой подход позволяет сформулировать критерий квази-корректности поставленной задачи, а также выделить класс оболочек, для которых задача квази-корректна.

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

A series of results related to the membrane theory of convex shells with piecewise smooth boundary of its middle surface are obtained. Its further development leads to the necessity of such formulation of a boundary problem, which would take into account the specificity of the stress equilibrium provided the concentration of stresses at corner points. Such a formulation is given for the shell with middle surface connected with the use of special boundary conditions of the Riemann-Hilbert problem, which allows to give a transparent geometric interpretation of the stress state of equilibrium provided the concentration of stresses at corner points, and also "to compare" the different states of equilibrium. This approach allows to formulate a criterion for the quasicorrectness of the task. The class of shells for which the task is quasicorrect has been allocated.

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

Один из возможных путей развития мембранной теории выпуклых оболочек, разработанной И.Н. Векуа [1, 2], впервые был обозначен А.Л. Гольденвейзером в [3]. Им же в монографии [4] поставлена задача построения мембранной теории выпуклых оболочек с кусочно-гладким краем (т.е. с кусочно-гладкой границей её срединной поверхности). Как это следует из [2], переход к оболочкам указанного вида требует уточнённой постановки основной граничной задачи [1], которая приводится ниже.

Пусть V – тонкая упругая оболочка, срединная поверхность которой есть односвязная поверхность S с кусочно-гладким краем $L = \bigcup_{j=1}^n L_j$, состоящим из конечного числа дуг L_j заданного класса регулярности; M_i ($i = 1, \dots, n$) – угловые

точки края; $\sigma(c)$ и $\mathbf{r}(c)$ – заданные на L кусочно-непрерывные скалярная функция точки с контура L и поле принадлежащего поверхности S вектора, допускающие разрывы первого рода в угловых точках. Рассматривается задача T о реализации состояния безмоментного напряжённого равновесия (состояние ST) оболочки V при условии, что в каждой точке гладкости границы проекция $\Pi_{\mathbf{r}} \mathbf{U}(c)$ вектора усилий $\mathbf{U}(c)$ на направление вектора \mathbf{r} задана равенством

$$\Pi_{\mathbf{r}} \mathbf{U}(c) = \sigma(c), \quad (1)$$

а в каждой угловой точке M из числа M_i

$$\lim_{c \rightarrow M_{\pm 0}} \Pi_{\mathbf{r}_k} \mathbf{U}(c) = \sigma_k, \quad (k = 1, 2), \quad (2)$$

где \mathbf{r}_k , σ_k – односторонние пределы функций $\mathbf{r}(c)$, $\sigma(c)$ в точке M при обходе контура L в заданном направлении. При этом предполагается, что

в точке M выполнено одно из следующих условий:

$$|\mathbf{U}(c)| \leq K < \infty \quad (3)$$

в достаточно малых левой и правой полуокрестностях точки M на кривой L ;

$$\lim_{c \rightarrow M} |\mathbf{U}(c)| = \infty. \quad (4)$$

Ниже даётся необходимая для дальнейшего изложения геометрическая интерпретация условий (2) с использованием следующих обозначений: π – касательная плоскость к поверхности S в точке M ; τ_k – числовые оси в плоскости π с началом в точке M и направлениями \mathbf{r}_k ($k = 1, 2$); $\pi(\sigma_k)$ – плоскость с нормальным вектором \mathbf{r}_k , проходящая через точку σ_k оси τ_k ($k = 1, 2$); $p_{\mathbf{r}, \sigma}$ – прямая пересечения плоскостей $\pi(\sigma_k)$, где через \mathbf{r}, σ обозначены пары $(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2), (\sigma_1, \sigma_2)$ соответственно; $P_{\mathbf{r}, \sigma}$ – точка пересечения прямой $p_{\mathbf{r}, \sigma}$ плоскостью π .

Будем говорить, что условия (2), (3) задают в угловой точке M конечный символический $v_{\mathbf{r}, \sigma}$ -вектор, а условия (2), (4) – бесконечный символический $V_{\mathbf{r}, \sigma}$ -вектор или условие концентрации напряжений в точке M . Задание $v_{\mathbf{r}, \sigma}$ -вектора ($V_{\mathbf{r}, \sigma}$ -вектора) означает, что для сколь угодно малой окрестности точки M на L векторы семейства $\mathbf{v}(c) = \mathbf{r}(c) - \mathbf{d}_{\mathbf{r}, \sigma}$ с началом в этой точке принадлежат конечной (бесконечной) трубчатой окрестности прямой $p_{\mathbf{r}, \sigma}$ с поперечным сечением сколь угодно малой площади; $\mathbf{d}_{\mathbf{r}, \sigma}$ – вектор, направленный от точки M к точке $P_{\mathbf{r}, \sigma}$.

Если угловая точка M – одна из точек M_i ($1 \leq i \leq n$), будем использовать введённые обозначения с добавлением верхнего индекса (i), например, $\pi^{(i)}, \mathbf{r}_k^{(i)}, \mathbf{r}^{(i)}, v_{\mathbf{r}, \sigma}^{(i)}, V_{\mathbf{r}, \sigma}^{(i)}$.

Математическая постановка задачи T

Предполагается, что односвязная поверхность S есть внутренняя часть поверхности S_0 строго положительной гауссовой кривизны класса регулярности $W^{3,p}$, $p > 2$; каждая из дуг L_j границы L принадлежит классу регулярности $C^{1,\varepsilon}$, $0 < \varepsilon < 1$; проекция $\sigma = \sigma(s)$ вектора усилий на направление вектора $\mathbf{r} = \{\alpha(s), \beta(s)\}$ – гёльдерова на каждой из дуг L_j функция натурального параметра

s вместе с касательной и нормальной составляющими $\alpha(s), \beta(s)$ ($\alpha^2 + \beta^2 = 1$). Не нарушая общности, положим $\beta(s) \geq 0$ на L , а соответствующее векторное поле назовём допустимым. Введём обозначения: J – отображение поверхности S_0 на комплексную поверхность $z = x + iy$, заданное выбором сопряжённого изометрической параметризации (x, y) на S_0 ; $D = J(S)$ – ограниченная в комплексной плоскости ζ область с границей $\Gamma = \bigcup_{j=1}^n J(\Gamma_j)$ и

угловыми точками $\zeta_j = J(M_j)$. Следуя [5], эллиптическую систему уравнений безмоментного напряжённого равновесия оболочки V запишем в виде

$$\frac{\partial w(z)}{\partial \bar{z}} - B(z)\bar{w}(z) = F(z), \quad z \in D, \quad (5)$$

$\partial_{\bar{z}} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial}{\partial x} + i \frac{\partial}{\partial y} \right)$ – оператор комплексного дифференцирования, где $i^2 = -1$; $w(z)$ – комплексная функция напряжений, выраженная через компоненты контрвариантного тензора усилий и коэффициенты метрической формы поверхности; $B(z)$ – заданная поверхностью функция класса $L_p(\bar{D})$,

$p > 2$; $F(z)$ – комплексная функция внешней нагрузки оболочки; $F \in L_p(\bar{D})$, $p > 2$, а условия (1), (2) – в виде граничного условия

$$\operatorname{Re}\{\lambda(\zeta)w(\zeta)\} = \gamma(\sigma, K, k_s, k_g, X), \quad \zeta \in \Gamma, \quad (6)$$

в котором

$$\lambda(\zeta) = \frac{d\zeta}{ds} \left(\beta \frac{d\zeta}{dl} - \alpha \frac{d\zeta}{ds} \right), \quad (7)$$

$d\zeta ds = s^1 + is^2$; s^i ($i = 1, 2$) – координаты касательного к Γ орта в точке ζ , $d\zeta/dl = l^1 + il^2$, l^i ($i = 1, 2$) – координаты орта направления на плоскости, являющегося J -образом тангенциального направления на поверхности в точке $J^{-1}(\zeta)$; значения $\alpha(\zeta), \beta(\zeta)$ совпадают со значениями функций α, β в соответствующей точке $c = J^{-1}(\zeta)$; K – гауссова кривизна поверхности; k_s и k_g – нормальная кривизна и геодезическое кручение поверхности в направлении края в точке $c = J^{-1}(\zeta)$; X – нормальная компонента вектора поверхностных и объёмных сил на единицу площади; суперпозиция γ как функция аргумента ζ гёльдерова на каждой из дуг Γ_j и терпит разрывы первого рода в точках ζ_j ($1 \leq j \leq n$).

Следуя [5], обозначим через $h_{j_1 \dots j_m}^{1,q}$ класс решений задачи (5)–(7); $W^{1,q}$ – регулярных в D , $2 < q < q_0(p)$, ограниченных в окрестности точек ζ_{j_k} ($1 \leq k \leq m$), а в остальных точках ζ_j допускающих оценку $|w(z)| \leq K |z - \zeta_j|^{-\alpha_j}$, $0 < \alpha_j < 1$. Через $h_n^{1,q}$ ($h_0^{1,s}$) обозначим класс решений, ограниченных (неограниченных) в окрестности всех точек ζ_j ($j = 1, \dots, n$). Тогда условия конечного $v_{r,\sigma}^{(j)}$ -вектора в точках M_j ($j = i_1, \dots, i_m; 1 \leq i_k \leq n$) и условия $V_{r,\sigma}^{(j)}$ -вектора (концентрации напряжений) в остальных точках M_j ($j \neq i_k; 1 \leq k \leq m$) переходят в условия $|w(z)| \leq K$, $K = \text{const}$, и условия

$$|w(z)| \leq K |z - \zeta_j|^{-\alpha_j}, \quad 0 < \alpha_j < 1 \quad (8)$$

в окрестности соответствующих точек ζ_j , где α_j вполне определены функцией $\lambda(\zeta)$ в (6).

Таким образом, состоянию ST оболочки V при условиях (1)–(4) соответствует решение задачи Римана – Гильберта (5)–(7) одного из классов $h_{i_1 \dots i_m}^{1,q}$. Будем говорить, что состояние ST реализуется решением задачи (5)–(7).

Задачу (5)–(7), решение которой реализует состояние ST , назовём задачей $R(T)$.

Замечание 1. Условие (8) имеет адекватный физический смысл: интеграл энергии растяжения оболочки [6] в окрестности точки $J^{-1}(\zeta_j)$ конечен.

Исследование задачи $R(T)$

Для удобства формулировок введём дополнительные обозначения и понятия. Обозначим через $T^{i_1 \dots i_m}$ (T^*) задачу T при условии концентрации напряжений в точках M_{i_1}, \dots, M_{i_m} (во всех угловых точках), а через T^0 – при условии ограниченного $v_{r,\sigma}^{(j)}$ -вектора в точках M_j ($j = 1, \dots, n$).

Определение 1. Задачу $T^{i_1 \dots i_m}$ (T^*, T^0) назовём безусловно разрешимой для данного допустимого векторного поля $r(c)$ на L или $B_r^{i_1 \dots i_m}$ -разрешимой, если соответствующая ей задача $R(T^{i_1 \dots i_m})$ ($R(T^0)$, $R(T^*)$) безусловно разрешима в классе $h_{j_1 \dots j_{n-m}}^{1,s}$, $j_s \neq i_k$, $1 \leq s \leq n - m$, $1 \leq k \leq m$ (в классах $h_n^{1,s}$, $h_0^{1,s}$,

$s > 2$) как задача Римана – Гильберта с неоднородным граничным условием. Будем также говорить, что решение задачи $R(T^{i_1 \dots i_m})$ реализует $B_r^{i_1 \dots i_m}$ -состояние равновесия.

Очевидно, в случае реализации $B_r^{i_1 \dots i_m}$ -состояния обозначения $v_{r,\sigma}^{(i)}$ -вектор, $V_{r,\sigma}^{(i)}$ -вектор следует заменить обозначениями $v_r^{(i)}$ -вектор, $V_r^{(i)}$ -вектор.

Для удобства изложения введём следующие понятия. Узлом U_i задачи T назовём угловую точку M_i вместе с упорядоченной парой $(r_1^{(i)}, r_2^{(i)})$, где $r_k^{(i)}$ ($k = 1, 2$) – левый и правый пределы допустимого поля $r(c)$ в точке M_i , или левый и правый допустимые векторы. Узел U_i назовём особенным, если угловая точка ζ_i контура Γ – особая точка граничного условия задачи $R(T)$ в смысле Н.И. Мухелишвили [7]. Справедлива

Лемма 1. Для любого допустимого вектора $r_1^{(i)}$ существует единственный допустимый вектор $r_2^{(i)}$ такой, что узел U_i задачи T – особенный.

Для доказательства леммы используется геометрический подход: на кривой Γ вводятся в рассмотрение кусочно-непрерывные векторные поля, вполне определённые комплекснозначными функциями $d\zeta/ds$ и $d\zeta/dl$, а затем соотношения между односторонними пределами функции из (7) в особой точке ζ_i формулируются в терминах геометрических свойств этих полей, из которых и следует утверждение леммы.

Индексом задачи $T^{i_1 \dots i_m}$ (T^*, T^0) назовём индекс граничного условия задачи $R(T^{i_1 \dots i_m})$ ($R(T^*), R(T^0)$) в классе $h_{j_1 \dots j_{n-m}}^{1,q}$, $q > 2$, $j_s \neq i_k$; $1 \leq s \leq n - m$, $1 \leq k \leq m$ (в классе $h_0^{1,q}$, $h_n^{1,q}$ соответственно) в смысле Мухелишвили [4]. Имеет место

Лемма 2. Для каждой из точек M_i множество всех допустимых пар $r^{(i)}$ можно разбить на три непересекающихся класса $K_i^{(j)}$ ($j = 1, 2, 3$; $1 \leq i \leq n$) таким образом, что индекс κ задачи T^0 выражается по формуле

$$\kappa = -4 + \sum_{i=1}^n \kappa_i(r^{(i)}). \quad (9)$$

Здесь $\kappa_i(\mathbf{r}^{(i)})$ – кусочно-постоянная целочисленная функция допустимых пар $\mathbf{r}^{(i)}$ в точке M_i ($1 \leq i \leq n$), принимающая значение $\kappa_i(\mathbf{r}^{(i)}) = 4 - (j+k)$, если $\mathbf{r}^{(i)} \in K_i^{(j)}$, а для величины $\theta_i\pi$ внутреннего угла в точке M_i выполнено одно из условий $\frac{k-1}{2} < \theta_i < \frac{k}{2}$ ($1 \leq k \leq 4$). Если при этом U_{i_1}, \dots, U_{i_m} – неособенные узлы, то для вычисления индекса κ задачи $T^{i_1 \dots i_m}$ в формуле (9) следует положить $\kappa_s = 5 - (j+k)$, $s = 1, \dots, m$.

Для доказательства леммы достаточно использовать схему работы [8].

Дальнейшее исследование задачи $R(T)$ проводится по следующей схеме. Решение уравнения (5) представляется в виде $w = w_0 + v$, где w_0 – некоторое частное решение уравнения (5); v – общее решение задачи Римана – Гильберта $\text{Re}\{\lambda(\zeta)v(\zeta)\} = \tilde{\gamma}(\zeta) - \text{Re}\{\lambda(\zeta)w_0(\zeta)\}$ для однородного уравнения $v_{\bar{z}} - B(z)v(z) = 0$, где $\tilde{\gamma}(\zeta)$ задана правой частью равенства (6). Далее с помощью конформного отображения области D на единичный круг приходим к задаче Римана – Гильберта с разрывным граничным условием, изученной автором [9].

Пусть \mathbf{r} – какое-либо допустимое кусочно-непрерывное векторное поле на L , задающее набор $N(\mathbf{r}) \equiv (\mathbf{r}^{(1)}, \dots, \mathbf{r}^{(n)})$ пар $(\mathbf{r}_1^{(i)}, \mathbf{r}_2^{(i)})$ в точках M_i ($i = 1, \dots, n$), U_{i_1}, \dots, U_{i_m} – неособенные узлы соответствующей задачи $T^{i_1 \dots i_m}$. Имеет место

Теорема 1 (критерий безусловной разрешимости задачи $T^{i_1 \dots i_m}$). Для оболочки V и любого допустимого поля $\mathbf{r}(c)$ с заданным набором $N(\mathbf{r})$ реализуется $B_{\mathbf{r}}^{i_1 \dots i_m}$ -состояние, если выполнено условие

$$|N|_{i_1 \dots i_m} \equiv \sum_{i=1}^n \kappa_i(\mathbf{r}^{(i)}) \geq 3, \quad (10)$$

где $\kappa_i(\mathbf{r}^{(i)})$ определены леммой 2. Если же $|N|_{i_1 \dots i_m} < 3$, то задача $R(T^{i_1 \dots i_m})$ имеет единственное решение лишь при выполнении $3 - |N|_{i_1 \dots i_m}$ условий разрешимости интегрального типа. Это решение реализует состояние ST при условии бесконечного $V_{\mathbf{r}, \sigma}^{(j)}$ -вектора (концентрация напряжений) в точках M_j ($i_1 \leq j \leq i_m$), и условиях

конечного $v_{\mathbf{r}, \sigma}^{(s)}$ -вектора в остальных точках ($s \neq i_k$, $k = 1, \dots, m$).

Замечание 2. Если U_i – особенный узел задачи T , то при условии концентрации напряжений в точке M_i состояние ST не реализуется. Это следует из необходимой ограниченности решения задачи $R(T)$ в особенной точке $\zeta_i = J^{-1}(M_i)$.

Замечание 3. Так как при выполнении условия (10) решение задачи $R(T^{i_1 \dots i_m})$ зависит от $s = \kappa + 1$ вещественных параметров, соответствующее $B_{\mathbf{r}}^{i_1 \dots i_m}$ -состояние будем называть S -параметрическим.

Из теоремы 1 и леммы 2 следуют

Утверждение 1. Если для оболочки V реализуется s -параметрическое $B_{\mathbf{r}}^0$ -состояние, а U_{i_1}, \dots, U_{i_m} – неособенные узлы задачи T , то реализуется также $(s+m)$ -параметрическое $B_{\mathbf{r}}^{i_1 \dots i_m}$ -состояние.

Утверждение 2. Если все угловые точки M_1, \dots, M_n ($n \geq 3$) границы – выходящие с острыми углами, а U_{i_1}, \dots, U_{i_m} ($m \geq 3$) – все неособенные узлы задачи $T^{i_1 \dots i_m}$ для допустимого поля \mathbf{r} , то для оболочки V реализуется $B_{\mathbf{r}}^{i_1 \dots i_m}$ -состояние.

Напомним, что выходящей (входящей) угловой точкой границы поверхности называют точку, для которой величина внутреннего угла $\theta\pi$ удовлетворяет условию $0 < \theta < 1$ ($1 < \theta < 2$).

Общее представление о «геометрии» границы оболочки V , для которой реализуются $B_{\mathbf{r}}^*$ -состояния при любом допустимом поле \mathbf{r} (т. е. ST -состояние при условии концентрации напряжений в угловых точках), даётся теоремой

Теорема 2. Если $n_{ex}^{(0)}$ ($n_{em}^{(0)}$) – число выходящих с острыми углами (входящих) угловых точек, причём $n_{ex}^{(0)} - 2n_{em}^{(0)} \geq 3$, то $B_{\mathbf{r}}^*$ -состояние реализуется при любом допустимом поле \mathbf{r} , задающем неособенные узлы U_i , $i = 1, \dots, n$.

Доказательство следует из соотношений (9), (10) и результатов автора [9].

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. Веква И.Н. Обобщённые аналитические функции. М., 1959. 512 с.
3. Гольденвейзер А.Л. О применении решений задачи Римана – Гильберта к расчету безмоментных оболочек // ПММ. 1951. Т. 15, вып. 2. С. 149–166.
4. Гольденвейзер А.Л. Теория тонких упругих оболочек. М., 1976. 512 с.
5. Веква И.Н. Некоторые общие методы построения различных вариантов теории оболочек. М., 1982. 288 с.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости. М., 1965. 204 с.
7. Мусхелишвили Н.И. Сингулярные интегральные уравнения. М., 1968. 512 с.
8. Тюриков Е.В. Об одном классе граничных задач мембранной теории выпуклых оболочек // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2012. № 6. С. 38–41.
9. Тюриков Е.В. Краевые задачи теории бесконечно малых изгибаний поверхностей // Мат. сб. 1977. № 3(7). С. 445–462.

References

1. Vekua I.N. Sistemy differentsial'nykh uravnenii pervogo poriyadka ellipticheskogo tipa i granichnye zadachi s primeneniem k teorii obolochek [Systems of first order differential equations of elliptic type and boundary value problems with application to the theory of shells]. *Mat. sb.* 1952, vol. 31, no. 2, pp. 217-314.

2. Vekua I.N. *Obobshchennye analiticheskie funktsii* [Generalized analytic functions]. Moscow, 1959, 512 p.
3. Gol'denveizer A.L. O primenении reshenii zadachi Rimana – Gil'berta k raschetu bezmomentnykh obolochek [On the application of the Riemann - Hilbert problem solutions to the calculation of membrane shells]. *PMM.* 1951, vol. 15, no. 2, pp. 149-166.
4. Gol'denveizer A.L. *Teoriya tonkikh uprugikh obolochek* [The theory of thin elastic shells]. Moscow, 1976, 512 p.
5. Vekua I.N. *Nekotorye obshchie metody postroeniya razlichnykh variantov teorii obolochek* [Some common methods of constructing the various options of the shell theory]. Moscow, 1982, 288 p.
6. Landau L.D., Lifshits E.M. *Teoriya uprugosti* [The theory of elasticity]. Moscow, 1965, 204 p.
7. Muskhelishvili N.I. *Singulyarnye integral'nye uravneniya* [Singular integral equations]. Moscow, 1968, 512 p.
8. Tyurikov E.V. Ob odnom klasse granichnykh zadach membranoi teorii vypuklykh obolochek [On a class of boundary value problems of the membrane theory of convex hulls]. *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestv. nauki.* 2012, no. 6, pp. 38-41.
9. Tyurikov E.V. Kraevye zadachi teorii beskonechno malykh izgibanii poverkhnostei [Boundary value problems in the theory of infinitesimal bendings of surfaces]. *Mat. sb.* 1977, no. 3(7), pp. 445-462.

УДК 539.3

DOI 10.18522/0321-3005-2016-4-36-39

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ДИСКОВОГО ТОРМОЗА*

© 2016 г. М.И. Чебаков, А.А. Ляпин

MODELING OF CONTACT INTERACTION FOR DISC BRAKES ELEMENTS

M.I. Chebakov, A.A. Lyapin

Чебаков Михаил Иванович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией механики деформируемых тел и конструкций, Институт математики, механики и компьютерных наук им. И.И. Воровича Южного федерального университета, пр. Стачки, 200/1, г. Ростов-на-Дону, 344090, e-mail: chebakov@math.sfedu.ru

Mikhail I. Chebakov – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Head of the Laboratory for Mechanics of Deformable Bodies and Constructions, Vorovich Institute of Mathematics, Mechanics and Computer Sciences, Southern Federal University, Stachki St., 200/1, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: chebakov@math.sfedu.ru

Ляпин Александр Александрович – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник, лаборатория механики деформируемых тел и конструкций, Институт математики, механики и компьютерных наук им. И.И. Воровича Южного федерального университета, пр. Стачки, 200/1, г. Ростов-на-Дону, 344090, e-mail: lyapin@sfedu.ru

Alexander A. Lyapin – Candidate of Physics and Mathematics, Researcher, Laboratory for Mechanics of Deformable Bodies and Constructions, Vorovich Institute of Mathematics, Mechanics and Computer Sciences, Southern Federal University, Stachki St., 200/1, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: lyapin@sfedu.ru

Проведен расчет температурного поля трибосистемы тормозной диск – колодка. Для расчета температурного поля использован метод конечного элемента с применением современного компьютерного пакета. Основное внимание уделено наличию каналов в структуре диска. Проанализировано влияние величины каналов на тормозящий момент и степень прогрева системы. Предложена аппроксимация функции температуры системы по времени.

Ключевые слова: термоупругость, тепловыделение от трения, контактная задача, тормозная система.

The calculation of temperature field for tribo-system “braking disc - pad” is performed. For the corresponding calculations the finite element method was used with the application of modern software. An influence of size for channels of braking disc on braking moment and heating rate of system is analyzed. Some requirements for the process of development of braking disc construction are advised.

Keywords: thermoelasticity, frictional heating, contact problem, braking system.

Известно, что внешнее трение сопровождается выделением тепла. Одна его часть путем теплопроводности распространяется в объем трущихся тел, создавая температурное поле, другая – рассеивается в окружающую среду. Данный процесс в системах трения, особенно в тормозных системах, требует тщательного анализа. Моделированию процессов прогрева трибосопряжений посвящено значительное количество работ. Среди аналитических результатов стоит отметить [1–3], где на основе одномерных гипотез о поведении температуры в трибосопряжении [4] подробно изучаются проблемы прогрева тормозных и подобных систем. Основное внимание авторов этих работ посвящено изучению плоских задач о трении полос или полосы и полуплоскости. Такой подход оправдан для изучения локального поведения в области контак-

та, особенно для изучения пограничных явлений, которые в значительной мере влияют на весь процесс взаимодействия. Известно, что максимум температуры при контакте трущихся тел расположен не на поверхности, а на некоторой глубине [5]. Отметим наличие экспериментальных данных по моделированию температурных процессов за счет трения [6].

Также следует отметить работы, которые были посвящены моделированию термоупругого взаимодействия в металлополимерных трибосистемах различных узлов трения железнодорожного транспорта [7, 8]. Данные результаты для тормозных систем демонстрируют рост температуры, который выражается её в циклических увеличениях на некоторую величину и последующем уменьшении за счет перераспределения по объему тормозного

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-08-00852) и в рамках внутреннего гранта ЮФУ (проект № БЧ 213.01-2014/03-ВГ)

диска (или колеса вагона) и конвективного теплообмена со средой. Стоит отметить несколько свойств, характерных для процесса нагрева. Колебание температуры для каждого оборота со временем становится все больше. Данный факт связан с тем, что при прохождении точки диска под тормозной накладкой температура точки складывается из температуры, генерируемой трением, а также за счет теплообмена с тормозной накладкой. Температура тормозной накладки, в отличие от диска, повышается непрерывно, что приводит к тому, что к точке диска поступает все больше и больше тепла с каждым оборотом.

Современные технологии позволяют создавать тормозные диски самых различных форм (рис. 1). Характер отверстий и каналов несет важную функцию: повышение теплоотдачи с поверхности тормозного диска.

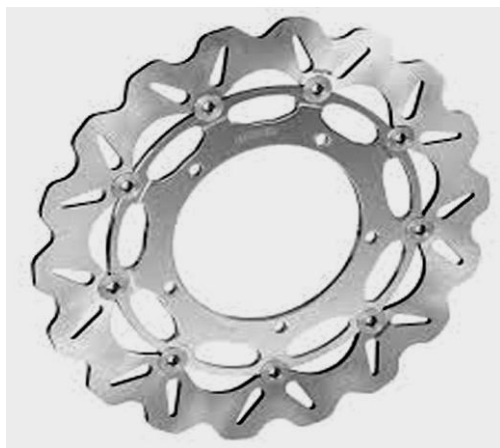


Рис. 1. Различные конструкции тормозных дисков / Fig. 1. Various designs for braking discs

Таким образом, отдельный интерес представляет собой задача об анализе влияния различного вида каналов и их параметров на степень прогресса системы.

В качестве модельной задачи рассмотрим термомеханическое взаимодействие тормозной накладкой и

диска. Геометрия задачи изображена на рис. 2. Диск внутреннего радиуса R_1 и внешнего R_2 толщиной h вращается с угловой скоростью ω . В диске через равные промежутки расположены секторальные вырезы с углом раствора D . Число вырезов – 8. Сверху диска расположена тормозная накладка в виде части диска с аналогичными внутренним и внешним радиусами раствором 60° . Тормозная накладка прижимается к диску силой P .

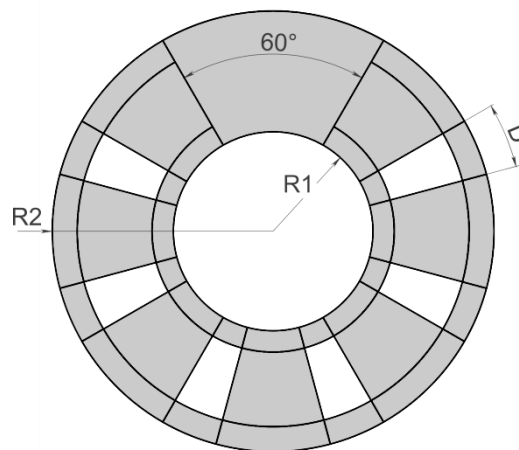


Рис. 2. Схематическое изображение анализируемой конструкции / Fig. 2. Schematic view of analyzed construction

Задача исследуется на основе решения уравнений связанной термоупругости [9]. Геометрия задачи не позволяет исследовать данную постановку аналитически. В таких случаях эффективным инструментом является метод конечного элемента. Приведенная геометрия задачи была выбрана для обеспечения наибольшей простоты конечноэлементного разбиения, так как решение нестационарных смешанных контактных задач требует больших затрат по времени и упрощение сетки играет значительную роль.

Для упрощения расчета процесс решения был разбит на два этапа: вдавливание тормозной накладкой в поверхность диска в рамках статической постановки и нестационарная задача о вращении тормозного диска с прижатой накладкой. Процесс генерации тепла заключается в задании в зоне контакта источников тепла на контактной и ответной поверхностях. Интенсивность тепловыделения пропорциональна скорости вращения, контактным напряжениям и коэффициенту трения. Дополнительно к условию генерации тепла в области контакта задано условие контактной теплопроводности между телами, обеспечивающее передачу тепла от одного тела к другому. На свободной поверхности диска задано условие контактного теплообмена с

окружающей средой. Задача решается относительно начальной температуры тел и окружающей среды, равной 0 °С.

В качестве материалов контактирующих тел выбрана сталь с параметрами: модуль Юнга $E=2,18e^{11}$ Па; коэффициент Пуассона $\nu=0,3$; плотность $\rho=7670$ кг/м³; коэффициент теплопроводности $\Lambda=23$ Вт/(м·град); теплоемкость $C_e=461$ Дж/(кг·град); коэффициент температурного расширения $\gamma=1,01e^{-5}$ 1/град. В реальных тормозных системах материал накладки представляет собой композит (например ТИИР-300 или «Бекорит»). Материальные свойства таких композитов сильно зависят от температуры, что затруднит выявление влияния других параметров задачи. Выбор же одного материала позволит сосредоточиться на анализе конкретных характеристик. Для расчетов прижимающая сила взята равной 5 кН, а скорость вращения диска – 1 об/с; анализ проводился для 10 оборотов. Приведем результаты моделирования: на рис. 3 представлены распределения контактных напряжений для различного положения тормозного диска относительно колодок.

Можно видеть, что распределение контактных напряжений в значительной мере зависит от угла поворота диска, так как в данной постановке в различные моменты времени площадь контакта изменяется, что приводит к изменению контактных напряжений при постоянной силе вдавливания. Данный факт позволяет сделать вывод, что для равномерного торможения необходимо проектировать расположение каналов диска так, чтобы в каждый момент времени площадь контакта под накладкой оставалась постоянной или изменялась в наименьшей степени.

На рис. 4 изображено изменение тормозящего момента диска во времени для различных вариантов угла D . Биения в значениях тормозящего момента связаны с изменением контактных напряжений в зависимости от положения тормозного диска и величины каналов. Общее поведение тормозящего момента выражается в некотором нелинейном изменении в начальный момент и выходе на постоянное значение в дальнейшем.

Также стоит заметить, что средний тормозящий момент уменьшается с уменьшением угла D .

На рис. 5 изображено изменение температуры системы для различных вариантов угла D . Данная характеристика рассчитывалась как средняя температура обоих тел в каждый момент времени. Можно видеть, что характер изменения имеет некоторое нелинейное поведение в начале и выход на стационарный режим в дальнейшем.

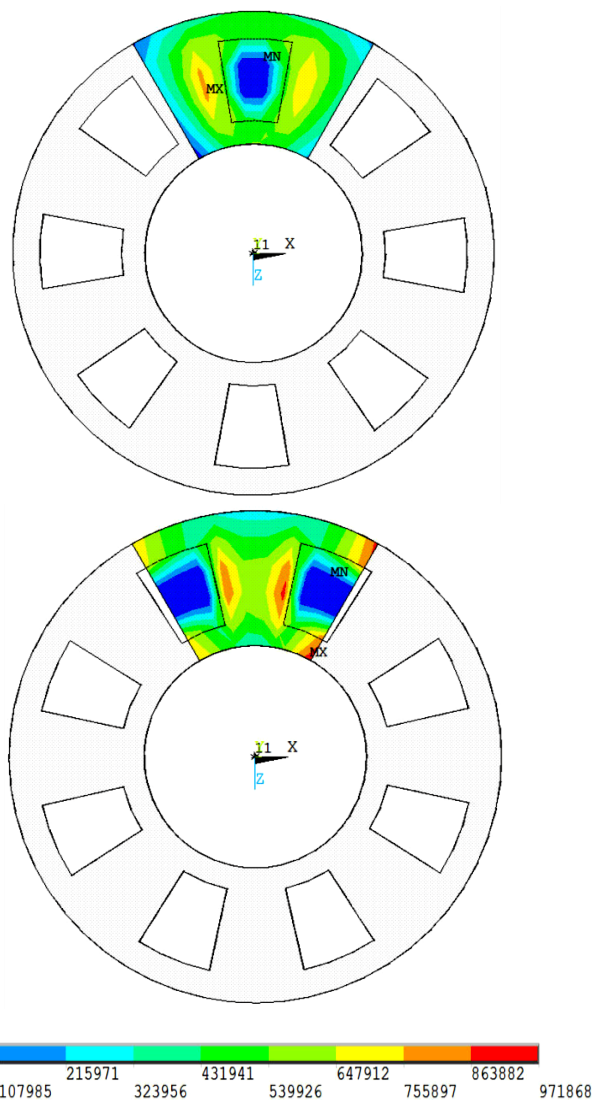


Рис. 3. Распределение контактных напряжений для различных позиций тормозного диска / Fig. 3. Contact stress distribution for various positions of braking disc

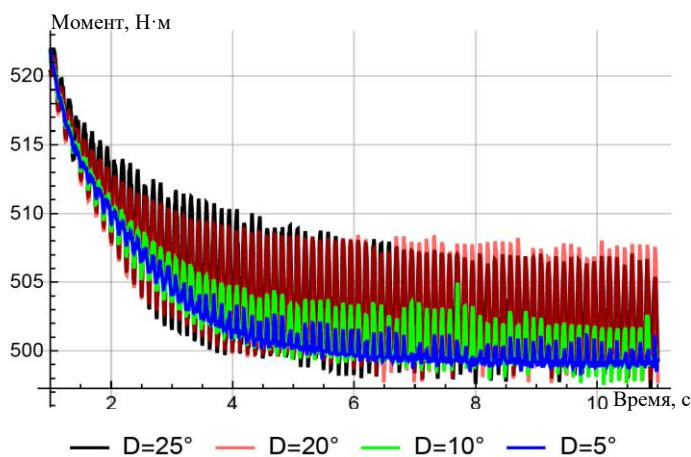


Рис. 4. Изменение тормозящего момента во времени / Fig. 4. Changing of braking moment in time

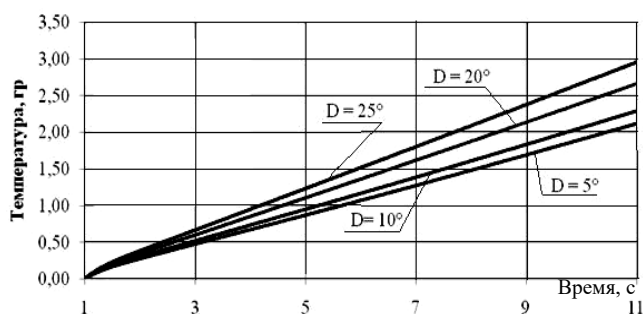


Рис. 5. Изменение температуры системы во времени / Fig. 5. Changing of temperature for system in time

Можно сделать вывод, что при проектировании конструкции тормозного диска необходимо учитывать площадь контакта тормозной накладки и диска. В случае независимости данной площади от угла вращения тормозящий момент будет постоянным, за исключением некоторого начального промежутка времени. Обратим внимание на наличие концентраций напряжений вокруг каналов диска. Они могут приводить к повышенному износу тормозной системы. Путем контроля форм, количества и расположения отверстий данные концентрации можно свести к минимуму.

Литература

1. Yevtushenko A.A., Kuciej M., Yevtushenko O. Modelling of the frictional heating in brake system with thermal resistance on a contact surface and convective cooling on a free surface of a pad // *Intern. J. of Heat and Mass Transfer*. 2015. Vol. 81. P. 915–923.
2. Yevtushenko A.A., Kuciej M., Yevtushenko O. Three-element model of frictional heating during braking with contact thermal resistance and time-dependent pressure // *Intern. J. of Thermal Sciences*. 2011. Vol. 50, № 6. P. 1116–1124.
3. Yevtushenko A.A., Kuciej M., Yevtushenko O. The contact heat transfer during frictional heating in a three-element tribosystem // *Intern. J. of Heat and Mass Transfer*. 2010. Vol. 53, № 13–14. P. 2740–2749.
4. Chichinadze A.V., Braun E.D., Ginsburg A.G., Ignat'eva Z.V. Calculation, Test and Selection of Frictional Couples. M., 1979.
5. Колесников В.И. Теплофизические процессы в металлополимерных трибосистемах. М., 2003. 280 с.
6. Conte M., Pinedo B., Igartua A. Frictional heating calculation based on tailored experimental measurements // *Tribology International*. 2014. Vol. 74. P. 1–6.
7. Колесников В.И., Чебаков М.И., Колесников И.В., Ляпин А.А. Теплофизические процессы в тяжело-

груженных узлах трения подвижного состава // *Транспорт: наука, техника, управление*. 2015. № 1. С. 6–12.

8. Kolesnikov V.I., Chebakov M.I., Kolesnikov I.V., Lyapin A.A. Thermo-physical processes in boundary layers of metal-polymeric systems // *Advanced Materials: Manufacturing, Physics, Mechanics and Applications. Springer Proceedings in Physics*. 2016. Vol. 175. P. 527–538.

9. Новацкий В. Динамические задачи термоупругости. М., 1970. 256 с.

References

1. Yevtushenko A.A., Kuciej M., Yevtushenko O. Modelling of the frictional heating in brake system with thermal resistance on a contact surface and convective cooling on a free surface of a pad. *Intern. J. of Heat and Mass Transfer*. 2015, vol. 81, pp. 915-923.
2. Yevtushenko A.A., Kuciej M., Yevtushenko O. Three-element model of frictional heating during braking with contact thermal resistance and time-dependent pressure. *Intern. J. of Thermal Sciences*. 2011, vol. 50, no. 6, pp. 1116-1124.
3. Yevtushenko A.A., Kuciej M., Yevtushenko O. The contact heat transfer during frictional heating in a three-element tribosystem. *Intern. J. of Heat and Mass Transfer*. 2010, vol. 53, no. 13-14, pp. 2740-2749.
4. Chichinadze A.V., Braun E.D., Ginsburg A.G., Ignat'eva Z.V. *Calculation, Test and Selection of Frictional Couples*. Moscow, 1979.
5. Kolesnikov V.I. *Teplofizicheskie protsessy v metallopolimernykh tribosistemakh* [Thermal processes in metal tribosystems]. Moscow, 2003, 280 p.
6. Conte M., Pinedo B., Igartua A. Frictional heating calculation based on tailored experimental measurements. *Tribology International*. 2014, vol. 74, pp. 1-6.
7. Kolesnikov V.I., Chebakov M.I., Kolesnikov I.V., Lyapin A.A. *Teplofizicheskie protsessy v tyazhelonagruzhennykh uzлах treniya podvizhnogo sostava* [Thermal processes in the heavily loaded nodes rolling friction]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie*. 2015, no. 1, pp. 6-12.
8. Kolesnikov V.I., Chebakov M.I., Kolesnikov I.V., Lyapin A.A. Thermo-physical processes in boundary layers of metal-polymeric systems. *Advanced Materials: Manufacturing, Physics, Mechanics and Applications. Springer Proceedings in Physics*. 2016, vol. 175, pp. 527-538.
9. Novatskii V. *Dinamicheskie zadachi termouprugosti* [Dynamic thermoelasticity problem]. Moscow, 1970, 256 p.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

BIOLOGICAL SCIENCES

УДК 58.085

DOI 10.18522/0321-3005-2016-4-40-44

ОСОБЕННОСТИ ЕСТЕСТВЕННОГО ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ РЕГЕНЕРАЦИИ У ПОПУЛЯЦИЙ *HEDYSARUM DAGHESTANICUM*

© 2016 г. З.М. Алиева, Ш.М. Зубаирова, В.К. Мартемьянова, А.Г. Юсуфов

FEATURES OF NATURAL REPRODUCTION AND REGENERATION PROCESSES IN THE IMPLEMENTATION OF *HEDYSARUM DAGHESTANICUM* POPULATIONS

Z.M. Alieva, Sh.M. Zubairova, V.K. Martemyanova, A.G. Yusufov

Алиева Зарина Магомедрасуловна – кандидат биологических наук, доцент, кафедра физиологии растений и теории эволюции, биологический факультет, Дагестанский государственный университет, ул. М. Гаджиева, 43а, г. Махачкала, 367000, e-mail: zalieva@mail.ru

Zarina M. Alieva – Candidate of Biology, Associate Professor, Department of Plant Physiology and Evolutionary Theory, Faculty of Biology, Dagestan State University, M. Gadzhiev St., 43a, Makhachkala, 367000, Russia, e-mail: zalieva@mail.ru

Зубаирова Шумайзат Магомедовна – кандидат биологических наук, младший научный сотрудник, лаборатория флоры и растительных ресурсов, Горный ботанический сад ДНЦ РАН, ул. М. Гаджиева, 45, г. Махачкала, 367000, e-mail: zubairova08@mail.ru

Shumajzat M. Zubairova – Candidate of Biology, Junior Researcher, Laboratory of Flora and Plant Resources, Mountain Botanical Garden, Dagestan Scientific Centre, Russian Academy of Science, M. Gadjiev St., 45, Makhachkala, 367000, Russia, e-mail: zubairova08@mail.ru

Мартемьянова Вера Кадировна – аспирант, кафедра физиологии растений и теории эволюции, биологический факультет, Дагестанский государственный университет, ул. М. Гаджиева, 43а, г. Махачкала, 367000

Vera K. Martemyanova – Postgraduate, Department of Plant Physiology and Evolutionary Theory, Faculty of Biology, Dagestan State University, M. Gadzhiev St., 43a, Makhachkala, 367000, Russia

Юсуфов Абдулмалик Гасамутдинович – доктор биологических наук, профессор, кафедра физиологии растений и теории эволюции, биологический факультет, Дагестанский государственный университет, ул. М. Гаджиева, 43а, г. Махачкала, 367000

Abdulmalik G. Yusufov – Doctor of Biology, Professor, Department of Plant Physiology and Evolutionary Theory, Faculty of Biology, Dagestan State University, M. Gadzhiev St., 43a, Makhachkala, 367000, Russia

Приведены результаты полевых, лабораторных и биотехнологических методов, анализ семенного и вегетативного размножения копеечника дагестанского (*Hedysarum daghestanicum* Rupr. ex Boiss.) – узлокального эндемика Красных книг РФ и Дагестан. Для популяций характерны различия во всхожести семян в полевых (с использованием УНУ «Система экспериментальных баз, расположенных вдоль высотного градиента» ГорБС ДНЦ РАН) и лабораторных условиях, в регенерационной активности эксплантов разных структур. Определены оптимальные возможности микроразмножения с использованием узловых эксплантов *in vitro*.

Ключевые слова: *Hedysarum daghestanicum*, семенное размножение, регенерационная активность, экспланты *in vitro*, морфогенез, семена, микроразмножение.

The results of field, laboratory and biotechnological methods of analysis, seed and vegetative propagation of *Hedysarum daghestanicum* Rupr. ex Boiss. – narrow local endemic Red data books of Russia and Dagestan. For populations of characteristic differences in seed germination in the field (using the UNA «System experimental bases located along an altitudinal gradient» Garbs, Dagestan scientific center, Russian Academy of Sciences) and the laboratory of regenerative activity of explants of different structures, the optimal possibilities of micropropagation using nodal explants *in vitro*.

Keywords: *Hedysarum daghestanicum*, seed reproduction, regeneration activity, explants *in vitro*, morphogenesis, seeds, microreproduction.

Виды рода копеечник (*Hedysarum L.*) представляют интерес в связи с их ограниченным воспроизведением в природе, редкостью, особенностями химического состава, использованием в медицине, индикационной значимостью в редких ценозах [1–3]. Копеечник дагестанский (*Hedysarum daghestanicum* Rupr. ex Boiss.) – узколокальный эндемик Дагестана. Распространен прерывисто, встречается на известняковых склонах (от 500 до 1200 м н. у. м.) в пределах предгорного и внутреннегорного Дагестана [4]. По имеющимся сведениям [5–7] и гербарным образцам (DAG, LENUD, LE, MHA, MW, MOSP, ERE, BAK, TBI), известны 15 местонахождений [8]. Вид внесен в Красные книги РФ (2008) и Дагестана (2009) [9, 10].

В местах поселения растения способствуют закреплению склонов и вступают в симбиоз с клубеньковыми азотфиксирующими бактериями. Растения декоративны: имеют массу ярких цветов, а после отцветания до заморозков остаются с серебристо-опушенными листьями.

В задачи исследования входит анализ популяций данного эндемика Дагестана с точки зрения семенного и вегетативного размножения. Поскольку сведения о размножении *H. daghestanicum* черенками ограничены, а его семенное воспроизведение происходит плохо, интерес представляет выяснение возможности введения его в культуру *in vitro* и клонального микроразмножения. Такой подход уже используется для сохранения редких и ценных видов растений; некоторые виды хранятся в коллекциях ботанических садов именно в культуре *in vitro* [1, 11–14].

Методика

Работа выполнена с использованием полевых, лабораторных и биотехнологических методов.

Лабораторные анализы всхожести семян проводили как классическим способом (путем проращивания в чашках Петри на фильтровальной бумаге при комнатной температуре (21 ± 2 °C)), так и посевом семян осенью и весной в грунт на глубину $0,5 \div 1,0$ см в 6-кратной повторности по 100 шт.

В опытах *in vitro* использовали стандартную методику [15]. У стерильных проростков из семян, обработанных поочередно 70%-м этанолом (1 мин) и 10%-й перекисью водорода (10 мин), изолировали узловые, листовые и корневые экспланты, которые культивировали на среде Мурасиге – Скуга (МС) с добавлением фитогормонов ИМК и БАП в условиях климатической камеры (SANYO MLR-352H, Japan, $t = 21 \div 23$ °C, освещенность – 3000 лк). Состояние эксплантов оценивали по выживаемости (% жизнеспособных эксплантов от их общего числа

в варианте), росту (% эксплантов, у которых отмечены процессы роста, от их общего числа в варианте), каллусообразованию (% эксплантов, у которых наблюдали каллусогенез, от их общего числа в варианте) и морфогенезу. Интенсивность роста экспланта и закладки каллуса оценивали по 3-балльной системе (0 – признак отсутствует; 1–3 – слабая, средняя и сильная выраженность признака), а морфогенеза – по количеству эксплантов, у которых наблюдали закладку корней, почек и побегов (в процентах от их общего числа в варианте), и по количеству образовавшихся корней, почек, побегов. Опыты проводили 2–3-кратно, каждый вариант включал $10 \div 15$ биологических повторностей.

Результаты

Семенное размножение *H. daghestanicum* происходит не каждый год. Всходы в природе были обнаружены только в благоприятные по увлажнению периоды вегетации. Прочная кожура и оболочка боба препятствуют проникновению влаги в семя. При этом семена сохраняют свою жизнеспособность в течение нескольких лет. Твердосемянность может быть нарушена температурными воздействиями.

В полевых условиях посев проводился на Цудахарской экспериментальной базе Горного ботанического сада ДНЦ РАН (1100 м н.у.м.) весной и осенью. Как и в лаборатории, всхожесть скарифицированных семян оказалась выше, чем нескарфицированных. Наибольшая всхожесть во всех вариантах отмечена для популяции Годобери в случае преодоления твердосемянности; самая низкая – для семян популяции Цудахар (табл. 1).

В лабораторных условиях проращивание семян (при температуре 18–20 °C) было произведено после 6 мес. хранения; 10 % скарифицированных семян начинали прорасти на третьи сутки; в течение 10 дней всхожесть достигла 75 %. Всхожесть нескарфицированных семян более растянута: за 20 дней она составила только 18 %. Наибольшие показатели отмечены для семян популяции Годобери, низкие – Цудахар (табл. 1).

Всхожесть семян копеечника различалась у растений разных популяций и в культуре *in vitro*. Так, у популяций Губден и Цудахар проросло только $20 \div 30$, Чиркей – 78 % семян. В варианте с добавлением в среду ИМК и БАП этот показатель у семян растений популяции Дубки возрос до 92 %. На 10-е сут у всех проростков семян популяции Дубки на среде с БАП (0,5 мг/л) наблюдалось образование семядольных листьев, в варианте МС+БАП и ИМК они появлялись на седьмые сутки (табл. 2).

Таблица 1

**Всхожесть семян *H. daghestanicum*
/ *H. daghestanicum* seed germination**

Популяция	В лаб. условиях, %		В полевых условиях, %			
			Посев			
	Скариф.	Нескариф.	осенний		весенний	
Скариф.			Нескариф.	Скариф.	Нескариф.	
Цудахар	70	28	36	18	28	7
Годобери	75	35	48	32	38	30
Губден	68	27	45	26	35	24

Таблица 2

**Влияние гормонального состава среды на прорастание семян *H. daghestanicum* разных популяций
/ Influence of hormonal composition of the medium in the seed germination of *H. daghestanicum* different populations**

Вариант	Популяция	Прорастание, %	Рост		Морфогенез, %					
			%	Балл	Корни		Почки		Побеги	
					%	Кол-во	%	Кол-во	%	Кол-во
1	Дубки	50	100	3±0	100	1,2±0,1	100	1±0	100	3,2±0,2
	Губден	30	100	2,5±0,1	100	3,8±0,1	100	1±0	100	1,2±0,1
	Цудахар	20	100	2,1±0,1	100	2,8±0,1	100	1±0	100	1,1±0,1
	Чиркей	78	100	2,7±0,2	43	1±0	100	3,1±0,2	100	2,1±0,4
2	Дубки	92	100	3±0	100	3,5±0,2	100	1±0	100	4,2±0,3
	Чиркей	67	100	2,2±0,2	100	1±0	100	1,5±0,2	100	1,2±0,5
3	Дубки	20	100	3±0	100	4,2±0,2	100	1±0	100	2,2±0,1
	Чиркей	52	100	2,4±0,2	100	1±0	100	1,2±0,2	100	1,1±0,4

Примечание. Варианты культивирования: среда МС (1); МС+ ИМК + БАП (0,5:2,5 мг/л) (2); МС+ БАП (0,5 мг/л) (3).

В связи с низкой семенной продуктивностью и слабым вегетативным воспроизведением *H. daghestanicum* in vitro оценивали регенерационный потенциал эксплантов узлов, пластинок листа и корней проростков из стерильных семян на среде МС с ИМК и БАП (0,5; 2,5 мг/л). Опыты показали, что все экспланты в течение 4 недель проявляли высокую выживаемость (80÷100 %). У всех эксплантов, за исключением корней, отмечен заметный рост. Каллус закладывался у всех узловых эксплантов и пластинок листа. Если последние

брали в опыт без черешка, то каллус формировался у всех эксплантов в различных участках по всей поверхности, у черешковых – у 85 % и только на базальной их части. У 80 % узловых эксплантов наблюдали рост пазушных почек и формирование из них от 4 до 11 побегов, несущих по 6÷8 листьев, без закладки корней (табл. 3). На этой стадии (через 30÷35 сут культивирования) побегорегенеранты использовали для дальнейшего микроочеренкования, выделяя узловыe экспланты; для пассирования (табл. 4).

Таблица 3

Жизнеспособность эксплантов зеленых побегов *H. daghestanicum* (популяция Дубки) в варианте МС + ИМК + БАП (0,5; 2,5 мг/л) / The viability of the explants green shoots *H. daghestanicum* (population Oaks) in the MS + ISB + BAP (0.5: 2.5 mg/l)

Тип экспланта	Выживаемость, %	Рост		Каллусогенез		Морфогенез, %			
		%	Балл	%	Балл	Почки		Листья	
						%	Кол-во	%	Кол-во
А	100	100	3±0	100	2±0,2	80	9,7±0,2	80	7,2±0,3
Б	80	100	2,5±0,2	85	1±0,1	0	0	0	0
В	80	100	2,6±0,3	100	2±0,3	0	0	0	0
Г	100	0	0	0	0	0	0	0	0

Примечание. А – экспланты узлов; Б – экспланты пластинок листа с черешком; В – экспланты пластинок листа без черешка; Г – экспланты корней.

Таблица 4

Состояние экплантов *H. daghestanicum* популяции Дубки при последовательном пассировании
 / Status of *H. daghestanicum* explants population Oaks sequential passaging

Пассаж	Вариант	Количество дней	Выживаемость, %	Рост		Каллус		Морфогенез, %					
				%	Балл	%	Балл	Корни		Почки		Побеги	
								%	Кол-во	%	Кол-во	%	Кол-во
I	1	35	100	100	2,8±0,1	100	1,2±0,1	0	0	100	8,8±0,5	100	7,0±0,2
II	1	35	100	90	2,5±0,2	60	1,1±0,1	0	0	100	6,2±0,3	100	4,4±0,2
II	2	45	67	100	2,6±0,2	80	1,0±0,2	0	0	100	7,6±1,6	80	4,8±0,9
II	3	70	100	100	2,7±0,2	0	0	0	0	25	5,0±2,4	25	1,5±0,2
II	4	70	100	100	2,8±0,1	33	1,3±0,2	33	3±0,3	0	0	0	0
III	5	40	100	100	2,6±0,2	56	1,6±0,2	0	0	100	7,7±1,4	100	3,2±0,5
III	1	35	80	75	1,7±0,1	50	0,8±0,1	0	0	75	4,0±0,4	100	2,5±0,2
III	6	50	90	100	2,5±0,1	25	1,5±0,3	0	0	100	4,75±0,2	100	2,3±0,2

Примечание. Варианты: среда МС + БАП (0,5 и 2,5 мг/л) (1, 2); МС + ИМК (1 и 0,5 мг/л) (3, 4); МС + ИМК + БАП (0,5;2,5 мг/л) (5); МС + ИМК + БАП (0,5;0,5 мг/л) (6).

У экплантов побегов в варианте МС+БАП (0,5 мг/л) на 35–40-е сут культивирования при их пассировании обнаружены различия в росте, формировании каллуса и морфогенезе. При увеличении числа пассажжей у узловых экплантов побегов на 35-е сут культивирования отмечено снижение жизнеспособности, роста, каллусо- и морфогенеза, в то время как при первом пассировании эти показатели достигали 100 %. Так, в первом пассаже в среднем на каждый экплант закладывалось 7÷10 почек с последующим формированием 5÷8 листьев на развивающихся из них побегах.

При втором пассировании высокой выживаемостью (100 %) характеризовались экпланты в вариантах МС+БАП (0,5 мг/л), МС+ИМК (1 и 0,5 мг/л), тогда как в варианте с повышенным содержанием БАП (2,5 мг/л) наблюдали ее снижение (67 %). Самые высокие показатели закладки каллуса у экплантов (80 %) наблюдали в варианте МС+БАП (2,5 мг/л), низкие – МС+ИМК (0,5 мг/л). Увеличение концентрации ИМК в два раза полностью ингибировало каллусогенез.

Заключение

В природе семена копеечника дагестанского после осыпания не прорастают ввиду вынужденного покоя. Повышению их всхожести в лабораторных условиях способствуют меры по преодолению твердосемянности. Поэтому всхожесть нескарифицированных семян в полевых и лабораторных условиях остается невысокой у разных популяций. У популяций Цудахар и Губден она варьирует в диапазоне 20–40 %. В условиях *in vitro* более высокая всхожесть семян отмечена у популяций Дубки (50 %) и Чиркей (78 %). При этом в большинстве случаев она повышалась на гормональной питательной среде. Культивированием разных типов

экплантов выявлена в целом высокая регенерационная активность, что позволяет использовать их при клональном микроразмножении *H. Daghestanicum*.

Материалы сообщения свидетельствуют о наличии у популяций как общих особенностей, обусловленных единством их происхождения, так и специфических, связанных с условиями обитания. Природа последних еще нуждается в изучении в связи с анализом процессов роста и морфогенеза в типичных условиях обитания. Это способствовало бы познанию их роли в приспособлении популяций, вопроса, еще мало изученного для растений.

Литература

1. Генотип растений Красной книги Российской Федерации, сохраняемый в коллекциях ботанических садов и дендрариев / отв. ред. А.С. Демидов. М., 2012. 220 с.
2. Ильина В.Н. О биоэкологических особенностях копеечника крупноцветкового (*Hedysarum grandiflorum* Pall., Fabaceae) в Самарской области // Самарский науч. вестн. 2013. № 4. С. 78–80.
3. Супрун Н.А. Онтогенез и структура популяций *Hedysarum cretaceum* Fisch. на территории Волгоградской области // Вестн. Удмуртского ун-та. 2013. № 6–1. С. 33–39.
4. Муртазалиев Р.А. Конспект флоры Дагестана. Т. II : *Euphorbiaceae – Dipsacaceae* / отв. ред. Р.В. Камелин. Махачкала, 2009. 248 с.
5. Гроссгейм А.А. Флора Кавказа. Т. 5. М.; Л. 1952. 454 с.
6. Галушко А.И. Флора Северного Кавказа. Определитель. Ростов н/Д., 1980. Т. 2. С. 280.
7. Литвинская С.А., Муртазалиев Р.А. Кавказский элемент во флоре российского Кавказа: география, зооэкология, экология. Краснодар, 2009. 439 с.

8. Зубаирова Ш.М., Анатов Д.М. Изменчивость морфологических признаков в ценопопуляциях *Hedysarum daghestanicum* Rupr. ex Boiss // Изв. Самарского науч. центра РАН. 2012. Т. 14, № 1(7). С. 1735–1737.

9. Красная книга РФ (Растения) / сост. Р.В. Камелин [и др.] М., 2008. 850 с.

10. Красная книга Республики Дагестан. Ч. 1. : Растения / сост. Р.А. Муртазалиев, А.А. Теймуров. Махачкала, 2009. 552 с.

11. Вечернина Н.А. Методы биотехнологии в селекции, размножении и сохранении генофонда растений. Барнаул, 2004. 265 с.

12. Новикова Т.И., Набиева А.Ю., Полубоярова Т.В. Сохранение редких растений в коллекции in vitro Центрального Сибирского ботанического сада // Вестн. ВОГиС. 2008. Т. 12, № 4. С. 564–571.

13. Sivanesan Y., Lim M.Y., Jeong B.R. Micropropagation and greenhouse cultivation of *Scrophularia takesimensis* Nakai, a rare endemic medicinal plant // Pak. J. Bot. 2012. Vol. 44, № 5. P. 1657–1662.

14. Akin B., Kocacaliskan I., Guleryuz G. Micropropagation of *Erodium sibthorpiatum* subsp. *sibthorpiatum*, an endemic threatened species of Uludag Mountain (Bursa-Turkey) // Turkish J. of Botany. 2014. № 38. P. 148–155.

15. Калинин Ф.Л., Сарнацкая В.В., Полищук В.Е. Методы культуры изолированных тканей в физиологии и биохимии растений. Киев, 1980. 489 с.

References

1. *Genofond rastenii Krasnoi knigi Rossiiskoi Federatsii, sokhranyaemyi v kollektsiyakh botanicheskikh sadov i dendrariiev* [The gene pool of the plant Red Book of the Russian Federation, stored in the collections of botanical gardens and arboreta]. Ed. A.S. Demidov. Moscow, 2012, 220 p.

2. P'ina V.N. O bioekologicheskikh osobennostyakh kopechnika krupnotsvetkovogo (*Hedysarum grandiflorum* Pall., Fabaceae) v Samarskoi oblasti [About *Hedysarum grandiflorum* (*Hedysarum grandiflorum* Pall., Fabaceae) bioecological features in the Samara Region]. *Samarskii nauch. vestn.* 2013, no. 4, pp. 78–80.

3. Suprun N.A. Ontogenez i struktura populyatsii *Hedysarum cretaceum* Fisch. na territorii Volgogradskoi oblasti [The *Hedysarum cretaceum* Fisch. ontogeny and population structure in the Volgograd Region]. *Vestn. Udmurtskogo un-ta.* 2013, no. 6-1, pp. 33–39.

4. Murtazaliev R.A. *Konspekt flory Dagestana. T. II : Euphorbiaceae – Dipsacaceae* [Synopsis of the flora of

Dagestan. T. II: Euphorbiaceae - Dipsacaceae]. Ed. R.V. Kamelin. Makhachkala, 2009, 248 p.

5. Grossgeim A.A. *Flora Kavkaza* [Flora of the Caucasus]. Moscow; Leningrad, 1952, vol. 5, 454 p.

6. Galushko A.I. *Flora Severnogo Kavkaza. Opredelitel'* [Flora of the North Caucasus. Determinant]. Rostov-on-Don, 1980, vol. 2, p. 280.

7. Litvinskaya S.A., Murtazaliev R.A. *Kavkazskii element vo flore rossiiskogo Kavkaza: geografiya, sozologiya, ekologiya* [Caucasian element in the flora of the Russian Caucasus: geography, zoology, ecology]. Krasnodar, 2009, 439 p.

8. Zubairova Sh.M., Anatov D.M. *Izmenchivost' morfologicheskikh priznakov v tsenopopulyatsiyakh Hedysarum daghestanicum* Rupr. ex Boiss [Variability of morphological traits in *Hedysarum daghestanicum* Rupr. ex Boiss populations]. *Izv. Samarskogo nauch. tsentra RAN.* 2012, vol. 14, no. 1(7), pp. 1735–1737.

9. *Krasnaya kniga RF (Rasteniya)* [The Red Book of the Russian Federation (Plants)]. Comp. R.V. Kamelin et al. Moscow, 2008, 850 p.

10. *Krasnaya kniga Respubliki Dagestan. Ch. 1. : Rasteniya* [Red Data Book of the Republic of Dagestan. Part 1: Plants]. Comp. R.A. Murtazaliev, A.A. Teimurov. Makhachkala, 2009, 552 p.

11. Vechernina N.A. *Metody biotekhnologii v seleksii, razmnozhenii i sokhranении genofonda rastenii* [The methods of biotechnology in selection, breeding and conservation of the gene pool of plants]. Barnaul, 2004, 265 p.

12. Novikova T.I., Nabieva A.Yu., Poluboyarova T.V. Sokhraneniye redkikh rastenii v kollektzii in vitro Tsentral'nogo Sibirskogo botanicheskogo sada [Conservation of rare plants in in vitro collections of the Central Siberian Botanical Garden]. *Vestn. VOGiS.* 2008, vol. 12, no. 4, pp. 564–571.

13. Sivanesan Y., Lim M.Y., Jeong B.R. Micropropagation and greenhouse cultivation of *Scrophularia takesimensis* Nakai, a rare endemic medicinal plant. *Pak. J. Bot.* 2012, vol. 44, no. 5, pp. 1657–1662.

14. Akin B., Kocacaliskan I., Guleryuz G. Micropropagation of *Erodium sibthorpiatum* subsp. *sibthorpiatum*, an endemic threatened species of Uludag Mountain (Bursa-Turkey). *Turkish J. of Botany.* 2014, no. 38, pp. 148–155.

15. Kalinin F.L., Sarnatskaya V.V., Polishchuk V.E. *Metody kul'tury izolirovannykh tkanei v fiziologii i biokhimii rastenii* [Methods of isolated tissues culture in plant physiology and biochemistry]. Kyiv, 1980, 489 p.

УДК 663.262:663.223.1 (470.67)

DOI 10.18522/0321-3005-2016-45-49

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НОВОГО ШТАММА ДРОЖЖЕЙ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* Y-3980

© 2016 г. С.Ц. Котенко, Э.А. Исламмагомедова, Э.А. Халилова, А.А. Абакарова

BIOTECHNOLOGICAL PROPERTIES OF NEW STRAIN OF YEAST *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* Y-3980

S.Ts. Kotenko, E.A. Islammagomedova, E.A. Khalilova, A.A. Abakarova

Котенко Светлана Цалистиновна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория биохимии и биотехнологии, Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского научного центра РАН, ул. М. Гаджиева, 45, г. Махачкала, 367000.

Svetlana Ts. Kotenko – Candidate of Biology, Leading Researcher, Laboratory of Biochemistry and Biotechnology, Caspian Institute of Biological Resources, Dagestan Scientific Centre, Russian Academy of Science, M. Gadzhiev St., 45, Makhachkala, 367000, Russia.

Исламмагомедова Эльвира Ахмедовна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория биохимии и биотехнологии, Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского научного центра РАН, ул. М. Гаджиева, 45, г. Махачкала, 367000, e-mail: islammagomedova@mail.ru

Elvira A. Islammagomedova – Candidate of Biology, Senior Researcher, Laboratory of Biochemistry and Biotechnology, Caspian Institute of Biological Resources, Dagestan Scientific Centre, Russian Academy of Science, M. Gadzhiev St., 45, Makhachkala, 367000, Russia, e-mail: islammagomedova@mail.ru

Халилова Эсланда Абдурахмановна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория биохимии и биотехнологии, Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского научного центра РАН, ул. М. Гаджиева, 45, г. Махачкала, 367000.

Eslanda A. Khalilova – Candidate of Biology, Senior Researcher, Laboratory of Biochemistry and Biotechnology, Caspian Institute of Biological Resources, Dagestan Scientific Centre, Russian Academy of Science, M. Gadzhiev St., 45, Makhachkala, 367000, Russia.

Абакарова Аида Алевдиновна – инженер, лаборатория биохимии и биотехнологии, Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского научного центра РАН, ул. М. Гаджиева, 45, г. Махачкала, 367000.

Aida A. Abakarova – Engineer, Laboratory of Biochemistry and Biotechnology, Caspian Institute of Biological Resources, Dagestan Scientific Centre, Russian Academy of Science, M. Gadzhiev St., 45, Makhachkala, 367000, Russia.

Исследованы биотехнологические свойства, активность ферментов углеводного и азотистого обмена, минеральный состав нового штамма *S. cerevisiae* Y-3980 для производства игристых вин. Обнаружено, что оптимальное содержание макро- и микроэлементов, определяющих устойчивость к стрессовым воздействиям внешних факторов при вторичном брожении, повышенная активность β -фруктофуранозидазы, протеиназы, пируватдекарбоксилазы и алкогольдегидрогеназы оказали влияние на физиологическую и бродительную активность дрожжей. Шампанское, полученное с использованием штамма *S. cerevisiae* Y-3980, отличается длительной игрой, ароматом и вкусом.

Ключевые слова: дрожжи, биотехнологические свойства, минеральный состав, ферментативная активность, игристое вино.

The biotechnological properties, activity of enzymes of carbohydrate and nitrogenous metabolism, mineral composition of new strain *S. cerevisiae* Y-3980 for the production of sparkling wines are researched. Found that the optimal content of macro- and microelements, determining resistance to stressful influences of external factors in the secondary fermentation, and higher activity of β -fructofuranosidase, proteinase, pyruvate decarboxylase, alcohol dehydrogenase influenced by physiological and fermenting activity of yeast. Champagne produced using a strain of *S. cerevisiae* Y-3980, different the long game, aroma and taste.

Keywords: yeast, biotechnological properties, mineral composition, enzymatic activity, sparkling wine.

Использование современных биотехнологий в производстве игристых вин позволяет получить качественное вино с улучшением вкуса, сокращением затрат и времени изготовления. Накоплен большой мировой опыт в этой области виноделия: ведутся фундаментальные исследования, предложены инте-

ресные технологические решения [1]. На формирование качества игристых вин оказывают влияние многие факторы, в том числе физиолого-биохимические свойства используемых дрожжей [2]. Известно, что различные штаммы в зависимости от условий культивирования обладают отличительной

способностью к регулированию биохимических процессов [3], способностью в условиях вторичной ферментации тиражной смеси адаптироваться к этанолу, кислотности, давлению, температуре [4]. Авторами статьи методом производственной селекции выделен штамм *Saccharomyces cerevisiae* Y-3980, предназначенный для вторичного сбраживания тиражной смеси под давлением [5]. В настоящее время актуально исследование в дрожжах концентрации минеральных веществ, в том числе тяжелых металлов, для выявления роли штамма в сложении качественных особенностей игристых вин [6]. Потребность дрожжей в микроэлементах в количественном отношении невелика, однако их воздействие на физиологические процессы огромно, так как даже в незначительных концентрациях они являются существенными компонентами витаминов и ферментативных систем, участвующих в регуляции процессов метаболизма клетки. Кроме того, ионы металлов могут воздействовать на стабильность и динамику клеточных мембран, что влияет на проницаемость клеток, а также выступают в качестве модуляторов адаптации дрожжей к физиологическому стрессу [7]. В основе технологии получения игристых вин лежат сложные микробиологические и биохимические процессы, в которых ферментам определена важная роль [8]. Представляет интерес изучение активности ферментов, участвующих в углеводном и азотистом обмене, занимающих особую роль в реакциях клетки на различные стрессовые состояния и определяющих характер биохимической трансформации составных веществ виноматериалов при шампанизации.

Цель данной работы – исследование минерального состава, ферментативной активности винного штамма *Saccharomyces cerevisiae* Y-3980 и их влияния на качество игристого вина.

В работе использованы штамм *Saccharomyces cerevisiae* Y-3980 [5], выделенный из шампанизируемого вина на ОАО «Дербентский завод игристых вин» (находящийся в коллекциях лаборатории биохимии и биотехнологии Прикаспийского института биологических ресурсов Дагестанского научного центра Российской академии наук и Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов Федерального государственного унитарного предприятия «Государственный научно-исследовательский институт генетики»), и промышленный штамм *Saccharomyces cerevisiae* Litto-Levure США, используемый в качестве контроля. Видовую идентификацию штамма Y-3980 проводили на основе анализа нуклеотидных последовательностей ITS1-5.8S-ITS2 региона рДНК по стандартной методике [9]. Секвенирование амплифицированного фрагмента ДНК проводили в компании «Синтол» (Мо-

сква). Видовую идентификацию осуществляли сравнением полученных нуклеотидных последовательностей с данными, размещенными в генбанке NCBI (ncbi.nlm.nih.gov) и базе данных CBS (cbs.knaw.nl) [10]. Дрожжи культивировали в тиражной среде из следующих виноматериалов, %: Пино – 40, Рислинг – 20, Алиготе – 20, Шардоне – 20. Бродильная смесь содержала 2,5 % углеводов; 11,2 – спирта; 0,3 г/дм³ фенольных веществ; 17,8 г/дм³ редуктонов, а также имела 9,1 г/дм³ титруемой и 0,17 – летучей кислотности. Посевной материал составлял 3 % от объема среды. Вторичное сбраживание виноматериалов проводилось периодическим способом в акратофоре при 9÷10 °С и давлении 0,4÷0,5 МПа; рН 3,3÷3,5 в течение 20 дней.

Исследование макро- и микроэлементного состава дрожжей осуществляли методом атомно-абсорбционной спектроскопии [11]. Активность β-фруктофуранозидазы (ЕС 3.2.1.26) определяли поляриметрическим модифицированным методом; пируватдекарбоксилазы (ЕС 1.2.4.1) – манометрическим; алкогольдегидрогеназы (ЕС 1.1.1.1) – спектрофотометрическим; суммарной протеиназы (ЕС 3.4.21.63) – модифицированным методом Ансона [12]. Химические показатели игристых вин (титруемая кислотность, фенольные вещества, содержание сернистой кислоты, азотистых веществ, редуктонов) изучали с использованием общепринятых методов [13].

В результате исследования качественного состава биомассы дрожжей, используемых для производства игристого вина, в обоих вариантах выявлены идентичные минеральные вещества (табл. 1).

Таблица 1

Минеральный состав винных штаммов дрожжей, мг/кг (в пересчете на абсолютно сухое вещество)
/ The mineral composition of wine yeast strains, mg/kg (calculated on dry substance)

Элемент	Штаммы	
	<i>S. cerevisiae</i> Y-3980 (опыт)	<i>S. cerevisiae</i> Litto – Levure (контроль)
Натрий	251,14±14,08	158,86±12,64
Калий	6929,71±97,86	7622,26±99,43
Кальций	20,40±2,08	10,91±1,86
Магний	258,57±20,88	325,42±28,97
Литий	0,34±0,03	0,14±0,01
Железо	2,06±0,15	1,77±0,10
Кадмий	0,14±0,01	0,28±0,02
Цинк	4,46±0,42	6,09±0,59
Медь	5,71±0,50	8,86±0,79
Свинец	0,48±0,05	0,20±0,02
Никель	2,03±0,18	2,51±0,22
Стронций	6,00±0,53	3,71±0,39
Хром	0,17±0,02	0,89±0,08
В сумме	7481,21±136,8	8141,90±145,12

Количественное изучение макро- и микроэлементного состава биомассы показало, что их суммарное содержание в дрожжах *S. cerevisiae* Y-3980 (опыт) было ниже данного показателя в *S. cerevisiae* Litto-Levure CHA (контроль). Общее количество макроэлементов в опытном варианте в пересчете на абсолютно сухое вещество меньше на 8,1 % по сравнению с контролем. В обоих вариантах в количественном отношении преобладали ионы калия, играющие важную роль в окислительном фосфорилировании, биосинтезе белков и липидном обмене дрожжевых клеток; в биомассе их концентрация составляла 92,6: 93,6 % от общей суммы (опыт: контроль). Ионы калия оказывают влияние на качество вина, в составе солей органических кислот обеспечивая его бактерицидные свойства. В опытной биомассе обнаружено повышенное содержание таких макроэлементов, как кальций (в 1,9) и натрий (в 1,6 раза), стимулирующих рост и размножение клеток, улучшающих бродильную активность дрожжей, что оказывает влияние на ход технологического процесса и качество вина. Кроме того, ионы кальция играют ключевую роль в процессе флокуляции [7]. Установлено, что общее содержание микроэлементов в опытной биомассе было ниже на 12,5 % по сравнению с контролем при повышенной концентрации железа (в 1,2), стронция (в 1,6), лития (в 2,4) и свинца (в 2,4 раза). Потребность клеток в железе очень высока, так как оно способствует усилению процесса бродильной активности дрожжей и влияет на свойства игристого вина. Известно, что дрожжи, в отличие от многих живых организмов, могут поглощать соединения свинца в большом количестве без всякого угнетения обмена веществ; литий и природный стронций в ничтожных количествах также необходимы микроорганизмам и являются их частью [14, 15]. В контрольном варианте биомассы обнаружено повышенное содержание таких тяжелых металлов, как цинк (в 1,4 раза), медь (в 1,5), никель (в 1,2), кадмий (в 2,0), хром (в 5,2). Ионы цинка и меди активируют или входят в состав отдельных ферментов; ионы никеля в определенном количестве положительно влияют на ряд металлоферментных комплексов; физиологическая роль кадмия в клетке заключается в связывании и транспортировке тяжелых металлов совместно с определенными низкомолекулярными белками; хрома – в процессе усвоения аминокислот. В повышенных концентрациях данные элементы оказывают токсическое действие на дрожжи, но, несмотря на преимущество опытного образца, в обоих вариантах жизнедеятельность дрожжей не угнеталась [10]. Обращает на себя

внимание большее накопление минеральных веществ в клетках контрольного варианта по сравнению со штаммом *S. cerevisiae* Y-3980. По-видимому, это явление можно объяснить различной сбалансированностью метаболических процессов в клетках исследуемых дрожжей. На формирование органолептических свойств шампанского минеральные вещества оказывают как положительное, так и отрицательное влияние. Так, избыток ионов тяжелых металлов придает вину посторонний неприятный привкус [15]. Установлено, что в исследуемых нами вариантах шампанского концентрации макро- и микроэлементов, выполняющих важнейшие функции в организме человека, были во много раз меньше их токсических доз и практически не отразились на вкусе вина.

В процессе брожения в дрожжах Y-3980 активируются β-фруктофуранозидаза (на 26,2 %), имеющая большое значение в инверсии сахарозы и улучшении органолептических качеств игристых вин, и пируватдекарбоксилаза (на 13,1 % выше по сравнению с контролем). Благодаря её действию образуется значительная часть углекислого газа. В биомассе штамма *S. cerevisiae* Y-3980 активность алкогольдегидрогеназы, важнейшего фермента спиртового брожения, превышает аналогичный показатель в контроле в 1,40 раза (рис. 1).

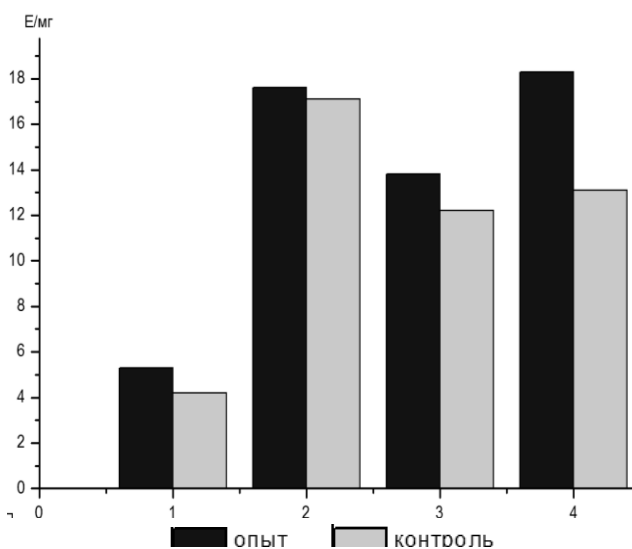


Рис. 1. Активность ферментов в дрожжах *S. cerevisiae* Y-3980 (опыт) и *S. cerevisiae* Litto-Levure CHA (контроль): 1 – β-фруктофуранозидаза; 2 – суммарная протеиназа; 3 – пируватдекарбоксилаза; 4 – алкогольдегидрогеназа / Fig. 1. The activity of enzymes in the yeast *S. cerevisiae* Y-3980 (experience) and *S. cerevisiae* Litto-Levure CHA (control): 1 - β-fructofuranosidase; 2 - total proteinase; 3 - pyruvate decarboxylase; 4 - alcohol dehydrogenase

Оптимальное содержание минеральных веществ, повышенная ферментативная активность *S. cerevisiae* Y-3980 повлияли на формирование биотехнологических свойств игристого вина при вторичном брожении. Установлено, что опытный образец вина, полученного с использованием *S. cerevisiae* Y-3980, несколько отличался от контроля по органолептическим показателям и химическому составу (табл. 2). В опытном варианте обнаружено снижение содержания сернистой кислоты, отмечено более высокое содержание общего и аминного азота по сравнению с тиражной смесью, что отразилось на формировании вкусовых качеств вина. Обнаруженные в обоих образцах концентрации титруемых кислот, фенольных веществ и редуктонов, усиливающих восстанавливающую способность вина, среднее мелкодисперсное пенообразование и длительная игра отражали хорошее качество игристых вин.

Таблица 2

Химические показатели шампанских вин
 / Chemical indicators of sparkling wines

Показатель	Тиражная смесь	Шампанское вино	
		<i>S. cerevisiae</i> Y-3980 (опыт)	<i>S. cerevisiae</i> Litto-Levure (контроль)
Титруемая кислотность, г/дм ³	6,50±0,27	6,80±0,38	7,70±0,44
Фенольные вещества, г/дм ³	0,22±0,01	0,18±0,01	0,20±0,01
Сернистая кислота общая, мг/дм ³	135,20±4,00	121,3±3,55	129,00±3,89
Содержание азотистых веществ в пересчете на азот: общий, мг/дм ³	208,00±7,01	270,00±9,66	250,00±8,41
Редуктоны, мг/дм ³	13,80±0,70	16,70±0,79	15,50±0,75

Ранее установлено, что содержание свободных аминокислот, способствующих формированию вкуса и аромата игристых вин, сохранению связанных форм углекислоты, улучшению игристых и пенистых свойств, в опытном варианте вина составило 543,4 г/дм³, что на 33,8 % превышает аналогичный показатель в контроле [10]. В вине, полученном с использованием штамма *S. cerevisiae* Y-3980, почти в 2 раза повышена концентрация обладающих антиоксидантными свойствами незаменимых аминокислот, наличие которых необходимо для стабильного физиологического состояния дрожжевых клеток в экстремальных условиях.

Большую роль в качестве предшественников ряда биологически активных соединений, ответственных за травяной аромат игристых вин, играют полиненасыщенные жирные кислоты; их накопление может оказывать влияние на игристые и пенистые свойства вин. Суммарное количество ненасыщенных жирных кислот – миристолеиновой (14:1ω-9), маргаринолеиновой (17:1), линоэладиковой (18:2), линолевой (18:2ω-6), нервоновой (24:1ω-9) – на 40,9 % выше в опытном варианте. Известно, что количество летучих примесей, составляющих комплекс ароматических компонентов, формирует характерные сенсорные свойства конечного продукта брожения. При использовании штамма *S. cerevisiae* Y-3980 суммарное количество высших спиртов на 24 % больше по сравнению с контролем, в том числе β-фенилэтанола с ароматом розы (в 1,4) и пропанола (в 1,6 раз). Содержание сложных эфиров этиллактата, гераниолацетата, диэтилмалата, улучшающих вкус, аромат и формирование в букете вина подсолнечных тонов, в опытном образце выше на 46,7, 50,0 и 20,7 % соответственно [10]. Новый штамм синтезирует почти вдвое больше контрольного терпеновые соединения, такие как линалоол, гераниол, цис-фарнезол и транс-фарнезол (рис. 2), придающие аромату цитронные тона и оттенки аромата розы, характерные для лучших образцов игристых вин.

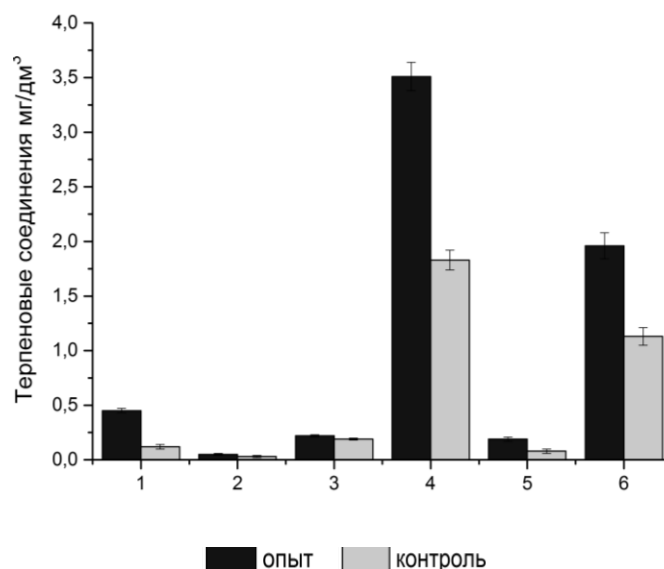


Рис. 2. Содержание терпеновых соединений в шампанских винах, мг/дм³: 1 – линалоол; 2 – окись линалоола-1; 3 – окись линалоола-2; 4 – гераниол, 5 – транс-фарнезол; 6 – цис-фарнезол / Fig. 2. The content of terpene compounds in sparkling wines, mg/dm³: 1 - linalool; 2 - linalool oxide 1; 3 - linalool oxide 2; 4 – geraniol; 5 - trans-farnesol; 6 - cis-farnesol

Таким образом, содержащиеся в клетках *S. cerevisiae* Y-3980 макро- и микроэлементы, ферменты углеводного и азотистого обмена оказали влияние на физиологическую и бродильную активность, устойчивость дрожжей к стрессовым воздействиям в условиях вторичной ферментации. Игристое вино, полученное с использованием нового винного штамма, отличалось тонким ароматом, гармоничным вкусом, длительной игрой, средним мелкодисперсным пенообразованием.

Авторы выражают благодарность генеральному директору ОАО «Дербентский завод игристых вин» М.М. Садулаеву и заместителю генерального директора Ю.Л. Пальян за помощь в проведении селекционных работ и полупроизводственных испытаний винного штамма *S. cerevisiae* Y-3980.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы Президиума РАН «Биологическое разнообразие природных систем. Биологические ресурсы России: оценка состояния и фундаментальные основы мониторинга».

Литература

1. Torresi S., Frangipane M.T., Anelli G. Biotechnologies in sparkling wine production, Interesting approaches for quality improvement: A review // *Food Chemistry*. 2011. № 129. P. 1232–1241.
2. Steensels J., Snoek T., Meersman E., Picca N.M., Voordeckers K., Verstrepen K.J. Improving industrial yeast strains exploiting natural and artificial diversity // *Microbiology Reviews*. 2014. № 38. P. 947–995.
3. Aliverdieva D.A., Mamaev D.V., Bondarenko D.I. Plasmalemma dicarboxylate transporter of *Saccharomyces cerevisiae* is involved in citrate and succinate influx and is modulated by pH and cations // *Biochemistry (Moscow) Supplement. Series A: Membrane and Cell Biology*. 2008. Vol. 2, № 4. P. 354–364.
4. Borrull A., Lopez-Martinez G., Miro-Abella E., Salvado Z., Poblet M., Cordero-Otero R., Rozes N. New insights into the physiological state of *Saccharomyces cerevisiae* during ethanol acclimation for producing sparkling wines // *Microbiology*. 2016. № 5. P. 20–29.
5. Пат. 2526493 RU C12N 1/16, C12G 1/06, C12R 1/865. Штамм дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* для производства шампанского / С.Ц. Котенко, М.М. Садулаев, Ю.Л. Пальян, Э.А. Халилова, Э.А. Исламмагомедова, Д.А. Аливердиева. 20.08.2014.
6. Viviers M., Smith M., Wilkes E., Smith P., Johnson D. The role of trace metals in wine 'reduction' // *Wine & Viticulture J*. 2014. № 29(1). P. 38–40.

7. Walker G. Metals in yeast fermentation processes // *Advances in Applied Microbiology*. 2004. № 54. P. 197–229.

8. Ugliano M. Enzymes in winemaking // *Wine chemistry and biochemistry*. N.Y., 2009. P. 103–126.

9. Качалкин А.В. Новые данные о распространении некоторых психрофильных дрожжевых грибов в Московской области // *Микробиология*. 2010. Т. 79, № 6. С. 843–847.

10. Котенко С.Ц., Халилова Э.А., Исламмагомедова Э.А., Аливердиева Д.А. Физиолого-биохимические особенности винного штамма *Saccharomyces cerevisiae* Y-3980 // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 7. С. 255–259.

11. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. М., 1984. С. 21–229.

12. Практикум по биохимии / под ред. С.Е. Северина, Г.А. Соловьевой. М., 1989. 509 с.

13. Методы теххимического контроля в виноделии : учеб.-метод. пособ. / под ред. В.Г. Гержиковой. Симферополь, 2002. 260 с.

14. Volpe M.G., Cara F., Volpe F., Mattia A., Serino V. Heavy metal uptake in the enological food chain // *Food Chemistry*. 2009. № 117(3). P. 553–560.

15. Galani-Nikolakaki S., Kallithrakas-Kontos N., Katsanos A.A. Trace element analysis of Cretan wines and wine Products // *The Science of the Total Environment*. 2002. № 285. P. 155–163.

References

1. Torresi S., Frangipane M.T., Anelli G. Biotechnologies in sparkling wine production, Interesting approaches for quality improvement: A review. *Food Chemistry*. 2011, no. 129, pp. 1232-1241.
2. Steensels J., Snoek T., Meersman E., Picca N.M., Voordeckers K., Verstrepen K.J. Improving industrial yeast strains exploiting natural and artificial diversity. *Microbiology Reviews*. 2014, no. 38, pp. 947-995.
3. Aliverdieva D.A., Mamaev D.V., Bondarenko D.I. Plasmalemma dicarboxylate transporter of *Saccharomyces cerevisiae* is involved in citrate and succinate influx and is modulated by pH and cations. *Biochemistry (Moscow) Supplement. Series A: Membrane and Cell Biology*. 2008, vol. 2, no. 4, pp. 354-364.
4. Borrull A., Lopez-Martinez G., Miro-Abella E., Salvado Z., Poblet M., Cordero-Otero R., Rozes N. New insights into the physiological state of *Saccharomyces cerevisiae* during ethanol acclimation for producing sparkling wines. *Microbiology*. 2016, no. 5, pp. 20-29.
5. Kotenko S.Ts., Sadulaev M.M., Pal'yan Yu.L., Khalilova E.A., Islammagomedova E.A., Aliverdieva D.A. *Shtamm drozhzhei Saccharomyces cerevisiae dlya proizvodstva shampanskogo* [The strain of the *Saccharomyces cerevisiae* yeast for the production of champagne].

Certificate, no. 2526493 RU C12N 1/16, C12G 1/06, C12R 1/865, 20.08.2014.

6. Viviers M., Smith M., Wilkes E., Smith P., Johnson D. The role of trace metals in wine 'reduction'. *Wine & Viticulture J.* 2014, no. 29 (1), pp. 38-40.

7. Walker G. Metals in yeast fermentation processes. *Advances in Applied Microbiology.* 2004, no. 54, pp. 197-229.

8. Ugliano M. Enzymes in winemaking. *Wine chemistry and biochemistry.* New York, 2009, pp. 103-126.

9. Kachalkin A.V. Novye dannye o rasprostraneniі nekotorykh psikhrofil'nykh drozhzhevykh gribov v Moskovskoi oblasti [New data on the distribution of some psychrophilic yeasts in the Moscow Region]. *Mikrobiologiya.* 2010, vol. 79, no. 6, pp. 843-847.

10. Kotenko S.Ts., Khalilova E.A., Islammagomedova E.A., Aliverdieva D.A. Fiziologo-biokhimičeskie osobennosti vinnogo shtamma *Saccharomyces cerevisiae* Y-3980 [Physiological and biochemical characteristics of

the wine strain *Saccharomyces cerevisiae* Y-3980]. *Fundamental'nye issledovaniya.* 2015, no. 7, pp. 255-259.

11. Lur'e Yu.Yu. *Analitičeskaya khimiya promyshlennykh stochnykh vod* [Analytical chemistry of industrial waste water]. Moscow, 1984, pp. 21-229.

12. *Praktikum po biokhīmii* [Workshop on biochemistry]. Ed. S.E. Severin, G.A. Solovieva. Moscow, 1989, 509 p.

13. *Metody tekhnokhimičeskogo kontrolya v vinodelii* [Methods of technochemical control in winemaking]. Teaching manual. Ed. V.G. Gerzhikova. Simferopol, 2002, 260 p.

14. Volpe M.G., Cara F., Volpe F., Mattia A., Serino V. Heavy metal uptake in the enological food chain. *Food Chemistry.* 2009, no. 117(3), pp. 553-560.

15. Galani-Nikolakaki S., Kallithrakas-Kontos N., Katsanos A.A. Trace element analysis of Cretan wines and wine Products. *The Science of the Total Environment.* 2002, no. 285, pp. 155-163.

Поступила в редакцию / Received

16 июня 2016 г. / June 16, 2016

УДК 577.4(23.085) 571.52

DOI 10.18522/0321-3005-2016-51-56

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ФИТОМАССЫ ВЫСОКОГОРНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ТУВЫ В СВЯЗИ С ОСОБЕННОСТЯМИ РЕЛЬЕФА

© 2016 г. Ч.Н. Самбыла

CHANGE OF STRUCTURE OF PHYTOMASS OF MOUNTAIN VEGETATION OF TUVA DUE TO THE FEATURES OF THE RELIEF

Ch.N. Sambyla

Самбыла Чойган Николаевна – кандидат биологических наук, доцент, Тувинский государственный университет, ул. Ленина, 36, г. Кызыл, Республика Тува, 667007; старший научный сотрудник, Убсунурский международный центр биосферных исследований Республики Тыва и СО РАН, ул. Интернациональная, 117а, г. Кызыл, Республика Тува, 667007, e-mail: Choigansam@mail.ru

Choigan N. Sambyla – Candidate of Biology, Associate Professor, Tuvan State University, Lenin St., 36, Kyzyl, Republic Tuva, 667007, Russia; Senior Researcher, International Uvs-Nuur Centre for Biosphere Research of the Republic Tuva and SB RAS, Internatsionalnaya St., 117a, Kyzyl, Republic Tuva, 667007, Russia, e-mail: Choigansam@mail.ru

Исследования проводили в июле-августе 2002–2013 гг. на шестнадцати полигонах, расположенных в высокогорном поясе семи крупных горных систем Тувы, учет наземной фитомассы (НФМ) – методом укосов с площадки размером 0,25 м², в пяти- и десятикратной повторности. Для изучения подземной фитомассы (ПФМ) использован метод монолитов. В результате анализа автор впервые отмечает, что общие запасы фитомассы постепенно увеличиваются от вершин гор и западных склонов (3000 г/м²) к северным (5500 г/м² и выше). В НФМ наибольшие запасы кустарников, осок и мортмассы формируются именно на восточных склонах. В распределении запасов ПФМ растительных сообществ видно, что значительное количество подземных органов растений (ПОР) характерно для северных склонов (от 3800 до 4500 г/м²); наименьшее – западных, а также вершин гор (не более 2400 г/м²). В наземной биомассе определено, что с крутизны 25–30° наблюдается увеличение массы кустарников (2000 г/м²) и осок (40 г/м²); снижение массы кустарничков ($r = -0,1$, $p = 0,0$) и лишайников ($r = -0,2$, $p = 0,0$). Запасы ПОР увеличиваются до 5000–6000 г/м², начиная с крутизны 15°.

Ключевые слова: структура фитомассы, растительные сообщества, высокогорья, экспозиция склонов, крутизна склонов, Тува, Россия.

Investigations were carried out in July-August 2002-2013 on sixteen grounds located in a mountain belt of seven large mountain systems of Tuva. The accounting of aboveground phytomass was carried out by method of hay crops from a platform of 0.25 sq.m in size, in five - and tenfold frequency. For studying of underground phytomass the method of monoliths was used. As a result of analysis, the author first points out that the total reserves of phytomass gradually increase from the tops of the mountains and from the western slopes (3000 g/m²) to the north (5500 g/m² and higher). The largest reserves of shrubs, sedges and mortmass are formed just on the eastern slopes, which is apparently due to a more favorable hydrothermal conditions. The largest reserves were found in the terranean phytomass. According to the reserves distribution of subterranean phytomass of plant communities it is apparent that a significant amount of subterranean plant organs is characteristic of the northern slopes (from 3800 to 4500 g/m²), on the other hand, the smallest - western slopes and tops of the mountains (up to 2400 g/m²). It is determined that there is 25-30° steep increase in the mass of shrubs (2000 g/m²) and sedges (40 g/m²) in terranean biomass, at the same time, the reduction in mass of low shrubs ($r = -0.1$, $p = 0.0$) and lichens ($r = -0.2$, $p = 0.0$). Sources of subterranean organs of plants grow up to 5000-6000 g/m² with a slope 15°.

Keywords: structure of phytomass, plant communities, highlands, slope exposure, degree of the slopes, Tuva, Russia.

Введение

Экспозиция и крутизна склонов являются одними из важных рельефных факторов [1], играющих существенную роль в формировании запасов фитомассы высокогорной растительности путем изменения режима поступления света, температуры, влаги [2–4].

Высокогорья Тувы представлены всеми основными растительными сообществами, характерными для Алтае-Саянской горной области [5]. Их значение определяется в первую очередь исполь-

зованием как кормовой базы животноводства и источника ценных полезных растений. В то же время взаимосвязь между структурой фитомассы растительных сообществ и экспозицией и крутизной склонов практически не исследована. Следовательно, изучение структуры фитомассы растительных сообществ высокогорий Тувы в связи с особенностями рельефа имеет не только особо важное фундаментальное, но и огромное прикладное значение для разработки основ хозяйствования в условиях азиатских высокогорий.

Характеристика района исследований

Территория Тувы (49°45' и 53°46' с.ш. и 88°49' и 98°56' в.д.) расположена в центральной части Азиатского материка, охватывает бассейн верхнего течения Енисея, правых притоков р. Тес-Хем [6]. Общая ее площадь составляет 168,6 тыс. км². Горные системы занимают 82 % ее территории, включают 18 хребтов [7]. Высокогорья Тувы представлены в основном гольцовым типом рельефа [8]. Гидрографическая сеть относится к бассейну Северного Ледовитого океана [9]. Годовое количество осадков может варьировать от 150 до 450 мм в котловинах (рис. 1) и от 500 до 800 – в горах.

В течение всего теплого периода года в Туве господствуют западные и северо-западные ветры. Северо-западные горные цепи Тувы задерживают северо-западные влажные воздушные массы на северных макросклонах. Южные макросклоны гор подвержены влиянию континентального климата Монголии. На наветренных склонах хребтов выпадает до 1000 мм и более осадков в год, на подветренных – 200÷230 мм. В летнее время выпадает наибольшее количество осадков – 60÷65 % [10]. Для высокогорий характерны горнолуговые и горно-тундровые почвы [11].

Особенности рельефа и климата Тувы способствуют формированию высокогорной растительности с общей площадью 3993,0 тыс. га, что составляет 24,2 % территории Тувы [8]. В составе растительного покрова высокогорного пояса ведущее место принадлежит тундрам, представленным кустарничковыми (с доминированием *Betula rotundifolia*, *Rhododendron aureum* и *R. adamsii*, *Salix vestita* и *S. coesia*), кустарничковыми (*Dryas oxyodonta*, *Empetrum nigrum*, *Salix berberifolia*), лишайниковыми (*Cladonia stellaris*, *C. rangiferina* и др., *Alectoria ochroleuca* и *A. nigricans*), травяными (*Kobresia myosuroides*, *Festuca sphagnicola* и *F. altaica*) группами формаций, занимающими 55,2 % территории пояса [12]. Субальпийские и альпийские луга сплошного пояса в Туве не образуют, общая их площадь соответственно составляет 2,7 и 3,6 %. Субальпийские высокотравные чемерицевые (*Aconitum septentrionale*, *Veratrum lobelianum* и др.), низкотравные гераниевые (*Gera-*

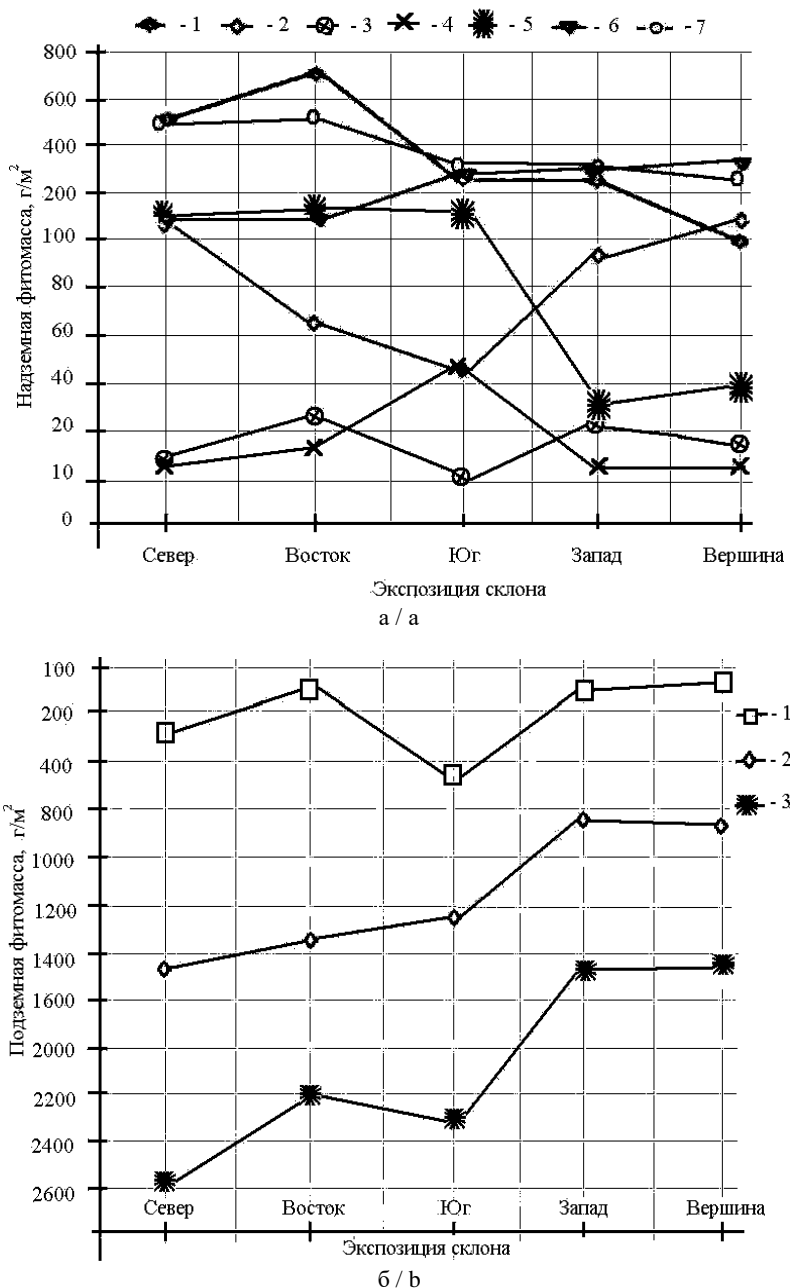


Рис. 1. Структура фитомассы в зависимости от экспозиции склонов. а – НФМ: 1 – кустарники; 2 – кустарнички; 3 – осоки; 4 – злаки; 5 – мхи; 6 – лишайники; 7 – мортмасса; б – ПФМ: 1 – подземные органы растений (ПОР) на глубине 10÷20 см; 2 – мортмасса; 3 – ПОР на глубине 0÷10 см / Fig. 1. The structure of a biomass depending on slope exposure. а - MNF: 1 - shrubs; 2 - low shrubs; 3 - sedge; 4 - cereals; 5 - mosses; 6 - lichens; 7 - mortmass; б - PFM: 1 - underground organs of plants (UOP) at a depth of 10-20 cm; 2 - mortmass; 3 - UOP at a depth of 0-10 cm

nium pseudosibiricum) и копеечниковые (*Hedysarum sangilense* и *H. austrosibiricum*) луга обычно встречаются небольшими участками на местах с дольше сохраняющимся снежным покровом. Альпийские луга (*Bistorta vivipara*, *Dracocephalum grandiflorum*, *Ranunculus altaicus*) типичны в верх-

них частях долин рек по пологим, достаточно увлажненным, но хорошо дренированным склонам. Нижняя граница высокогорного пояса проходит по северным хребтам на высоте 1700÷1800 м н.у.м. (далее м), по южным горным системам и южным макросклонам северных хребтов поднимается до 2000÷2300 м [8].

Материал и методы исследований

Исследования проводили на 16 полигонах, расположенных в высокогорном поясе массива Монгун-Тайга, хребтов Цаган-Шибэту, Западный и Восточный Танну-Ола, Улан-Тайга, Академика Обручева и нагорья Сангилен в период июль-август 2002–2013 гг. Геоботанические описания и учет фитомассы проводили по стандартным методам [13]. Названия растений приведены по [14–17]; сведения о методиках учета фитомассы нами подробно изложены в ранее опубликованной работе [12]. Учетные площадки надземной (НФМ) (выборка N=560) и подземной фитомасс (ПФМ) (N=380) нами объединены в 5 групп: 1-я – север (северо-восток, северо-запад); 2-я – восток; 3-я – юг (юго-запад, юго-восток); 4-я – запад; 5-я – вершина. Анализ НФМ и ПФМ в связи с крутизной и экспозицией склонов проводился на основе корреляционного анализа; расчеты непараметрических коэффициентов корреляции Spearman, непараметрические методы дисперсионного анализа (Kruskal-Wallis ANOVA) Mann-Whitney U Test выполняли в пакете программ Statistica 5.0, где t-критерий Стьюдента использован для определения статистической значимости различий средних величин. Под общей фитомассой (ОФМ) мы понимаем суммарную массу НФМ и ПФМ. Запасы НФМ включают надземную биомассу (НБМ) и мортмассу (НММ); запасы ПФМ – подземную биомассу (ПБМ) и мортмассу (ПММ).

Результаты и их обсуждение

Запасы ОФМ высокогорной растительности района исследования варьируют в широких пределах: 2445,9÷6970,8 г/м², в том числе в кустарниковых тундрах в среднем составляют 6970,8, в кустарничковых, лишайниковых и травяных – 2445,9÷2904,4. Субальпийские и альпийские луга занимают промежуточное положение (3925,9÷4792,4 г/м²).

Запасы ОФМ растительных сообществ на экспозициях склонов различны. Например, ОФМ значительно уменьшается ($p=0,00$) при переходе от северного (более 5500 г/м²), восточного (более 5000 г/м²) и южного (более 4500 г/м²) склонов к западному склону и к вершине гор (не более 3000). Интересно, что запасы НФМ исследованных сообществ варьи-

руют от 900 до 1700 г/м². Дисперсионный анализ зависимости НФМ от экспозиции склонов показал, что сообщества, произрастающие на северных и южных, северных и западных, восточных и южных, восточных и западных склонах, значимо отличаются ($p=0,00\div0,02$), что связано с неравномерным распределением осадков. В структуре НБМ выявлено значимое влияние экспозиции склонов на запасы биомассы кустарниковой, кустарничковой, злаковой, осоковой, моховой, лишайниковой фракций и НММ (рис. 1а).

Несмотря на возрастание континентальности климата к востоку и югу Тувы [10], наибольшие запасы НБМ кустарников, осок и мортмассы отмечаются именно на восточных склонах. Более того, накопление НММ на склонах восточной экспозиции более чем на 500 г/м², вероятно, связано с недостатком тепла и влаги, в условиях которых процесс разложения растительных остатков заторможен. Напротив, запасы НБМ кустарничковой и злаковой фракций малы в сообществах, приуроченных к восточным склонам. Максимальное развитие злаковой фракции наблюдается на южных склонах (до 40÷50 г/м²). Участие кустарничковой фракции значительно в дриадовых, ивковых и шикшевых тундрах, приуроченных к платообразным вершинам гор и склонам северной (110÷120 г/м²), западной (не более 100) экспозиций. Наибольшие запасы НБМ лишайниковой фракции формируются на южных склонах и на вершинах гор (250÷310 г/м²), наименьшие – на северных и восточных склонах гор (140÷160). Напротив, моховая фракция существенную роль в структуре НБМ играет в сообществах, приуроченных к северному, восточному и южному склонам (130÷160 г/м²). Большие запасы ПОР (3800÷4500 г/м²) формируются на северных склонах, что связано с достаточным увлажнением приземного воздуха и благоприятными почвенными условиями. На западных склонах и вершинах гор отмечаются растительные сообщества с наименьшими запасами ПОР (не более 2400 г/м²). Распределение ПОР на южных склонах (без учета данных северных склонов) выше по сравнению с западными склонами и вершинами гор (ПФМ – 3400 г/м²). Масса ПОР на южных склонах в слое почвы глубиной 10÷20 см составляет 400 г/м², что в 2 и более раз больше, чем на остальных склонах. Определение непараметрического коэффициента Спирмена между запасом ОФМ и крутизной склонов позволило выявить тесную их связь ($r = 0,3$, $p = 0,0$), в том числе между запасом НФМ и ПФМ (рис. 2).

Фракции НФМ и ПФМ по степени коррелированности положения площади растительных сообществ относительно крутизны склонов распределяются в группы (таблица).

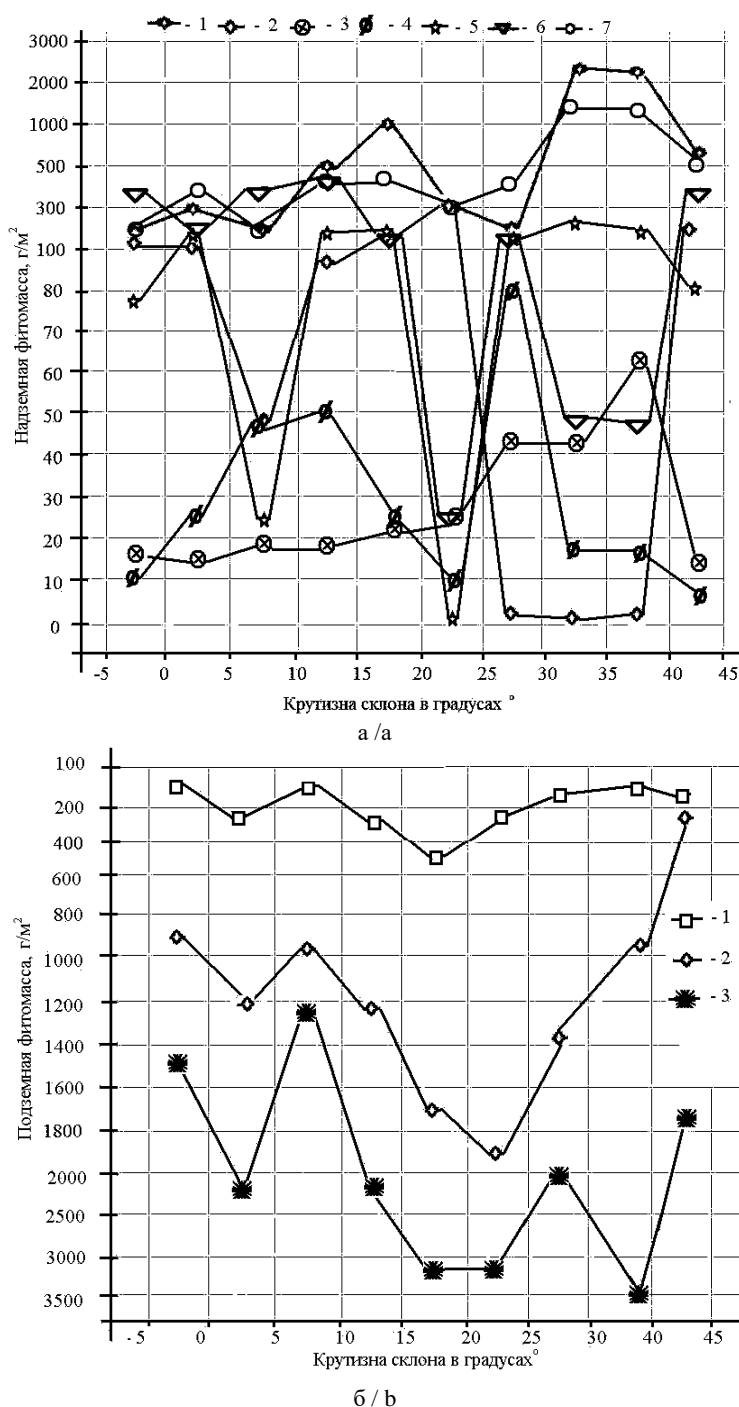


Рис. 2. Зависимость НФМ (а) и ПФМ (б) от крутизны склонов.
 а – НФМ: 1 – кустарники; 2 – кустарнички; 3 – осоки; 4 – разнотравье;
 5 – мхи; 6 – лишайники; 7 – НММ; б – ПФМ: 1 – ПОР на глубине
 10÷20 см; 2 – ПММ; 3 – ПОР на глубине 0÷10 см / Fig. 2. The dependence
 of the PFM (а) and PFM (б) the steepness of the slopes. а - MNF: 1 - shrubs,
 2 - low shrubs, 3 - sedges, 4 - herbs, 5 - mosses, 6 - lichens, 7 - NMM;
 б - PFM: 1 - UOP at a depth of 10 -20 cm, 2 - PMM,
 3 UOP at a depth of 0 -10 cm

К первой группе следует отнести кустарничковую, злаковую и лишайниковую фракции; их запасы НБМ отрицательно коррелируют с крутизной

склонов ($R=-0,20\div(-)0,08$). Лишайниковую фракцию часто образуют виды *Cladonia stellaris*, *C. rangiferina*, *C. amaurocraea*, *C. arbuscula*, *Cetraria islandica*, *Alectoria ochroleuca*, *Flavocetraria cucullata*, *Solorina spongiosa*, *Peltigera venosa*, *Stereocaulon alpinum*, *S. saxatile* и др. Их НБМ относительно крутизны склонов в среднем варьирует от 25,0 до 370,0 г/м² (рис. 2а). НБМ лишайников в тундрах составляет 38,5÷566,5 г/м², на лугах – 0,1÷44,0. НБМ кустарничков (*Arctous alpina*, *Dryas oxycodonta*, *Empetrum nigrum*, *Salix berberifolia*, *S. reticulata*, *S. turczaninowii*, *Vaccinium vitis-idaea* и др.) в среднем варьирует от 0,3 до 300,0 г/м² (рис. 2а). Их НБМ в тундрах – 0,8÷259,1 г/м², на лугах – 1,0÷4,2. НБМ кустарничковой фракции в одноименных тундрах наибольшая (259,1 г/м²), снижается в альпийских лугах (0,2÷16,4 г/м², 0,09÷15,5 %) и практически отсутствует в субальпийских фитоценозах. Исключением являются копеечниковые формации (2,6 г/м², 0,8 %). Связь между НБМ злаковой фракции (*Festuca altaica*, *F. sphagnicola*, *Poa alpina*, *P. altaica*, *Phleum alpinum*, *Helictotrichon hookeri*, *H. altaicum*, *H. mongolicum*, *Hierochloe alpina* и др.) и крутизной склонов не обнаружена. Ко второй группе относятся ПОР в слое 10÷20 см, ПММ и НММ, моховая (*Dicranum scoparium*, *D. spadicium*, *Polytrichum commune*, *Hylocomium splendens* и др.), разнотравная (*Lagotis integrifolia*, *Lloydia serotina*, *Gentiana pseudoaquatatica*, *G. uniflora*, *Papaver canescens* и др.) и осоковая (*Carex aterrima*, *C. ensifolia*, *C. iljinii*, *C. rupestris*, *C. sabinensis*, *C. stenocarpa*, *C. ledeburiana*, *Kobresia filifolia*, *K. myosuroides*, *K. sibirica* и др.) фракции. Их запасы НБМ с крутизной увеличиваются (0÷45°), коэффициент Спирмана (R) не превышает 0,2. Например, массы ПОР в слое 10÷20 см увеличиваются от 120 до 420 г/м² с крутизной ($R=0,12$), а в пределах групп формаций 49,0÷409,9 г/м² (таблица). ПММ и НММ распределяются примерно одинаково относительно крутизны склонов ($R=0,13\div0,14$). От кустарничковых тундр до альпийских лугов эти фракции варьируют 1597,2÷1492,1 и 619,4÷158,3 г/м² соответственно. В третью группу объединены кустарничковая фракция и подземные органы растений в слое 0÷10 см; коэффициент корреляции Спирмана выше 0,2.

Коэффициент корреляции Спирмена (R) между фракциями фитомассы и положением площади растительных сообществ относительно крутизны склонов / Spearman's correlation coefficient (R) between the factions and the position of a biomass plant communities in the area with respect to the steepness of the slopes

Фракция	Группа	R	t (N-2)	p	Тундры				Луга	
					1	2	3	4	5	6
Лишайниковая	1	-0,20	-4,87	0,00	192,0±20,3	83,6±13,3	566,8±31,3	38,5±11,7	0,1±0,1	44,0±18,1
Кустарничковая	1	-0,14	-3,26	0,00	42,5±7,2	259,1±14,7	61,1±8,3	0,8±0,4	1,0±0,7	4,2±2,2
Злаковая	1	-0,08	-1,94	0,05	15,9±2,3	10,4±1,2	17,7±2,6	50,7±8,7	41,3±5,5	48,1±10,5
Моховая	2	0,10	2,30	0,02	217,7±23,2	10,7±1,3	42,9±4,7	76,7±19,1	3,3±1,4	9,2±2,9
ПОР в слое 10–20 см	2	0,12	2,38	0,02	360,4±35,7	117,4±10,8	162,9±27,9	21,0±5,7	409,9±119,4	49,0±11,5
Подземная мортмасса	2	0,13	2,52	0,01	1597,2±71,9	747,7±35,0	617,4±49,9	918,1±70,5	1098,8±73,0	1492,1±211,6
Надземная мортмасса	2	0,14	2,75	0,01	619,4±31,7	141,7±10,8	257,6±23,8	118,5±30,6	538,2±93,0	158,3±31,4
Разнотравье	2	0,15	3,66	0,00	11,4±1,2	8,8±1,0	7,5±0,7	45,8±5,8	249,9±19,8	92,5±8,2
Осоковая	2	0,19	4,62	0,00	18,8±2,2	5,6±0,5	14,8±2,9	51,8±8,3	28,5±6,6	31,0±7,5
Кустарниковая	3	0,23	5,70	0,00	905,0±56,2	16,8±2,9	95,6±22,5	10,4±3,3	0,0±0,0	3,9±1,9
ПОР в слое 0–10 см	3	0,26	5,25	0,00	2990,5±113,1	1381,9±64,3	1060,1±83,9	1110,0±68,4	2421,4±90,7	1993,7±106,5

Примечание. Показатели достоверности: t (N-2) – критерий; p – уровень значимости. Тундры: 1 – кустарниковая; 2 – кустарничковая; 3 – лишайниковая; 4 – травяная. Луга: 5 – субальпийские; 6 – альпийские.

Можно полагать, что с увеличением запасов НБМ кустарников и ПОР в слое 0÷10 см запасы НБМ лишайников и кустарничков снижаются. Кроме того, исследования подтвердили приуроченность фитоценозов, в НФМ которых доминируют кустарнички и лишайники, к пологим склонам, выровненным вершинам и седловинам гор. Интересно, что с крутизны 25÷30° наблюдается значительный подъем НБМ кустарников и осок, за счет которых в тундрах увеличиваются запасы как НФМ и НБМ, так и НММ. Следовательно, кустарниковые тундры характеризуются наибольшими запасами ОФМ, которые в условиях высокогорий Тувы приурочены к восточным и северным склонам крутизной 30–35°.

Таким образом, в Туве запасы ОФМ высокогорной растительности варьируют от 2445,9 до 6970,8 г/м². Их постепенное увеличение прослеживается с вершин гор к северным склонам. Наибольшие запасы НБМ кустарников и осок, а также НММ формируются на восточных склонах. Значительное количество ПОР характерно северным склонам, наименьшее – западным и выровненным вершинам гор. С крутизной склонов прослеживается увеличение запасов НБМ кустарников, ПОР в слоях 0÷20 см, ПММ и НММ, моховой и осоковой фракций, снижение кустарничковой и лишайниковой.

Литература

1. *Онипченко В.Г.* Фитомасса альпийских сообществ Северо-Западного Кавказа // Бюл. Моск. общества испытателей природы, отд. биол. 1990. Т. 95, № 6. С. 52–62.
2. *Isard S.A.* Factor influencing soil moisture and plant community distribution on Niwot Ridge, Front Range, Colorado, USA // Arctic and Alpine Research. 1986. Vol. 18. P. 83–96.
3. *Galen C., Stanton M.L.* Responses of snowbed plant species to changes in growing-season length // Ecology. 1995. Vol. 74. P. 1546–1557.
4. *Zhang Y.P., Ge Z.W., Liu Y.H., Dou J.X., He Y.L., Guo P.* A comparative study on difference of microclimate between south facing and north facing slope of the upper reaches of Mingjiang River in rainy season // J. of Mountain Science. 2000. Vol. 20. P. 680–686.
5. *Седельников В.П.* Высокогорная растительность Алтае-Саянской горной области. Новосибирск, 1988. 223 с.
6. *Зяткова Л.К.* Структурная геоморфология Алтае-Саянской горной области. Новосибирск, 1977. 213 с.
7. *Андрейчик М.Ф.* Современное изменение климата Республики Тыва. Кызыл, 2013. 246 с.
8. *Седельников В.П.* Растительность высокогорий // Растительный покров и естественные кормовые

угодыя Тувинской АССР. Новосибирск, 1985. С. 48–68.

9. Природные условия Тувинской автономной области : тр. Тув. компл. экспед. М., 1957. Вып. 3. 77 с.

10. Филимонов В.П. Агроклиматические особенности Тувинской АССР // Тр. Тув. гос. с-х. опытной станции. Кызыл, 1969. С. 17–35.

11. Носин В.А. Почвы Тувы. М., 1963. 342 с.

12. Самбыла Ч.Н. Лишайники и мхи в запасе наземной фитомассы тундровых сообществ высокогорий Тувы // Изв. Самарского науч. центра РАН. 2014. Т. 16, № 5. С. 86–92.

13. Полевая геоботаника. М.; Л., 1972. Т. 4. 336 с.

14. Определитель лишайников России. СПб., 1996. Вып. 6. 203 с.

15. Определитель лишайников России. СПб., 1998. Вып. 7. 166 с.

16. Ignatov M.C., Afonina O.M. (eds.) Check-list of mosses of the former USSR // *Arctoa*. 1992. Vol. 1, № 1–2. P. 1–85.

17. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб., 1995. 992 с.

References

1. Onipchenko V.G. Fitomassa al'piiskikh soobshchestv Severo-Zapadnogo Kavkaza [Alpine communities biomass of the North-West Caucasus]. *Byul. Mosk. obshchestva ispytatelei prirody, otd. biol.* 1990, vol. 95, no. 6, pp. 52-62.

2. Isard S.A. Factor influencing soil moisture and plant community distribution on Niwot Ridge, Front Range, Colorado, USA. *Arctic and Alpine Research*. 1986, vol. 18, pp. 83-96.

3. Galen C., Stanton M.L. Responses of snowbed plant species to changes in growing-season length. *Ecology*. 1995, vol. 74, pp. 1546-1557.

4. Zhang Y.P., Ge Z.W., Liu Y.H., Dou J.X., He Y.L., Guo P. A comparative study on difference of microclimate between south facing and north facing slope of the upper reaches of Mingjiang River in rainy season. *J. of Mountain Science*. 2000, vol. 20, pp. 680-686.

5. Sedel'nikov V.P. *Vysokogornaya rastitel'nost' Altae-Sayanskoi gornoj oblasti* [The alpine vegetation of the Altai-Sayan mountain area]. Novosibirsk, 1988, 223 p.

6. Zyat'kova L.K. *Strukturnaya geomorfologiya Altae-Sayanskoi gornoj oblasti* [Structural geomorphology of the Altai-Sayan mountain area]. Novosibirsk, 1977, 213 p.

7. Andreichik M.F. *Sovremennoe izmenenie klimata Respubliki Tyva* [The modern Republic of Tyva climate change]. Kyzyl, 2013, 246 p.

8. Sedel'nikov V.P. [The vegetation of the highlands]. *Rastitel'nyi pokrov i estestvennye kormovye ugod'ya Tuvinskoi ASSR* [The vegetation cover and natural grasslands Tuva ASSR]. Novosibirsk, 1985, pp. 48-68.

9. *Prirodnye usloviya Tuvinskoi avtonomnoi oblasti* [The natural conditions of the Tuva autonomous regions]. Tuva complex expedition works. Moscow, 1957, vol. 3, 77 p.

10. Filimonov V.P. *Agroklimaticheskie osobennosti Tuvinskoi ASSR* [Agro-climatic features of the Tuva ASSR]. *Tr. Tuv. gos. s-kh. opytnoi stantsii* [Works of the Tuva State Experimental Station]. Kyzyl, 1969, pp. 17-35.

11. Nosin V.A. *Pochvy Tuvy* [Soils of Tuva]. Moscow, 1963, 342 p.

12. Sambyla Ch.N. *Lishainiki i mkhi v zapase nadzemnoi fitomassy tundrovykh soobshchestv vysokogorii Tuvy* [Lichens and mosses left aboveground biomass of alpine tundra Tuva]. *Izv. Samarskogo nauch. tsentra RAN*. 2014, vol. 16, no. 5, pp. 86-92.

13. *Polevaya geobotanika* [Field geobotany]. Moscow; Leningrad, 1972, vol. 4, 336 p.

14. *Opredelitel' lishainikov Rossii* [The Russia lichen determinant]. Saint Petersburg, 1996, vol. 6, 203 p.

15. *Opredelitel' lishainikov Rossii* [The Russia lichen determinant]. Saint Petersburg, 1998, vol. 7, 166 p.

16. Ignatov M.C., Afonina O.M. (eds.) Check-list of mosses of the former USSR. *Arctoa*. 1992, vol. 1, no. 1-2, pp. 1-85.

17. Cherepanov S.K. *Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv* [Vascular plants of Russia and neighboring countries]. Saint Petersburg, 1995, 992 p.

НАУКИ О ЗЕМЛЕ SCIENCE OF EARTH

УДК 504.455.058:574.52.64 (470.61)

DOI 10.18522/0321-3005-2016-4-57-61

ЭКОТОКСИЧНОСТЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД БАССЕЙНА РЕКИ СЕВЕРСКИЙ ДОНЕЦ (РОСТОВСКАЯ ОБЛАСТЬ) ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАБОРА БИОТЕСТОВ*

© 2016 г. Е.Н. Бакаева, М.Н. Тарадайко

ECOTOXICITY OF SURFACE WATERS OF THE SEVERSKY DONETS RIVER BASIN (ROSTOV REGION) BY BIOASSAYS KIT RESULTS

E.N. Bakaeva, M.N. Taradayko

Бакаева Елена Николаевна – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, гидрохимический отдел, Институт водных проблем РАН, пр. Стачки, 198, г. Ростов-на-Дону, 344090; заведующая филиалом кафедры геоэкологии и прикладной геохимии в Гидрохимическом институте, Институт наук о Земле Южного федерального университета; ведущий научный сотрудник, Гидрохимический институт, пр. Стачки, 198, г. Ростов-на-Дону, 344090, e-mail: rotaria@mail.ru

Elena N. Bakaeva – Doctor of Biology, Leading Researcher, Hydrochemical Department, Institute of Water Problems, RAS, Stachki Ave, 198, Rostov-on-Don, 344090, Russia; Head of the Branch of the Department of Environmental Geoscience and Applied Geochemistry in Hydrochemical Institute, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University; Leading Researcher, Hydrochemical Institute, Stachki Ave, 198, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: rotaria@mail.ru

Тарадайко Марина Николаевна – студентка, кафедра геоэкологии и прикладной геохимии, Институт наук о Земле Южного федерального университета, ул. Зорге, 40, г. Ростов-на-Дону, 344090, e-mail: marusi_2010@mail.ru

Marina N. Taradayko – Student, Department of Environmental Geoscience and Applied Geochemistry, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: marusi_2010@mail.ru

Изучается экотоксичность вод участков малых рек Восточного Донбасса с различной антропогенной нагрузкой в 2014–2015 гг. Использованы четыре тест-объекта из числа автотрофов и гетеротрофов и восемь тест-показателей. Выявлены отличия в токсичности поверхностных вод в оба года исследований. Рассмотрены особенности отклика тест-объектов и предложен набор биотестов для получения объективной оценки токсичности вод.

Ключевые слова: биотесты, токсичность, тест-объекты, автотрофы, гетеротрофы, устья, техногенно изменённые шахтные воды, поверхностные воды, малые реки.

The article is devoted to the ecotoxicity study of water plots of the small rivers of the Eastern Donbass with various anthropogenic load in the years 2014-2015. Used with four bioassay test objects from among the autotrophs and heterotrophs and eight test parameters. Were revealed differences in the toxicity of surface water in both years of research. The features of the response of test objects and is proposed set of bioassays for obtaining an objective assessment of water toxicity.

Keywords: bioassays, toxicity, test objects, autotrophs, heterotrophs, estuary, technogenic modified mine waters, surface waters, small rivers.

Результаты многолетнего мониторинга загрязнения водных объектов Ростовской области свидетельствуют о продолжающейся на них по настоящее время антропогенной и техногенной нагрузке различной степени. Наиболее интенсивное воздействие приходится на малые реки бассейнов Северский Донец и Тузлов, расположенных на территории Восточного Донбасса. Особенность этой тер-

ритории обусловлена различными видами антропогенного воздействия. Основная нагрузка поступает от сосредоточенных здесь важных промышленных центров, в первую очередь угледобывающего, зон орошаемого земледелия и вод, уже подвергшихся антропогенной нагрузке в соседних областях России и содержащих трансграничные загрязнения.

* Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 14-17-00376).

Следствием разнообразных видов нагрузки на водные объекты является возникновение их токсичности. В современных условиях, как в локальном, так и в глобальном масштабе, токсичность представляет собой одну из наиболее опасных характеристик качества поверхностных вод. Наличие токсичности и степень токсического действия поверхностных вод определяют с использованием представителей биоты. Приоритет использования биологических компонентов экосистемы при оценке её состояния прописан в Водной рамочной директиве ЕС 2000/60 (ВРД), принятой в странах европейского сообщества [1]. Наиболее адекватную характеристику токсичности вод получают приёмами биотестирования.

В связи с этим цель работы заключалась в изучении токсичности поверхностных вод бассейна р. Северский Донец методом биотестирования.

Объекты и методы исследований

В качестве предмета исследований выбраны поверхностные водные объекты (малые реки) бассейна р. Северский Донец в пределах Восточного Донбасса на территории Ростовской области. В бассейнах этих рек расположены города: Шахты, Красный Сулин, Новошахтинск, Зверево, Каменск-Шахтинский, Белая Калитва и др. Восточный Донбасс сохраняет статус экологически проблемного региона России на протяжении многих лет. Экологическое неблагополучие здесь является следствием интенсивного техногенного воздействия на природный комплекс предприятий угольной промышленности. Начавшаяся в 90-е гг. реструктуризация, основу которой составляет ликвидация нерентабельных шахт, заметно усилила негативные явления [2]. Наиболее отрицательно это отразилось на состоянии гидросферы региона.

В основу работы положены результаты изучения токсичности вод, полученные в ходе комплексных экспедиционных исследований поверхностных водных объектов бассейна р. Северский Донец на террито-

рии Восточного Донбасса в пределах Ростовской области. Исследования проведены совместно сотрудниками кафедры геоэкологии и прикладной геохимии Института наук о Земле ЮФУ и ФГБУ «Гидрохимический институт» в 2014–2015 гг.

Предметом исследования служила токсичность вод восьми малых рек бассейна р. Северский Донец (рис. 1, табл. 1). Створы отбора проб были сгруппированы по трём основным участкам рек: верховьям, устьям и ниже выхода шахтных вод. Кроме того, выбранные створы отражали различные виды антропогенной нагрузки: отсутствие промышленной нагрузки в верховьях рек, воздействие техногенно изменённых шахтных вод в местах ниже их выхода, хозяйственно-бытовую нагрузку населённых пунктов, устья рек.

Оценку токсичности поверхностных вод проводили с помощью набора из четырёх биотестов, включавших тест-объекты различных трофических уровней и систематической принадлежности: общепринятый ветвистоусый рачок *Daphnia magna* [3], коловратки *Brachionus calyciflorus* [4], зелёные микроводоросли *Scenedesmus obliquus* [3] и биотест по фитотоксичности семян редиса *Raphanus sativus* [5]. Биотесту по фитотоксичности поверхностных вод в отношении высших растений уделяется всё



Рис. 1. Карта-схема пунктов отбора проб поверхностных вод бассейна р. Северский Донец / Fig. 1. Map-scheme of settlements sampling of surface water Severisky Donets River basin

более пристальное внимание. Тест-объектами при этом биологическом анализе являются семена высших растений, как правило, представители сельскохозяйственных культур.

Таблица 1

Перечень створов отбора проб поверхностных вод бассейна р. Северский Донец / The list of cross-sections of surface water sampling Seversky Donets River basin

Река	Номер створа	Расположение створа
Большая Каменка	15.1	Устье
Малая Каменка	16.1	Устье
	17.1	Ниже выхода шахтных вод ш. «Центрально-Восточная» (п. Волченский)
	17.2	Выше выхода шахтных вод ш. «Центрально-Восточная» (южнее п. Волченского)
Лихая	18.1	Устье (ниже х. Богураев)
	19.1	Ниже сброса шахтных вод ш. «1-я Вертикальная» (восточная окраина х. Лихого)
	19.2	Выше сброса шахтных вод ш. № 40 по безымянной балке, впадающей в районе х. Тацин
Калитва	20.1	Устье
	21.1	Ниже места выхода шахтных вод ш. № 4 «Калитва» (севернее х. Погорелова)
	21.2	Выше устья балки Обливинской (х. Рудаков)
Быстрая	22.1	Устье (х. Нижнесеребряковский ниже впадения ручья балки Б. Чеканная)
	23.1	Севернее х. Карпово-Обрывского
Большая Гнилуша	25.1	Устье
Кундрючья	26.1	Устье
	24.2	Ниже места выхода шахтных вод ш. № 62 (х. Прохоровка)
Северский Донец	28.1	Устье
	28.2	Ниже устья р. Кундрючьей (у моста автодороги на Константиновск)

Тест-показателями воздействия вод служили гибель рачков, гибель и плодовитость коловраток, коэффициент прироста микроводорослей и метрические (длина корней и проростков) и биологические (всхожесть, количество проростков) характеристики редиса. Рассчитывали отклонения получаемых значений тест-показателей от контроля. Отклонения со знаком «плюс» свидетельствуют о стимулирующем действии, со знаком «минус» – об угнетающем действии исследуемых вод. Воды оценивали как оказывающие/не оказывающие острое (ОТД), подострое (ПОТД) токсическое действие. В качестве контроля использовали дехлорированную водопроводную воду.

Токсичность вод рек бассейна р. Северский Донец по биотестам с автотрофными тест-объектами

Биотест с микроводорослями *Scenedesmus obliquus* выявил угнетающее действие вод исследуемых створов рек бассейна р. Северский Донец на развитие микроводорослей в 2014 г. Негативный эффект был отмечен в динамике значений коэффициента прироста микроводорослей с первых суток биотестового анализа. Отклонение коэффициента прироста микроводорослей более 55 % со знаком «минус» обнаружено в створах ниже выхода шахтных вод в ряде рек: М. Каменка (–62,2 %) – шахта «Центрально-Восточная» (створ 17.1), Лихая (–65,9 %) – шахта «1-я Вертикальная» (створ 19.1), Калитва (–56,7 %) – шахта № 4 «Калитва» (створ 21.1), Кундрючья (–50,9) (створ 27.1). А также в устьях рек Б. Каменка (–57,3 %) (створ 15.1), Калитва (–66,3 %) (створ 20.1), Быстрая (–51,9 %) (створ 22.1), Б. Гнилуша (–55,7 %) (створ 25.1) и в реке Северский Донец (–62,0 %) ниже впадения ручья балки Свидова (створ 29.1).

Степень токсичности вод в створах ниже выхода шахтных вод была наиболее высока, преобладали пробы с ОТД и ПОТД, несколько ниже – в створах устьев рек (рис. 2).

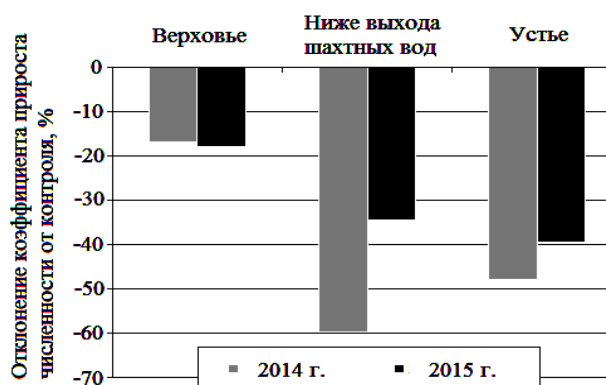


Рис. 2. Токсичность вод участков малых рек бассейна р. Северский Донец по данным биотестирования / Fig. 2. Toxicity of water areas of small rivers in the basin of the Seversky Donets according to bioassay

Это позволяло оценить воды исследуемых участков как оказывающие ОТД, которое было обнаружено в 10 из 19 исследованных в 2014 г. створов.

В 2015 г. выявлено снижение токсичности в напряжённых участках рек – устьях и ниже выхода шахтных вод (рис. 2). Это может быть связано с более прохладным вегетационным периодом, препятствовавшим интенсивному испарению вод малых рек. Воды створов верховьев малых рек в оба года исследований не оказывали токсического действия на развитие микроводорослей.

*Биотест по фитотоксичности с *Raphanus sativus** выявил ОТД в ограниченном числе створов исследуемых рек в 2014 г. Воды оказывали незначительное подавляющее действие на метрические, а не на биологические показатели *Raphanus sativus*. Тем не менее к числу особо токсичных створов отнесены створ 25.1 – устье р. Б. Гнилуша и два створа р. Северский Донец: ниже устья р. Кундрючьей (створ 28.2) и ниже выхода шахтных вод р. Кундрючьей (створ 27.1).

В 2015 г. по показателю всхожести семян редиса на последние сутки эксперимента ОТД не было выявлено ни в одном створе, а имевшиеся отклонения от контроля являлись незначительными и не превышали –25 %.

Наибольшую чувствительность по отношению к токсичности вод поверхностных водотоков бассейна реки Северский Донец проявил биологический показатель редиса – количество ростков на последние сутки эксперимента. ОТД по этому показателю было выявлено в трёх створах: р. Лихая (18.1) – устье, р. Быстрая (23.1) – севернее х. Карпово-Обрывского, а также устье р. Кундрючьей (26.1). Метрические показатели: длина корней и длина стеблей подтвердили токсичность вод в створе устья р. Кундрючьей. Отклонение тест-показателей составило от –75 до –80,3 %. В остальных створах значения отклонений от контроля были значительно ниже.

Токсичность вод рек бассейна р. Северский Донец по биотестам с гетеротрофными тест-объектами

*Биотест с ветвистоусым рачком *Daphnia magna**. Воздействие вод в 2014 г. не оказало токсического действия на дафний. Такой результат оказался неожиданным, поскольку автотрофные тест-объекты обнаружили токсичность вод. Отсутствие токсичности для дафний объясняется тем, что биотестовый анализ на токсичность с рачками проводили на фильтрованной воде. Это связано со спецификой их жизнедеятельности – по способу питания дафнии относятся к фильтраторам. Мутные воды с большим количеством взвеси априори приводят к гибели гидробионтов-фильтраторов, поскольку взвесь механически забивает их фильтровальный аппарат. Для исключения такой необъективной оценки (гибель от механического забивания фильтровального аппарата) при изучении токсичности мутные воды фильтруют для отделения взвешенных частиц.

Снижение токсичности при удалении взвеси из воды и проявление в то же время токсичности на других тест-объектах, относящихся к другим трофическим группам, свидетельствуют о том, что токсичные вещества, вероятно, находятся на взвесах.

В 2015 г. токсичность в биотесте на дафниях выявлена в водах всех трёх исследуемых участков рек. Так, в устьевых участках рек Б. Каменка (створ 15.1), Северский Донец (створ 28.1) отмечена гибель 40 % дафний, в створе 20.1 р. Калитвы – 100%-я гибель рачков. В местах выхода шахтных вод выявлена гибель 80 % дафний. Также отмечена гибель дафний в водах верховьев рек. Превышение значений более 50 % позволяет оценить воды как оказывающие ОТД.

Появление токсичности в водах всех трёх участков малых рек бассейна р. Северский Донец с разной антропогенной нагрузкой позволяет предположить о негативном воздействии фактора, поступившего с сопредельных территорий.

*Биотест с коловраткой *Brachionus calyciflorus**. Воздействие исследуемых вод на оба тест-показателя коловраток было негативным. Гибель коловраток зафиксирована во всех створах, где также отмечено снижение плодовитости. Именно этот показатель оказался наиболее чувствительным. Средние значения отклонений от контроля показателя гибели коловраток на всех участках рек были близки – в пределах 32,8–38,7 %. Средние значения отклонений от контроля показателя плодовитости были наиболее высоки в устьях (–54,6 %), диапазон колебаний был в пределах 45,5–70 %.

Короткий жизненный цикл коловраток позволяет получать несколько поколений в течение 4 сут биотестового эксперимента. Полученные результаты по биотесту с коловратками позволили оценить воды как оказывающие ОТД и ПОТД.

Обобщённые данные о токсичности вод исследованных участков рек по результатам набора биотестов за оба года исследований сведены в табл. 2.

Таблица 2

Изменение количества проб с разным уровнем токсичности на участках малых рек бассейна р. Северский Донец, % от общего количества проб / Changing the number of samples with different levels of toxicity in the small river basin Severky Donets, % of the total number of samples

Участки рек	2014 г.			2015 г.		
	ОТД	ПОТД	Нет ОТД	ОТД	ПОТД	Нет ОТД
Верховье	0	0	24	11	5	6
Ниже выхода шахтных вод	0	12	17	25	5	0
Устье	0	18	29	30	6	12
Общее кол-во	0	30	70	66	16	18

Как видим, в 2015 г. поверхностные воды были более токсичны и диапазон уровней токсичности был более широк (табл. 2). Отмечено 66 % проб воды, оказывающих ОТД. В оба года исследований наибольшую долю от общего числа проб составляли пробы с высоким токсическим действием, которое сохранялось в устьевых участках и в

створах ниже выхода шахтных вод.

Анализ результатов биотестового анализа токсичности поверхностных вод бассейна р. Северский Донец с использованием четырёх тест-объектов и восьми тест-показателей позволил сделать следующие выводы:

1. Чётко выявлены наиболее напряженные с точки зрения токсичности участки малых рек: устья рек и места выхода техногенно изменённых шахтных вод.

2. Токсичность вод 17 створов восьми малых рек за два года исследований отличалась. Наиболее токсичны были воды в 2015 г., в котором 66 % проб оказывали ОТД, 16 % – ПОТД. Усиление токсичности на всех участках, как находящихся под влиянием антропогенной нагрузки, так и без неё, вероятно, связано с негативным воздействием фактора, поступившего с сопредельных территорий.

3. Токсичность вод – характеристика очень динамичная, зависящая от многих факторов и по-разному влияющая на представителей биоты, требует использования набора биотестов. Набор биотестов с тест-объектами разных трофических уровней и систематической принадлежности позволяет получить наиболее объективную информацию о токсичности исследуемых вод.

4. В качестве тест-объектов необходимо использовать:

– автотрофные организмы из представителей как низших (микроводоросли), так и высших растений;

– гетеротрофные организмы из представителей гидробионтов с коротким жизненным циклом, позволяющим в краткие сроки (3–4 сут) получить данные о плодовитости – наиболее важном показателе сохранения популяции в условиях негативного антропогенного воздействия.

5. Использованный набор биотестов дает возможность определять уровень интегральной токсичности вод, следить в динамике за процессами самоочищения и восстановления вод.

6. Современное экотоксикологическое состояние поверхностных вод бассейна р. Северский Донец требует проведения регулярных наблюдений за изменением токсичности и инвентаризации источников загрязнения.

Литература

1. Романенко В.Д., Ляшенко А.В., Афанасьев С.А., Зорина-Сахарова Е.Е. Биоиндикация экологического

состояния водоемов в черте г. Киева // Гидробиол. журн. 2010. Т. 46, № 2. С. 3–24.

2. Бакаева Е.Н., Тарадайко М.Н. Экотоксикологический мониторинг малых рек в условиях влияния техногенных шахтных вод // Актуальные проблемы региональной экологии и биодиагностика живых систем : материалы XIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 1–2 декабря 2015 г. Киров, 2015. Кн. 2. С. 71–74.

3. РД 52.24.566-94. Методы токсикологической оценки загрязнения пресноводных экосистем. М., 1994. 130 с.

4. РД 52.24.662-2004. Оценка токсического загрязнения природных вод и донных отложений пресноводных экосистем методами биотестирования с использованием коловраток / А.М. Никаноров, Е.Н. Бакаева, Н.А. Игнатова, Л.М. Ходурская. М., 2006. 60 с.

5. ГОСТ Р ИСО 22030-2009. Качество почв. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. М., 2010. 15 с.

References

1. Romanenko V.D., Lyashenko A.V., Afanas'ev S.A., Zorina-Sakharova E.E. Bioindikatsiya ekologicheskogo sostoyaniya vodoemov v cherte g. Kiev [Bioindication of ecological status of water bodies within the boundaries of Kiev]. *Gidrobiol. zhurn.* 2010, vol. 46, no. 2, pp. 3-24.

2. Bakaeva E.N., Taradaiko M.N. [Ecotoxicological monitoring of small rivers under the influence of man-made mine water]. *Aktual'nye problemy regional'noi ekologii i biodiagnostika zhivykh sistem* [Actual problems of regional ecology and living systems biodiagnostics]. Materials of the XIII All-Russian scientific-practical conf. с int. participation. Kirov, December 1-2, 2015. Kirov, 2015, vol. 2, pp. 71-74.

3. *Metody toksikologicheskoi otsenki zagryazneniya presnovodnykh ekosistem* [Methods of toxicological evaluation of pollution of freshwater ecosystems]. Certificate, no. 52.24.566-94. Moscow, 1994, 130 p.

4. Nikanorov A.M., Bakaeva E.N., Ignatova N.A., Khodurskaya L.M. *Otsenka toksicheskogo zagryazneniya prirodnykh vod i donnykh otlozhenii presnovodnykh ekosistem metodami biotestirovaniya s ispol'zovaniem kolovratok* [Evaluation of the toxic pollution of natural waters and sediments of freshwater ecosystems bioassay methods using rotifers]. Certificate, no. 52.24.662-2004. Moscow, 2006, 60 p.

5. *Kachestvo pochv. Biologicheskie metody. Khronicheskaya fitotoksichnost' v odnoshenii vysshikh rastenii* [The quality of the soil. Biological methods. Chronic phytotoxicity to higher plants]. Certificate, no. 22030-2009. Moscow, 2010, 15 p.

ОБ УТИЛИЗАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ В РОССИИ

© 2016 г. Д.В. Гавриловский, В.Л. Гапонов, С.В. Гапонов, Е.Ю. Гапонова

ABOUT THE DISPOSAL OF RADIOACTIVE WASTE FROM NUCLEAR REACTORS IN RUSSIA

D.V. Gavrilovskiy, V.L. Gaponov, S.V. Gaponov, E.Yu. Gaponova

Гавриловский Дмитрий Владимирович – аспирант, Донской государственной технической университет, пл. Гагарина, 1, г. Ростов н/Д, 344000, e-mail: homa-06@mail.ru

Dmitry V. Gavrilovskiy – Postgraduate, Don State Technical University, Gagarin Sq., 1, Rostov-on-Don, 344000, Russia, e-mail: homa-06@mail.ru

Гапонов Владимир Лаврентьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производственной безопасности, Донской государственной технической университет, пл. Гагарина, 1, г. Ростов н/Д, 344000.

Vladimir L. Gaponov – Doctor of Technical Science, Professor, Head of the Department of Occupational Safety and Health, Don State Technical University, Gagarin Sq., 1, Rostov-on-Don, 344000, Russia.

Гапонов Сергей Владимирович – старший преподаватель, кафедра производственной безопасности, Донской государственной технической университет, пл. Гагарина, 1, г. Ростов н/Д, 344000.

Sergey V. Gaponov – Senior Lecturer, Department of Occupational Safety and Health, Don State Technical University, Gagarin Sq., 1, Rostov-on-Don, 344000, Russia.

Гапонова Екатерина Юрьевна – старший преподаватель, кафедра производственной безопасности, Донской государственной технической университет, пл. Гагарина, 1, г. Ростов н/Д, 344000.

Ekaterina Yu. Gaponova – Senior Lecturer, Department of Occupational Safety and Health, Don State Technical University, Gagarin Sq., 1, Rostov-on-Don, 344000, Russia.

Рассматривается один из ключевых моментов безаварийной эксплуатации АЭС в России – хранение и утилизация радиоактивных отходов. Указывается, что существующие методы позволяют перерабатывать только 15 % от общего объема производимых ежегодно отходов, в то время как хранилища заполнены на 80–90 %. Констатируется, что эксплуатационные характеристики многих пунктов хранения находятся на грани допустимого. Особого внимания требует вопрос создания мест для захоронения радиоактивных отходов, не подлежащих переработке. Вывод: без решения указанной проблемы радиационное заражение вод и почвы может обернуться экологической катастрофой для многих регионов страны и стать основной причиной сворачивания производства атомной энергии.

Ключевые слова: ядерная энергия, проблемы утилизации, риски радиационного заражения, Ростовская область, хранилища радиоактивных отходов, глобальное потребление энергии.

The article is devoted to the basic problem of trouble-free operation of nuclear power plants in Russia - storage and disposal of radioactive waste. Existing methods can handle only 15 % of the total annual nuclear waste produced, while the warehouse filled to 80-90 %. The condition of the many storage facilities are on the verge permissible. It requires special attention the issue of creating sites for the disposal of radioactive waste is not recyclable. Without solving this problem, the radiation contamination of water and soil can turn into an environmental disaster for many regions of the country and become the main cause of collapse of production of nuclear energy.

Keywords: nuclear energy, disposal problem, radiation contamination risks, Rostov region, radioactive waste storage, global energy consumption.

Рост глобального потребления электроэнергии обусловлен развитием мировой экономики. И в ближайшие 40–50 лет главным источником электроэнергии останется углеводородное топливо (рис. 1). Сейчас на его долю приходится около 68 % [1].

Однако с открытием новых месторождений нефти или газа растёт стоимость их разработки [2].

Кроме того, многие полагают, что рост мирового использования углеводородного сырья порожда-

ет угрозу глобального потепления. Поэтому альтернативой углеводородному топливу выступает ядерная энергетика, которая считается одним из наиболее эффективных источников электрической и тепловой энергии.

Россия делает ставку на развитие ядерной энергетика. Вместе с растущей угрозой глобального потепления это должно способствовать увеличению доли производимой атомной энергии не только в нашей стране, но и во всем мире.

Активное развитие отечественной ядерной энергетики началось с конца 60-х гг. В то время считалось, что ядерные реакторы практически безопасны, а автоматические системы слежения и контроля, защитные экраны и обученный персонал гарантируют их безаварийную работу. Специалисты были уверены, что ядерная энергетика является экологически безопасной и наиболее эффективной, так как удается получить огромное количество энергии из небольшого количества ядерного топлива и при этом отсутствуют выбросы парниковых газов [3].

Сегодня атомная энергетика – один из самых важных секторов экономики России. Потребность в электроэнергии для стабильного роста экономики повлекла за собой значительное развитие этой отрасли. С помощью контрактов на постройку АЭС, поставку и утилизацию ядерного топлива государство обеспечивает также свое политическое влияние в том или ином регионе мира. Однако это влияние может дорого обойтись населению, особенно будущим поколениям, из-за возникающей проблемы утилизации ядерных отходов.

В настоящее время в нашей стране эксплуатируются 10 атомных электростанций (в общей сложности 35 энергоблоков установленной мощностью 26,2 ГВт) [4], которые вырабатывают около 18 % всей производимой в стране электроэнергии [1] (рис. 2). По итогам 2015 г. атомными станциями России было выработано 195,2 млрд кВт·ч. Из них 17,5 млрд кВт·ч экспортировалось [5]. В 2016 г. ведётся строительство 8 новых энергоблоков [4].

Также Россия имеет крупнейший атомный флот. В составе ВМФ эксплуатируются 48 атомных подводных лодок и 9 крупных надводных кораблей с ядерной силовой установкой. Отработавшее ядерное топливо невозможно хранить на корабле или подводной лодке. Для этого используются специальные суда – мобильные хранилища радиоактивных отходов. Для поддержания боеготовности корабельные ядерные реакторы «перезаряжаются» в среднем раз в три года. Из каждого реактора выгружают около 6–10 т отработавшего топлива [6].

Ядерный реактор ВВЭР-1000, устанавливаемый на Ростовской АЭС и имеющий мощность 1000 МВт, при нормальной эксплуатации производит 30 т отходов [7, 8]. Отработавшее топливо перегружается из активной зоны в бассейны выдержки. Там оно хранится в течение 3–4 лет. Этот процесс существенно снижает радиоактивность и тепловыделение, после чего, согласно технологии, становится возможным удаление отработавшего топлива с АЭС для переработки или длительного хранения.

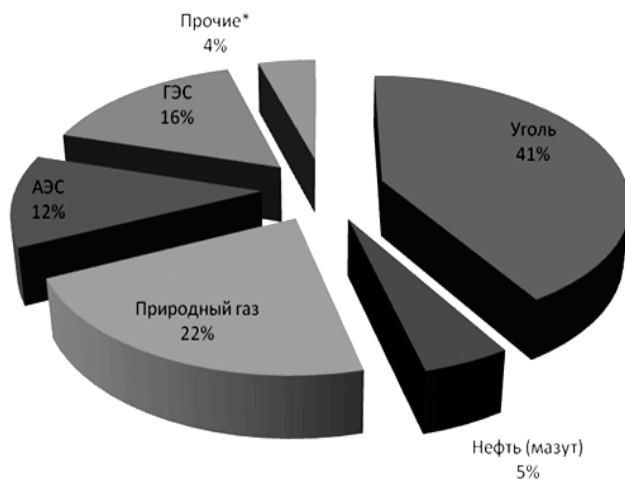


Рис. 1. Структура генерации электроэнергии по видам топлива в мире / Fig. 1. The structure of the world's electricity generation by fuel type

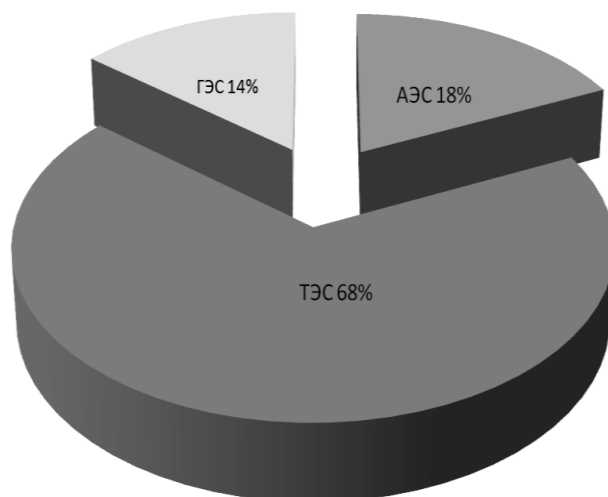


Рис. 2. Соотношение количества произведенной энергии различными типами электростанций в России / Fig. 2. The ratio of energy produced by different types of power plants in Russia

Россия имеет национальное наземное долговременное хранилище плутония на площадке ПО «Маяк» емкостью около 2500 т. Оно использует неоднозначную по результатам технологию подземной изоляции жидких радиоактивных отходов в пластах-коллекторах (Северск, Железногорск, Димитровград) (рис. 3). При этом до сих пор не найдена площадка для строительства ядерного хранилища подземного типа для твердых (с длительным периодом полураспада и высокоактивными изотопами) материалов с реакторов, обслуживаемых Росатомом [8, 9].

Накопление ядерных отходов подходит к критической отметке. В настоящее время действующие хранилища, по оценкам экспертов, заполнены на 80–90 % [10]. Большинство АЭС не производили

выгрузку ядерных отходов из собственных хранилищ с 2005 г. Ежегодно перерабатывается не более 15 % отработавшего топлива из реакторов российских АЭС [11]. Во многих случаях после вывода из эксплуатации производится консервация реактора с цементированием хранилища отходов. Основной объем отходов с эксплуатируемых ядерных реакторов лежит опасным грузом в контейнерах на АЭС. К 2013 г. от одних лишь списанных атомных подводных лодок накопилось 346 т. А всего накоплено 486 млн м³ жидких радиоактивных отходов и 87 млн т твердых радиоактивных отходов [12]. И те и другие образовались в основном в результате реализации оборонных программ. Из общего количества накопленных твердых радиоактивных отходов 97 % по массе – это низкоактивные отходы [12].

В России имеется 1466 пунктов временного хранения отходов. Примерно две трети из них представляют потенциальную угрозу для окружающей среды. Большая часть наземных хранилищ была построена более 60 лет назад. Под действием времени и природных факторов в них попадала вода, которая уже сама стала радиоактивной. Некоторые хранилища со временем стали негерметичными, поэтому с водой радионуклиды попадают в окружающую среду.

Многие из судов-хранилищ ядерных отходов – требуют пристального внимания к техническому состоянию. К примеру, в Мурманской области техническое состояние хранилищ отработавшего ядерного топлива, твердых и жидких радиоактивных отходов, береговых технических баз судов атомного технологического обслуживания представляет особую радиационно-экологическую опасность. Радиационная обстановка в области сегодня оценивается как удовлетворительная, но без решения проблем утилизации и хранения эта территория может стать радиационно опасной зоной. Для предотвращения подобного сценария необходимы усилия всех заин-

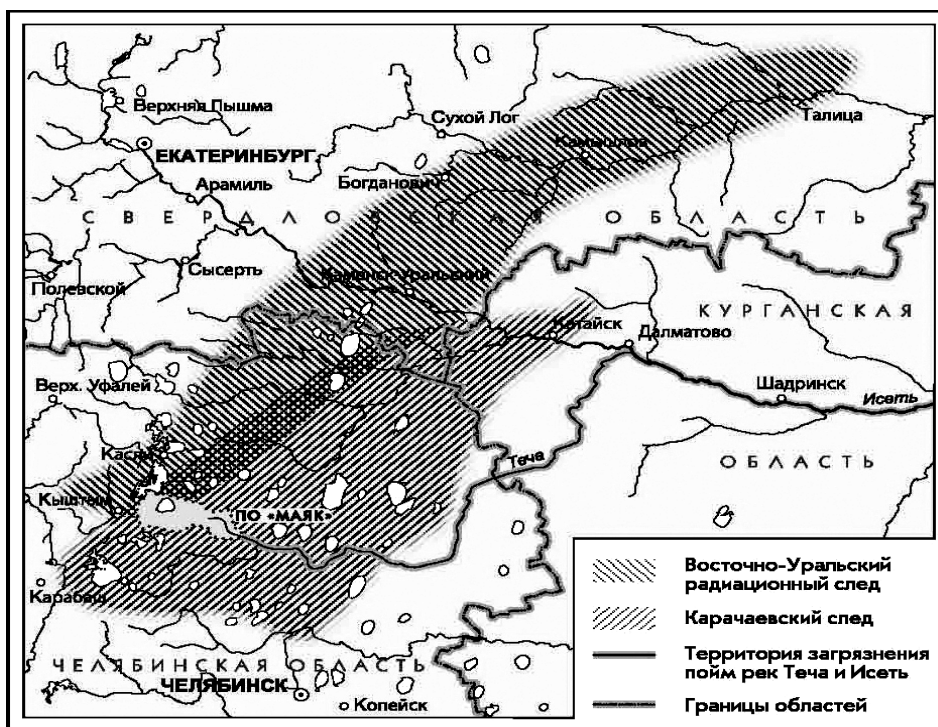


Рис. 3. Область загрязнения радиоактивными отходами вокруг ПО «Маяк» [9]
 / Fig. 3. The area of contamination of radioactive waste around the “Mayak”

тересованных организаций и ведомств в создании инфраструктуры и транспортно-технологических схем по обращению с радиоактивными отходами в России. Очень остро стоит вопрос создания могильника для захоронения радиоактивных отходов, не подлежащих переработке.

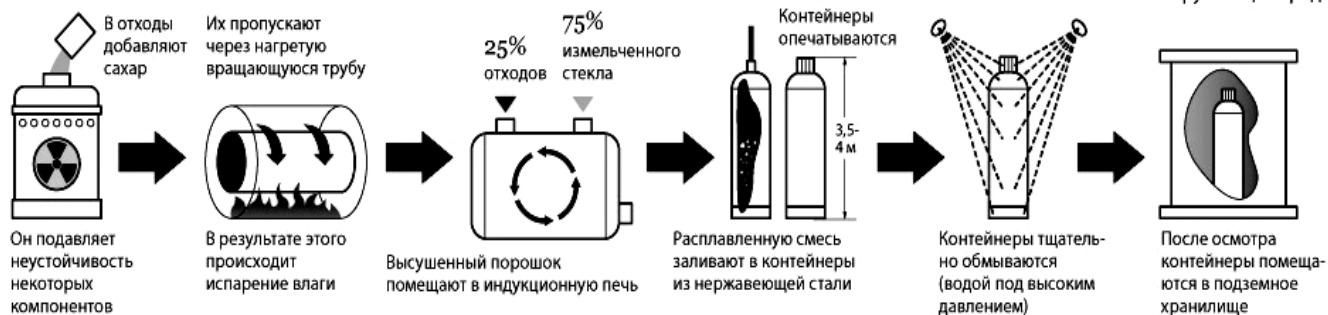
Нельзя сказать, что в этом направлении в России ничего не делается. Помимо захоронения на различных глубинах, витрификации и других методов хранения и переработки (рис. 4), существует отечественный проект захоронения ядерных отходов, основной идеей которого является подземный ядерный взрыв.

Также Росатом в 2015 г. запустил на Нововоронежской АЭС первый в России комплекс плазменной переработки радиоактивных отходов. Комплекс предназначен для плазменно-пиролитической переработки твердых радиоактивных отходов [13]. Нововоронежская АЭС была выбрана в качестве площадки для переработки отходов, в том числе в связи с тем, что это одна из первых промышленных атомных электростанций СССР. Её строительство было начато в 1958 г., введена в эксплуатацию в 1964 г. За полвека работы в её хранилище скопилось значительное количество радиоактивных отходов. В случае если этот комплекс докажет свою эффективность, им необходимо будет оснастить все действующие АЭС.

Технологии подготовки РАО к хранению

Один из прогрессивных методов финальной переработки жидких РАО — **витрификация** (остекловывание)

⚠ Остеклованные РАО надежно изолированы от окружающей среды



Способ хранения РАО зависит от степени их активности и срока жизни



Другие технологии подготовки:

- битумирование
- сжигание
- цементирование
- плазменно-химическая переработка

В 33 регионах России в 1170 хранилищах различного типа хранится почти половина всех радиоактивных отходов в мире



Рис. 4. Витрификация и другие методы безопасного хранения радиоактивных отходов [4]
 / Fig. 3. Vitrification and other methods of safe storage of radioactive waste [4]

Ядерная энергия была и остается одной из основных альтернатив энергии углеводородного топлива. Активное развитие отечественной ядерной энергетики необходимо для решения огромного количества экономических и политических задач. Увеличение количества активных ядерных реакторов внутри страны, заключение контрактов на поставку ядерного топлива с возвратом на утилизацию, введение в эксплуатацию новых атомных морских кораблей обостряют проблему утилизации радиоактивных отходов в стране. Недостаточное внимание к развитию методов и средств хранения и утилизации может привести к серьезным экологическим проблемам. Без разрешения этих вопросов несколько российских регионов могут испытать существенные последствия радиоактивного заражения почвы и воды. А, как показывает мировая практика, затраты на устранение таких последствий значительно превышают экономические выгоды от эксплуатации ядерного реактора. Для дальнейшего развития ядерной отрасли необходимо радикальное изменение подхода к решению вопроса утилизации ядерных отходов.

Литература

1. Статистический отчет компании «BP» на мировом рынке энергии. URL: www.bp.com (дата обращения: 20.06.2016).
2. Григорьев Г., Новиков Ю. Грандиозность планов на фоне глубины проблем. Перспективы освоения углеводородного потенциала российских арктических акваторий // Oil and Gas J. Russia. 2012. № 5. С. 44–49.
3. Гавриловский Д.В., Гапонов В.Л., Гапонов С.В. Экологические проблемы атомной энергетики // Сб. ст. по итогам междунар. науч.-практ. конф. (Уфа, 1 февраля 2016 г.): в 4 ч. Ч. 4. Уфа, 2016. С. 182–184.
4. Продукция и услуги госкорпорации «Росатом». URL: <http://www.rosatom.ru/production> (дата обращения: 15.06.2016).
5. Квартальные производственные результаты ПАО «Интер РАО». URL: <http://www.interrao.ru/activity> (дата обращения: 18.06.2016).
6. Алексеев С.В. Дисперсионное ядерное топливо. М., 2015. 248 с.
7. Тевлин С.А. Атомные электрические станции с реакторами ВВЭР-1000. М., 2002. 344 с.
8. Гавриловский Д.В., Гапонов В.Л., Бородин И.С. Экологические проблемы безаварийной эксплуатации

АЭС // Материалы междунар. науч.-практ. конф. (Сургут, 29 февраля 2016 г.) : в 3 ч. Ч. 3. Стерлитамак, 2016. С. 31–33.

9. Безъядерное будущее «Гринпис России». URL: <http://www.greenpeace.org/russia/ru/campaigns/nuclear> (дата обращения: 18.06.2016).

10. Антонова А.М. Экологические проблемы эксплуатации АЭС. URL: <http://rudocs.exdat.com/docs/index-202144.html> (дата обращения: 15.06.2016).

11. Краткий обзор докладов 7-го Всероссийского семинара-совещания «Система государственного учёта и контроля РВ и РАО и обращение с радиоактивными отходами». URL: <http://www.atomic-energy.ru/articles/2016/08/23/68476> (дата обращения: 18.06.2016).

12. IAEA Annual Report for 2014. URL: https://www.iaea.org/sites/default/files/gc59-7_en.pdf (дата обращения: 15.06.2016).

13. Ташлыков О.Л., Шчеклеин С.Е. Экологическое прогнозирование в ядерной энергетике XXI века // Альтернативная энергетика и экология (ISJAE). 2015. № 8–9. С. 50–57.

References

1. *Otchet kompanii "BP" na mirovom rynke energii* [The report of the company BP in the global energy market]. Available at: www.bp.com (accessed 20.06.2016).

2. Grigor'ev G., Novikov Yu. Grandioznost' planov na fone glubiny problem. Perspektivy osvoiniya uglevodorodnogo potentsiala rossiiskikh arkticheskikh akvatorii [Grand plan on the background of the depth of the problems. Prospects of development of hydrocarbon potential of the Russian Arctic waters]. *Oil and gas J. Russia*. 2012, no. 5, pp. 44-49.

3. Gavrilovskii D.V., Gaponov V.L., Gaponov S.V. [Ecological problems of nuclear energy]. *Sb. st. po itogam mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Collection of articles on the basis of the Intern. scientific-practical. conf.] (Ufa, February 1, 2016). Ufa, 2016, part 4, pp. 182-184.

4. *Produktsiya i uslugi goskorporatsii "Rosatom"* [Products and services of the State Corporation

"Rosatom"]. Available at: <http://www.rosatom.ru/production> (accessed 15.06.2016).

5. *Kvartal'nye proizvodstvennye rezul'taty PAO "Inter RAO"* [Quarterly operating results of PJSC "Inter RAO"]. Available at: <http://www.interrao.ru/activity> (accessed 18.06.2016).

6. Alekseev S.V. *Dispersionnoe yadernoe toplivo* [The dispersion nuclear fuel]. Moscow, 2015, 248 p.

7. Tevlin S.A. *Atomnye elektricheskie stantsii s reaktorami VVER-1000* [Nuclear power plants with VVER-1000 reactors]. Moscow, 2002, 344 p.

8. Gavrilovskii D.V., Gaponov V.L., Borodin I.S. [Ecological problems of safe operation of nuclear power plants]. *Materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Materials Intern. scientific-practical conf.] (Surgut, February 29, 2016). Sterlitamak, 2016, part 3, pp. 31-33.

9. *Bez'yadernoe budushchee "Grinpis Rossii"* [Nuclear-Free Future "Greenpeace Russia"]. Available at: <http://www.greenpeace.org/russia/ru/campaigns/nuclear> (accessed 18.06.2016).

10. Antonova A.M. *Ekologicheskie problemy ekspluatatsii AES* [Ecological problems of nuclear power plant operation]. Available at: <http://rudocs.exdat.com/docs/index-202144.html> (accessed 15.06.2016).

11. *Kratkii obzor докладов 7-go Vserossiiskogo seminar-soveshchaniya "Sistema gosudarstvennogo ucheta i kontrolya RV i RAO i obrashchenie s radioaktivnymi otkhodami"* [A brief review of the reports of the 7th All-Russian seminar "State system of accounting and control of radioactive substances and waste and radioactive waste management"]. Available at: <http://www.atomic-energy.ru/articles/2016/08/23/68476> (accessed 18.06.2016).

12. *IAEA Annual Report for 2014*. Available at: https://www.iaea.org/sites/default/files/gc59-7_en.pdf (accessed 15.06.2016).

13. Tashlykov O.L., Shcheklein S.E. *Ekologicheskoe prognozirovaniye v yadernoi energetike XXI veka* [Ecological forecasting in the nuclear power industry of XXI century]. *Al'ternativnaya energetika i ekologiya (ISJAE)*. 2015, no. 8-9, pp. 50-57.

УДК 504.054

DOI 10.18522/0321-3005-2016-4-67-72

ХИМИЧЕСКОЕ И ФИЗИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ГОРОДСКИХ ЭКОСИСТЕМ АВТОТРАНСПОРТОМ

© 2016 г. О.О. Дахова, Б.М. Хучунаев, Г.В. Куповых

CHEMICAL AND PHYSICAL CONTAMINATION OF URBAN ECOSYSTEMS BY AUTOMOBILE TRANSPORT

O.O. Dakhova, B.M. Khuchunaev, G.V. Kupovykh

Дахова Оксана Олеговна – кандидат географических наук, доцент, кафедра географии, Институт химии и биологии Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова, ул. Чернышевского, 173, г. Нальчик, КБР, 360004, e-mail: dakhva@rambler.ru

Oksana O. Dakhova – Candidate of Geography, Associate Professor, Department of Geography, Institute of Chemistry and Biology, Berbekov Kabardino-Balkarian State University, Chernyshevskii St., 173, Nalchik, KBR, 360004, Russia, e-mail: dakhva@rambler.ru

Хучунаев Бузигит Муссаевич – доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией микрофизики облаков, Высокотурный геофизический институт, пр. Ленина, 2, г. Нальчик, КБР, 360030, e-mail: buzgigit@mail.ru

Buzigit M. Khuchunaev – Doctor of Physics and Mathematics, Senior Researcher, Head of the Department of Physics of Clouds, High-Mountain Geophysical Institute, Lenin Ave, 2, Nalchik, KBR, 360030, Russia, e-mail: buzgigit@mail.ru

Куповых Геннадий Владимирович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой высшей математики, Институт компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета, пер. Некрасовский, 44, г. Таганрог, Ростовская обл., 347928, e-mail: kupovykh@srfedu.ru

Gennadii V. Kupovykh – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Head of the Department of Mathematics, Institute of Computer Technology and Information Security, Southern Federal University, Nekrasovskii Lane, 44, Taganrog, Rostov Region, 347928, Russia, e-mail: kupovykh@srfedu.ru

Исследуется химическое и физическое (шумовое) загрязнение г. Нальчика. Рассчитана концентрация загрязняющих веществ, выделяемых автотранспортом в атмосферу города. Составлены карты миграций химических элементов (загрязняющих веществ), поступающих в ландшафты города от автомобильного транспорта. Определены эквивалентные уровни звука, создаваемые транспортными потоками на автомагистралях города. Приведены рекомендации для защиты населения, жилых и общественных зданий от транспортного шума; они включают градостроительные, архитектурно-планировочные, организационные и конструктивные мероприятия.

Ключевые слова: автотранспорт, вредные вещества, городские экосистемы, загрязнение атмосферы, карта загрязнения, шумовое загрязнение.

We study the chemical and physical (noise) pollution of the city of Nalchik. Calculate the concentration of pollutant emissions into the atmosphere of the city by road. The maps of the migration of chemical elements (pollutants) entering the landscapes of the city on road transport. Determine the equivalent sound levels generated by traffic flow on the highways of the city. This article provides recommendations for the protection of the population, residential and public buildings from the traffic noise, which include urban planning, architectural planning, organizational and structural measures.

Keywords: automobile transport, pollutants, urban ecosystems, air pollution, pollution card, noise pollution.

В последние годы увеличение потока автотранспорта и снятие ограничения его движения привели к значительному увеличению физического и химического загрязнения курортных городов.

Сегодня во многих городах России наблюдается устойчивая тенденция к многократному, в десятки и более раз, превышению санитарно-гигиенических норм по содержанию в атмосфере городов окислов

углерода, азота, пыли, токсичных соединений металлов и других вредных веществ [1–4]. Имеются серьезные проблемы с мелиорацией земель, бесконтрольным применением в сельском хозяйстве минеральных удобрений, чрезмерным использованием пестицидов, гербицидов. Происходит загрязнение сточными водами промышленных и коммунальных предприятий больших и малых рек, озер,

прибрежных морских вод. Из-за постоянного загрязнения атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почв, растительности происходит деградация экосистем, сокращение продуктивных возможностей биосферы.

Основная доля токсичных примесей от автотранспорта поступает в атмосферу с отработавшими газами ДВС. С картерными газами и парами топлива в атмосферу поступают приблизительно 45 % углеводородов от их общего выброса. Количество вредных веществ, поступающих в атмосферу в составе отработавших газов, зависит от общего технического состояния автомобилей, особенно от двигателя – источника наибольшего загрязнения.

Относительная доля (от общей массы выбросов) углеводородов и оксида углерода наиболее высока при торможении и на холостом ходу, доля оксидов азота – при разгоне. Автомобили особенно сильно загрязняют воздушную среду при частых остановках и при движении с малой скоростью [5].

Город Нальчик – столица Кабардино-Балкарской Республики, расположен в предгорьях Большого Кавказа на р. Нальчик (бассейн Терека). Его географическая широта – 43°29', географическая долгота – 43°37', расположен в 1873 км к югу от Москвы, является курортным городом. На его территории неизменных природных ландшафтов практически не осталось, сформировались различные модификации антропогенных ландшафтов, в которых элементы, созданные в результате деятельности человека, в разной степени преобладают над естественными. Всего в городе по социально-экономическим функциям выделено 7 основных типов и 17 подтипов антропогенных ландшафтов. С каждым годом увеличивается количество передвижных и стационарных источников загрязнения воздуха, что сказывается не только на состоянии окружающей среды, но и на здоровье населения [6].

Методика определения выбросов автотранспорта

Для экологических исследований натурный эксперимент является поставщиком исходных данных для моделирования процессов создания и распространения загрязнений.

Расчет концентраций загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу от автотранспорта, проводится для улиц с наибольшей транспортной нагрузкой. Улицы Нальчика не везде прямолинейны и узки. Дома, прилегающие к автомагистралям, в основном состоят из 3–5-этажных зданий, реже – 1-, 9-этажных [7].

Натурные исследования автотранспортного потока проводились в 2014 г. (весна – лето) в течение рабочей недели в часы пик – с 8 до 11 ч и с 16 до 19 ч. Для расчета использовали максимальное количество автотранспорта, проезжающего за 20-минутный период времени по автомагистрали [8].

Автотранспорт был подразделен на следующие группы:

- 1) легковые автомобили, отдельно отечественные (Ло) и зарубежные (Лз);
- 2) микроавтобусы (МА) и автофургоны (АФ) отечественного и зарубежного производства;
- 3) автобусы бензиновые (АК);
- 4) автобусы дизельные (АД);
- 5) грузовые бензиновые свыше 3,5 т (включая работающие на сжиженном нефтяном газе) (ГК > 3,5);
- 6) грузовые дизельные до 12 т (ГД < 12);
- 7) грузовые дизельные свыше 12 т (ГД > 12).

Результаты подсчетов автомобильного транспорта приведены в табл. 1.

Расчеты выбросов выполняются для следующих вредных веществ, поступающих в атмосферу с отработавшими газами автомобилей: оксид углерода (СО); оксиды азота NO_x (в перечете на диоксид азота); углеводороды (СН); сажа; диоксид серы (SO₂); формальдегид; бенз(а)пирен.

Таблица 1

Число движущегося автотранспортного потока за 20-минутный период времени
 / The number of moving vehicular traffic for the 20-minute period of time

Наименование улицы	Число автомобилей по группам									Скорость движения потока, км/ч		
	Л		ГК		АК	ГД		АД	Легковые	Грузовые	Автобусы	
	Ло	Лз	МА, АФ	ГК>3,5		ГД<12	ГД>12					
Ленина	171	88	67	–	12	1	–	–	60	40	40	
Шогенцукова	270	115	51	–	3	1	–	–	60	40	40	
Идарова	428	148	190	11	15	12	–	–	60	40	40	
Мальбахова	779	531	230	10	12	–	–	–	60	40	40	
Кабардинская	625	284	114	7	11	–	–	–	60	40	40	
Кирова	190	61	66	–	–	10	–	–	60	40	40	
Чернышевского	104	28	49	–	7	3	–	–	60	40	40	

Значения концентраций загрязняющих веществ, вычисленные по методике [9], показали, что концентрация оксида углерода, поступающего в воздушный бассейн г. Нальчик от автотранспорта, меняется от 2,2512 до 13,031 г/с, диоксида азота – от 0,4899 до 2,1417 г/с, углеводородов – от 0,59436 до 2,69865 г/с, сажи – от 0,01443 до 0,09033, диоксида серы – от 0,01005 до 0,05677 г/с, формальдегида – от 0,00258 до 0,024 г/с, бенз(а)пирена – от $0,03 \cdot 10^{-6}$ до $1,5 \cdot 10^{-6}$ г/с.

Все расчетные точки с концентрациями загрязняющих веществ были нанесены на карту г. Нальчика.

Получено, что на ул. Мальбахова, ближе к перекрестку улиц Мальбахова – Кирова, концентрация диоксида азота превышает ПДК в 1,12 раза, охватывая селитебные ландшафты (рис. 1).

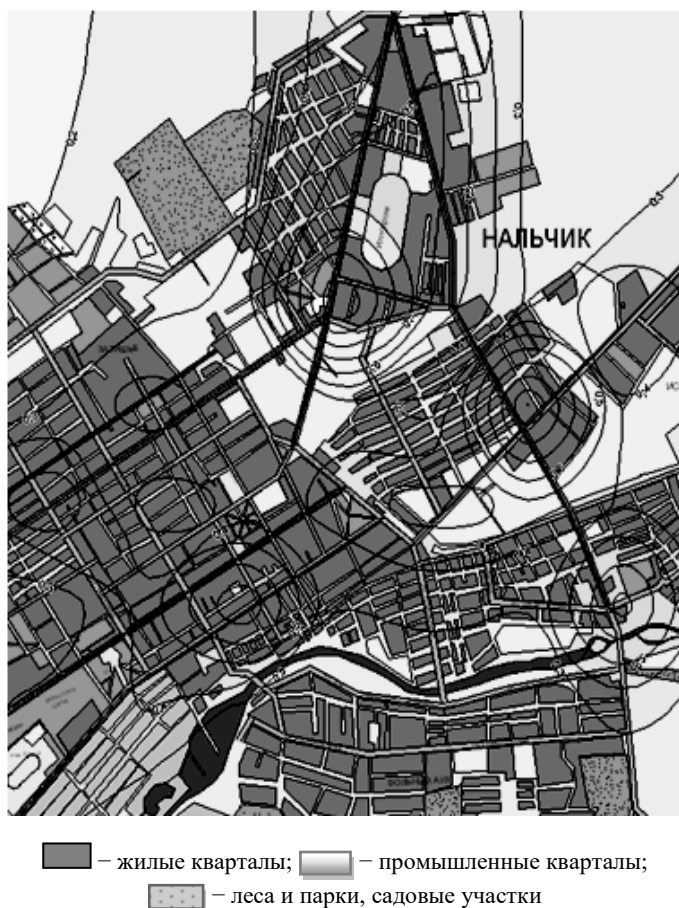


Рис. 1. Карта миграции диоксида азота, поступающего в ландшафты г. Нальчика от автотранспорта (масштаб 1: 60000) / Fig. 1. Migration map of nitrogen dioxide entering the landscapes of the city of Nalchik from motor vehicles (scale 1: 60,000)

На перекрестке улиц Мальбахова и Богдана Хмельницкого концентрация диоксида азота соот-

ветствует ПДК. Концентрация остальных загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух г. Нальчика от автотранспорта, не превышает ПДК.

В работе также исследовалось физическое (шумовое) загрязнение Нальчика в связи с тем, что в наши дни шум стал одним из опасных факторов, вредных среде обитания. Длительное воздействие шума вредит не только слуху, оно делает человека нервным и ухудшает его самочувствие.

К основным источникам шума в повседневной жизни относится движение транспортных средств, в том числе уличное движение в центре города и на основных городских магистралях, где автомобилям приходится тормозить и вновь разгоняться. Уровень шума зависит от числа автомашин, их технического состояния и удаления домов от проезжей части улицы.

Метод расчета ожидаемых уровней транспортного шума

Эквивалентные уровни звука (дБА), создаваемые транспортным потоком у фасада здания, могут быть получены путем измерений или рассчитаны на основании шумовой характеристики транспортного потока, определяемой по методике, исходя из характеристик движения и состава транспортного потока.

Наибольшие уровни транспортного шума у фасада здания наблюдаются на высоте третьего – пятого этажей. На высоте первого и второго этажей уровни шума могут быть ниже вследствие поглощения звука поверхностью земли и зелеными насаждениями.

Исходным параметром для расчета эквивалентного уровня звука, создаваемого у фасада здания потоком средств автомобильного транспорта (включая автобусы и троллейбусы), является шумовая характеристика потока $L_{Аэв}$ (дБА), определяемая по ГОСТу 20444-85 – на расстоянии 7,5 м от оси ближней полосы движения транспорта.

Ожидаемый эквивалентный уровень звука, создаваемый потоком средств автомобильного транспорта в расчетной точке у наружного ограждения здания, определяется по методике [10].

Проспекты Ленина, Шогенцукова и ул. Кабардинская, Идарова и Мальбахова имеют 4 полосы движения автотранспорта. Улицы Кирова и Чернышевского – 2 полосы.

Количество автотранспортных средств, проезжающих по основным улицам г. Нальчика (ед/ч), приведено на рис. 2.

Доля средств грузового и общественного транспорта в потоке на пр. Ленина составляет 19 %, на пр. Шогенцукова – 16, на ул. Идарова – 28, на ул. Мальбахова – 16, на ул. Кабардинской – 13, на ул. Кирова – 26, на ул. Чернышевского – 29 %.

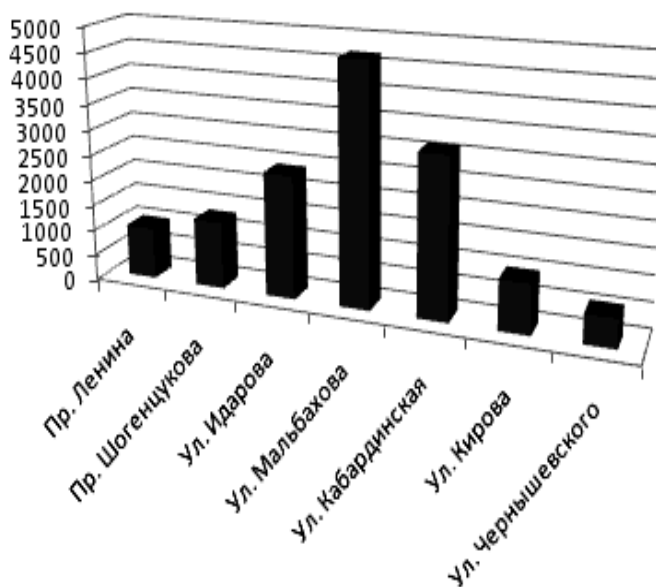


Рис. 2. Количество автотранспортных средств, проезжающих по основным улицам г. Нальчика (ед/ч)
 / Fig. 2. The number of vehicles passing through the main streets of Nalchik (u / h)

В табл. 2 приведены расчеты эквивалентных уровней звука, создаваемых автотранспортом на расстоянии 7 м от полотна дороги.

Таблица 2

Эквивалентные уровни звука $L_{Aэкв}$ и $L_{Aэкв.тер.2}$
 / The equivalent sound levels $L_{Aekv.}$ and $L_{Aekv.ter.2}$

Наименование улицы	$L_{Aэкв}$, дБА	$L_{Aэкв.тер.2}$, дБА	Превышение допустимого уровня (раз)
Ленина	73	71,5	1,2
Шогенцукова	74,1	73,5	1,22
Идарова	77,2	75,7	1,26
Мальбахова	79,2	76,2	1,27
Кабардинская	77,2	76,2	1,27
Кирова	73,8	72,8	1,2
Чернышевского	72,3	71,8	1,2

Допустимые значения эквивалентного уровня звука в жилых районах составляет днем 60 дБА, а ночью – 50 дБА. Как видно из данных табл. 2, превышение допустимого уровня звука на расстоянии 7,5 м наблюдается на всех улицах, максимальное –

на Мальбахова и Кабардинской (в 1,27 раза), а минимальное – на пр. Ленина и ул. Чернышевского (1,2 раза).

Расчеты распространения уровня звука по городу проводились с использованием приведённых выше данных (табл. 2) при помощи программы «Экоцентр Шум». На рис. 3 приводятся результаты расчета в виде изолиний эквивалентного уровня звука. Как видно из рис. 3, в городе можно выделить три участка с его превышением.

Первый – между перекрёстком ул. Кабардинская – Идарова и ул. Суворова, площадью около 1 км². Второй – вдоль ул. Чернышевского, начиная с перекрёстка ул. Кешокова – ул. Чернышевского, далее вдоль ул. Мальбахова до ул. Идарова, площадь участка – чуть более 2 км². Третий участок – между пр. Ленина и пр. Шогенцукова, ограничен с юга ул. Тарчокова, а с севера – ул. Головка, площадь участка – 1 км².

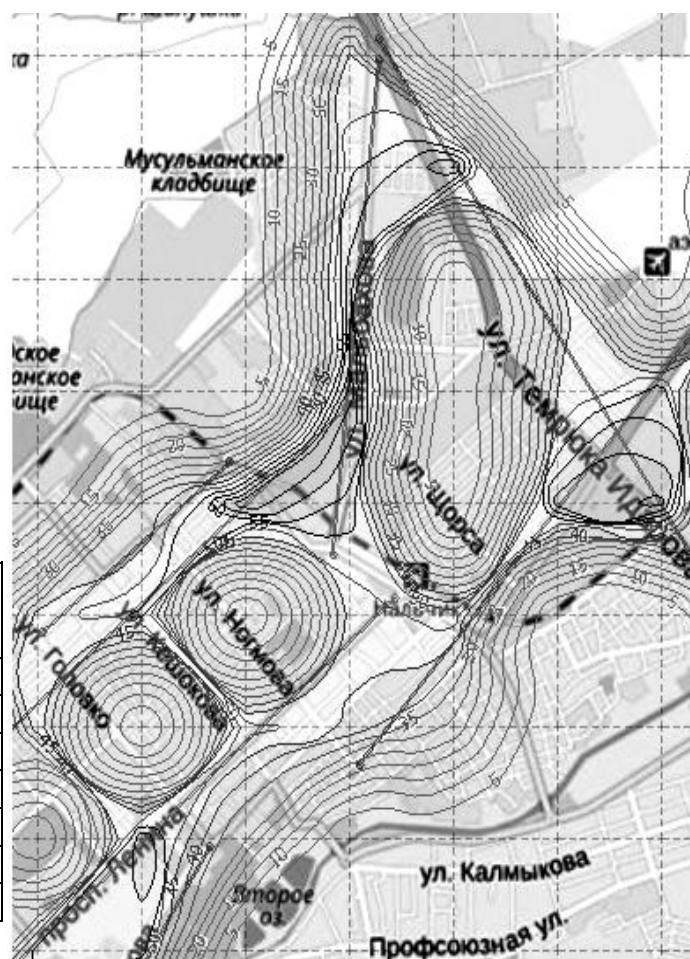


Рис. 3. Карта распространения эквивалентного уровня звука по г. Нальчику (масштаб 1:50000) / Fig. 3. Distribution map of the equivalent sound level at Nalchik (scale 1: 50,000)

Для оценки точности расчетов были проведены измерения эквивалентного уровня звука с помощью анализатора шума SVAN 949. Сравнение эквивалентного уровня звука, полученного расчетным методом, и измеренного показало разницу от 3,8 до 8,2 %.

Расчеты проведенных исследований показывают, что в г. Нальчике для защиты населения от воздействия шума необходимо провести защитные мероприятия. Более того, в последние годы имеется тенденция к увеличению количества транспорта в городе.

Защиту жилых и общественных зданий от транспортного шума можно осуществить с помощью градостроительных (рациональное проектирование улично-дорожной сети, зонирование городских территорий), архитектурно-планировочных (специальные шумозащитные здания с ориентацией жилых комнат преимущественно в сторону внутриквартальной территории), организационных (ограничение грузового транспорта на селитебных территориях, ограничение скорости транспортных средств, запрет транзитного транспорта) и конструктивных мероприятий. Осуществить посадку зеленых насаждений. Плотная посадка зеленых насаждений и экранирующие сооружения, расположенные вдоль магистралей, обладают свойством усиливать вертикальные воздушные течения. Это приводит к снижению в приземном слое воздуха за этими сооружениями, концентраций токсичных веществ, выбрасываемых с отходящими газами автомобилей. Кроме того, зелёные насаждения обладают свойствами осаждения и биологической переработки токсичных соединений, что усиливает их защитный эффект.

Выводы

1. Из анализа транспортного потока на территории г. Нальчика видно, что максимальное количество автотранспорта наблюдается на ул. Мальбахова, Кабардинская, Идарова и на перекрестках ул. Мальбахова – Кирова, Кабардинская – Идарова, Кабардинская – Осетинская.

2. Получено, что в районе Стрелки концентрация диоксида азота, с учетом закономерностей миграции химических веществ в воздушном бассейне, превышает ПДК в 1,12 раза, охватывая селитебные ландшафты. Концентрация следующих загрязняющих веществ: сажи – 0,23 ПДК, оксида углерода – 0,51 ПДК, бенз(а)пирена – 0,24 ПДК, формальдегида – 0,42 ПДК, углеводородов – 0,44 ПДК, диоксида серы – 0,04 ПДК – не превышает ПДК. Концентрация группы диоксида азота и ди-

оксида серы в районе Стрелки превышает ПДК в 1,16 раза, охватывая ландшафты жилых застроек.

3. Составлена карта миграции диоксида азота, поступающего в ландшафты г. Нальчика от автомобильного транспорта.

4. Определено, что доля средств грузового и общественного транспорта в потоке на территории города-курорта Нальчика составляет 13–29 %.

5. Произведена оценка физического (шумового) загрязнения атмосферного воздуха города-курорта Нальчика. Выявлено, что на территориях, расположенных в непосредственной близости от автотрасс, по исследованным улицам наблюдается превышение санитарных нормативов по уровню шума на 15–20 дБА.

6. Сопоставление расчетных и измеренных значений шумового загрязнения показало их хорошее согласование (получили разницу от 3,8 до 8,2 %).

Литература

1. Протасов В.Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России. М., 2000. 672 с.
2. Коваленко В.Г. Экологическая безопасность в системах нефтепродуктообеспечения и автомобильного транспорта. М., 2004. 184 с.
3. Егоров А.А., Гроздова О.И., Царева Ю.И. Распространение в атмосфере оксида углерода от автомобильного транспорта // Экология и промышленность России. 2006. № 1. С. 38–41.
4. Плехов Х.Х. Охрана окружающей среды КБР. Нальчик, 2007. 136 с.
5. Безуглая Э.Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах: результаты экспериментальных исследований. Л., 1986. 199 с.
6. Разумов В.В., Перекрест В.В. Современная ландшафтно-функциональная структура территории Нальчика // Экологические проблемы г. Нальчика. Нальчик, 1998. С. 9–15.
7. Дахова О.О. Некоторые результаты исследования загрязнения г. Нальчика автотранспортом // Экология человека: концепция факторов риска, экологической безопасности и управления рисками : сб. ст. V науч.-практ. конф. Пенза, 2008. С. 39–42.
8. Методика определения выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух от автотранспортных потоков, движущихся по автомагистралям Санкт-Петербурга. СПб., 2005. 8 с.
9. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Л., 1987. 78 с.
10. Проектирование защиты от транспортного шума и вибраций жилых и общественных зданий. М., 1999. 20 с.

References

1. Protasov V.F. *Ekologiya, zdorov'e i okhrana okruzhayushchei sredy v Rossii* [Ecology, health and environmental protection in Russia]. Moscow, 2000, 672 p.

2. Kovalenko V.G. *Ekologicheskaya bezopasnost' v sistemakh nefteproduktoobespecheniya i avtomobil'nogo transporta* [Environmental security in the systems of petroleum products and motor vehicles]. Moscow, 2004, 184 p.

3. Egorov A.A., Grozdova O.I., Tsareva Yu.I. Rasseyaniye v atmosfere oksida ugleroda ot avtomobil'nogo transporta [Scattering in the atmosphere of carbon dioxide from road transport]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2006, no. 1, pp. 38-41.

4. Pleshkhov Kh.Kh. *Okhrana okruzhayushchei sredy KBR* [Environmental protection KBR]. Nalchik, 2007, 136 p.

5. Bezuglaya E.Yu. *Monitoring sostoyaniya zagryazneniya atmosfery v gorodakh: rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy* [Monitoring of air pollution in cities: results of experimental studies]. Leningrad, 1986, 199 p.

6. Razumov V.V., Perekrest V.V. [Modern landscape and functional structure of the territory of Nalchik].

Ekologicheskie problemy g. Nal'chika [Ecological problems of Nalchik]. Nalchik, 1998, pp. 9-15.

7. Dakhova O.O. [Some results of the study of pollution of Nalchik truck]. *Ekologiya cheloveka: kontseptsiya faktorov riska, ekologicheskoi bezopasnosti i upravleniya riskami* [Human ecology: the concept of risk factors, environmental safety and risk management]. Coll. of art. V scientific-practical conf. Penza, 2008, pp. 39-42.

8. *Metodika opredeleniya vybrosov vrednykh (zagryaznyayushchikh) veshchestv v atmosferyni vozdukh ot avtotransportnykh potokov, dvizhushchikhsya po avtomagistralyam Sankt-Peterburga* [Method of determining emissions of harmful (polluting) substances into the air from the motor flows moving along St. Petersburg motorway]. Saint Petersburg, 2005, 8 p.

9. *Metodika rascheta kontsentratsii v atmosfernom vozdukh v vrednykh veshchestv, soderzhashchikhsya v vybrosakh predpriyatii* [The methodology for calculating the concentration in the air of harmful substances contained in industrial emissions]. OND-86. Leningrad, 1987, 78 p.

10. *Proektirovanie zashchity ot transportnogo shuma i vibratsii zhilykh i obshchestvennykh zdanii* [Design protection from traffic noise and vibrations of residential and public buildings]. Moscow, 1999, 20 p.

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАДАСТРОВОГО УЧЕТА

© 2016 г. Н.Р. Камынина, И.А. Успенский

CADASTRAL ACTIVITIES DATA CAPTURING

N.R. Kamynina, I.A. Uspenskiy

Камынина Надежда Ростиславовна – кандидат технических наук, заведующая кафедрой земельного права и государственной регистрации недвижимости, Московский государственный университет геодезии и картографии, пер. Гороховский, 4, г. Москва, 105064, e-mail: kamyninan@gmail.com

Nadezda R. Kamynina – Candidate of Technical Science, Head of Land Administration Department, Moscow State University of Geodesy and Cartography, Gorokhovskii Lane, 4, Moscow, 105064, Russia, e-mail: kamyninan@gmail.com

Успенский Иван Александрович – старший преподаватель, кафедра земельного права и государственной регистрации недвижимости, Московский государственный университет геодезии и картографии, пер. Гороховский, 4, г. Москва, 105064, e-mail: uspenskiy.ivan@gmail.com

Ivan A. Uspenskiy – Senior Lecturer, Land Administration Department, Moscow State University of Geodesy and Cartography, Gorokhovskii Lane, 4, Moscow, 105064, Russia, e-mail: uspenskiy.ivan@gmail.com

Рассматриваются и анализируются отечественные и зарубежные кадастровые системы. Показано, что в зарубежных системах, в отличие от отечественных, преобладают данные о землях сельскохозяйственного назначения, а не об объектах городской инфраструктуры. Большинство земельно-информационных систем кадастрового учёта созданы на основе цифровых кадастровых карт, при этом исследуемые их модели содержат широкий диапазон информации различного характера в виде пространственно ориентированных данных. Предлагается концептуальная модель информационного обеспечения кадастрового учёта, которая соответствует и концепции развития Единой федеральной системы недвижимости.

Ключевые слова: кадастр недвижимости, карты, данные, информационная система, регистрация недвижимости.

This article discusses and analyzes the domestic and foreign inventory system, characterized by a lack of data about the objects of city infrastructure, they are dominated by data on agricultural lands. It is shown that the majority of land and cadastral registration of information systems created on the basis of digital cadastral maps, while the studied model of information support cadastral registration contain a wide range of information of various kinds, provided spatially-oriented data. It proposes a conceptual model of information support of cadastral, which corresponds to the concept of a unified federal system of property information.

Keywords: read estate, cadastre, mapping, data, information system, registration of real estate.

Организационная структура зарубежных кадастровых органов отличается от государства к государству, но при этом содержит общую логику построения для большинства европейских стран. Очевидная тенденция интеграции земельных и кадастровых информационных систем нашла выражение в пилотном проекте Европейского союза по созданию Единой европейской информационной системы (EULIS). В проекте EULIS отражена система интеграции, приведенная на рис. 1.

Зарубежный опыт свидетельствует о том, что потребности пользователей кадастровой информации значительно превышают существующий потенциал кадастровых систем. Статистика показывает устойчивый спрос на пространственные (картографические) данные, включающие не только информацию о границах участков, но и топографические данные в виде карт или ортофотос-

нимков. Определился спрос на расширение представления данных о разрешенных видах использования и ограничениях в виде пространственных объектов [1].

Большинство зарубежных кадастровых систем отличаются отсутствием данных об объектах городской инфраструктуры и преобладанием данных о землях сельскохозяйственного назначения.

Сравнительный анализ информационного обеспечения кадастрового учёта показывает, что в основном земельно-информационные системы создаются на базе цифровых кадастровых карт, при этом исследуемые модели информационного обеспечения содержат широкий диапазон информации социально-экономического, технического, экологического и другого характера, представленной пространственно ориентированными данными.

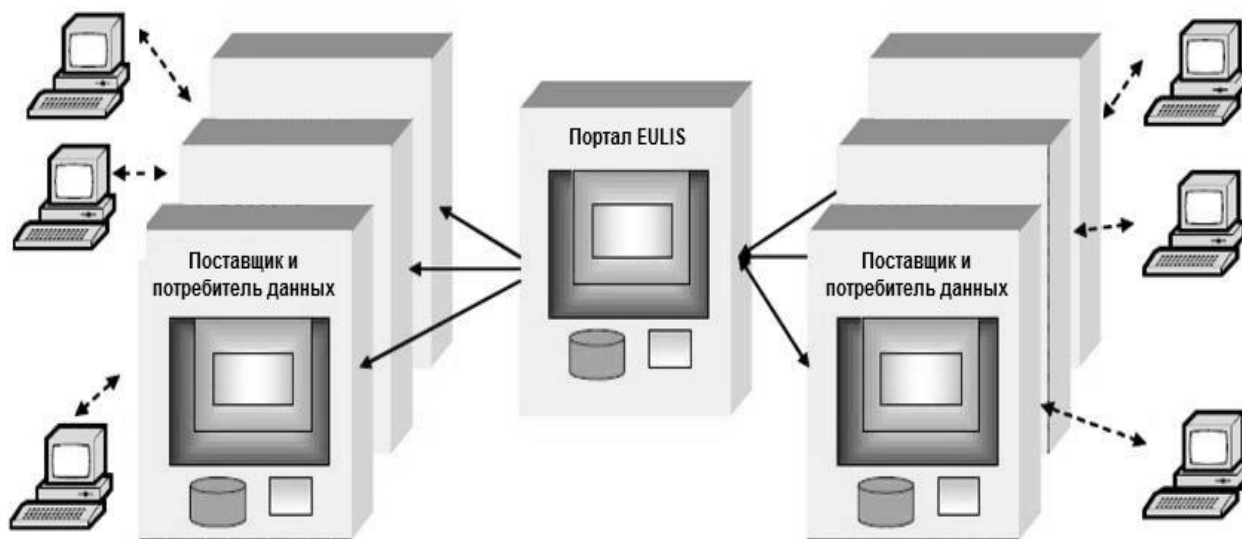


Рис. 1. Модель интегрированной европейской земельной информационной системы. Проект EULIS
/ Fig. 1. Model of integrated European land information system. Project EULIS

Кадастровый учет большинства стран Западной Европы, США и Канады служит основой для построения и поддержания различных видов реестров (недвижимости, лесного, водного, природоохранного, градостроительного и т.д.) и базируется на сведениях о земельных участках, что обеспечивает информационное взаимодействие всех видов реестров, оперативные экспорт и импорт данных об объектах учета, эффективность кадастровых систем и их минимально необходимое число [2].

Наиболее эффективными являются информационные системы в тех государствах, где регистрационно-учетные системы интегрированы в рамках одной организации. Это свойственно таким странам, как Австралия, Швеция, Финляндия, Нидерланды и др.

В экономически развитых зарубежных странах принято единство судьбы земельного участка и объектов недвижимого имущества, прочно связанных с землей. Земельный кадастр превращается в этих государствах в «кадастр недвижимости». Этот положительный опыт характерен в первую очередь для Швеции, Франции, Австралии. Он позволяет пользователям земельных информационных систем экономить время и средства в ходе передачи прав собственности на недвижимое имущество, а государству – эффективнее управлять этими процессами [3].

Мы полагаем, что кадастровый учет целесообразно рассматривать как совокупность информационных, технических, экономических и юридических отношений, связанных как с созданием новых

объектов недвижимости, так и с оборотом и эксплуатацией уже существующих объектов [4].

Спектр запросов, обрабатываемых Росреестром и его территориальными органами ежедневно, выявляет проблемы, связанные, прежде всего, с большим количеством неучтенных объектов недвижимости (рис. 2).

Одним из путей развития института кадастрового учета недвижимости является комплексная интеграция государственного кадастра недвижимости (ГКН) и Единого государственного реестра прав.

Для формирования концептуальной модели информационного обеспечения кадастрового учета недвижимости необходимо учитывать следующие аспекты: информационный, организационно-управленческий, экономический, правовой [3].

Совокупность этих аспектов представлена на схеме ГКН, показанной на рис. 3.

Исходными предпосылками к созданию концептуальной модели информационного обеспечения кадастрового учета недвижимости, по мнению автора, являются возможность поэтапного внедрения модели; гармонизация и оптимизация перечня реквизитов, подлежащих включению в реестр; минимизация и последующее исключение информационного дублирования, а также укрепление межведомственного информационного взаимодействия и защита информации [5]; непрерывность процесса кадастрового учета недвижимости.

Непрерывность процесса кадастрового учета недвижимости в существующем виде иллюстрируется схемой, представленной на рис. 4.

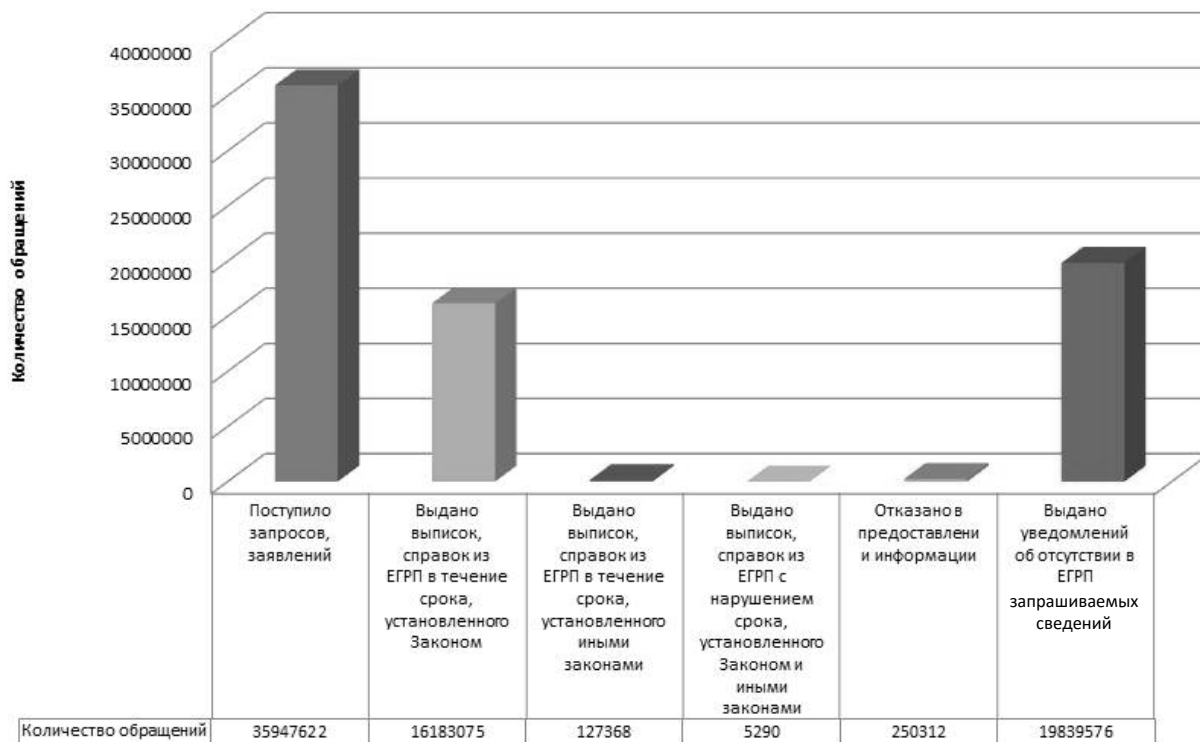


Рис. 2. Запросы, обработанные Росреестром и его территориальными органами в 2015 г.
 / Fig. 2. Requests analyzed by Rosreestr and it's territorial branches in 2015



Рис. 3. Система ГКН (институциональная схема)
 / Fig. 3. System of the state real estate cadastre (Institutional scheme)

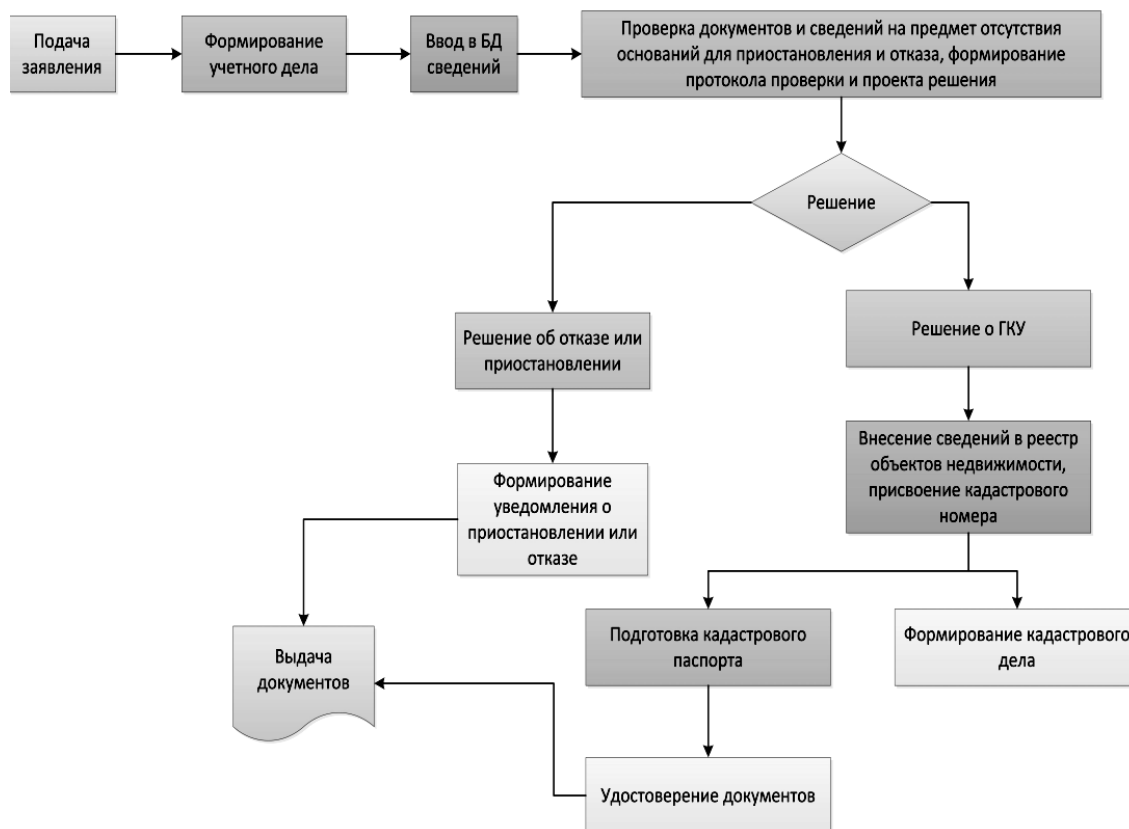


Рис. 4. Функциональная схема государственного кадастрового учета (ГКУ) недвижимости / Fig. 4. Functional scheme of the state real estate cadastre

Потенциал существующей системы государственного ГКУ недвижимости, по данным Росреестра, характеризуется параметрами учетно-регистрационной деятельности (рис. 5).

Анализ практики применения ISO 19152:2012 «Географическая информация. Административная модель земельных угодий. LADM» показывает, что предлагаемая концептуальная модель соответствует и концепции развития Единой федеральной информационной системы недвижимости.

Полагаем целесообразным внесение изменений в действующее законо-

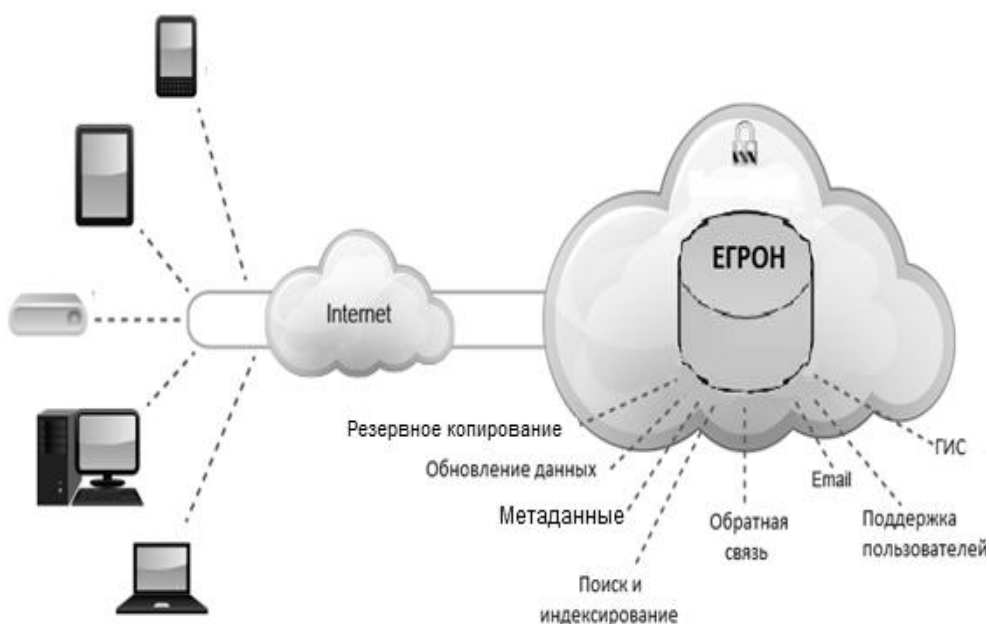


Рис. 5. Технические параметры предлагаемой концептуальной модели / Fig. 5. Technical parameters of the developed conceptual model

нодательство в части организации кадастрового учета недвижимости и государственной регистрации прав на недвижимое имущество и сделок с ним [3] (рис. 5).

Предлагаемая концептуальная модель информационного обеспечения кадастрового учета недвижимости является совокупностью мер по структурному реформированию учетно-регистрационной деятельности и предполагает консолидированное объединение ГКН и ЕГРП, основанное на унификации данных – создание Единого государственного реестра объектов недвижимости, а также оптимизацию полномочий государственных органов по оказанию государственных услуг в сфере кадастрового учета недвижимости.

Литература

1. Malinnikov V., Kamynina N. Land administration systems and administration. TEMPUS project in Russia // TS 3G – Surveying Education Curricula I 1/11, FIG Congress 2010, Facing the Challenges – Building the Capacity. Sydney, Australia, 2010.

2. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. М., 2011. 228 с.

3. Камынина Н.Р. Система информационного обеспечения кадастрового учета // Бизнес в законе. 2013. № 5. С. 126–131.

4. Камынина Н.Р. Предпосылки развития системы информационного обеспечения кадастрового учета и регистрации прав // «Черные дыры» в российском законодательстве. 2013. № 5. С. 44–47.

5. Варламов А.А. Основы кадастра недвижимости. М., 2013. С. 77–94.

References

1. Malinnikov V., Kamynina N. Land administration systems and administration. TEMPUS project in Russia. TS 3G - Surveying Education Curricula I 1/11, FIG Congress 2010, Facing the Challenges - Building the Capacity. Sydney, Australia, 2010.

2. Tsvetkov V.Ya. *Geoinformatsionnye sistemy i tekhnologii* [Geographic information systems and technologies]. Moscow, 2011, 228 p.

3. Kamynina N.R. Sistema informatsionnogo obespecheniya kadastravogo ucheta [Information support system of cadastral registration]. *Biznes v zakone*. 2013, no. 5, pp. 126-131.

4. Kamynina N.R. Predposylki razvitiya sistemy informatsionnogo obespecheniya kadastravogo ucheta i registratsii prav [Prerequisites for the development of the system of information support of cadastre and registration of rights]. «Chernye dyry» v rossiiskom zakonodatel'stve. 2013, no. 5, pp. 44-47.

5. Varlamov A.A. *Osnovy kadastra nedvizhimosti* [Fundamentals of real estate cadastre]. Moscow, 2013, pp. 77-94.

АЭРОСТАТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

© 2016 г. Х.Д. Канониди, К.Х. Канониди, Т.А. Митрофанова

BALLOON STUDIES OF NEAR-EARTH SPACE

Kh.D. Kanonidi, K.Kh. Kanonidi, T.A. Mitrofanova

Канониди Харлампий Дмитриевич – кандидат физико-математических наук, заведующий сектором магнитно-ионосферных взаимодействий, Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Калужское шоссе, 4, г. Троицк, г. Москва, 142190, e-mail: kanonidi@izmiran.ru

Kharlampii D. Kanonidi – Candidate of Physics and Mathematics, Head of the Sector of Magnetic-Ionospheric Interactions, Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences, Kaluzhskoe Highway, 4, Troitsk, Moscow, 142190, e-mail: kanonidi@izmiran.ru

Канониди Константин Харлампиевич – старший научный сотрудник, Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Калужское шоссе, 4, г. Троицк, г. Москва, 142190, e-mail: kkkh@izmiran.ru

Konstantin Kh. Kanonidi – Senior Researcher, Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences, Kaluzhskoe Highway, 4, Troitsk, Moscow, 142190, e-mail: kkkh@izmiran.ru

Митрофанова Тамара Алексеевна – старший научный сотрудник, Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Калужское шоссе, 4, г. Троицк, г. Москва, 142190.

Tamara A. Mitrofanova – Senior Researcher, Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences, Kaluzhskoe Highway, 4, Troitsk, Moscow, 142190.

Рассмотрены основные направления геофизических измерений на высотных дрейфующих аэростатах. Указываются преимущества и недостатки аэростатных исследований. Запуски аэростатов по проекту «Омега» позволили получить согласованные по времени данные об электромагнитных процессах на крайних точках одной магнитной силовой линии. Его продолжением и развитием стал проект САМБО. Эти комплексные исследования позволили выяснить многие вопросы, относящиеся к природе и динамике вторжения энергичных частиц в верхнюю атмосферу Земли. Кроме того, был обнаружен двухступенчатый механизм ускорения авроральных электронов. Подтверждена связь горизонтальной составляющей электрического поля на борту высотных дрейфующих аэростатов с наземными наблюдениями вертикальной составляющей атмосферного электричества. Впервые зарегистрированы суббури одновременно на борту аэростатов и на поверхности Земли.

Ключевые слова: аэростаты, магнитное и электрическое поле, ионосфера, пульсации, магнитные бури.

The basic directions of geophysical measurements on drifting high-altitude balloons are considered in the article. Indicate the advantages and disadvantages of balloon research. Starts the project balloons “Omega” made it possible to receive the agreed time data on electromagnetic processes at the extreme points of a magnetic line of force. Its continuation and development was the project “SAMBO”. These comprehensive studies have to figure out many of the issues relating to the nature and dynamics of the invasion of energetic particles in Earth's upper atmosphere. In addition was the discovery of a two-stage mechanism of acceleration of auroral electrons. Confirmed connection of the horizontal component of the electric field on board the drifting high-altitude balloons with ground-based observations of the vertical component of atmospheric electricity. For the first time registered substorm while on board the balloon and on the Earth's surface.

Keywords: balloon, magnetic and electric fields, ionosphere, pulsation, magnetic storm.

Введение

Проведение дрейфующих аэростатных наблюдений в научно-исследовательских работах берет начало с 20-х гг. XX в. С их помощью проводят исследования структуры геомагнитного поля в пространственной и частотной областях, изучают процессы формирования магнитных аномалий в околоземном пространстве, а последующая ком-

плексная физико-геологическая интерпретация аномального магнитного поля позволяет уточнить представление о строении тектоносферы. Аэростатные исследования помогают выявить магнитосферно-ионосферные и литосферные процессы, взаимодействие ионосферы и магнитосферы, поведение электрического поля околоземного космического пространства. Изучение сейсмоактивных, геотермальных и вулканических зон, исследования

зон техногенной и антропогенной активности – это области, в которых используются аэростаты.

Объекты и методы исследований

Преимущества аэростатных измерений. Атмосферный слой между земной поверхностью и ионосферой (высота 20–28 км) является важным и сложным звеном цепи литосфера – ионосфера – магнитосфера.

В частности, проблема космических предвестников землетрясений указывает на существенные воздействия процессов в литосфере на плазму ионосферных слоев. Существующие теоретические модели литосферно-ионосферного взаимодействия включают в себя атмосферные электрические поля. Это делает необходимым их измерение с помощью аэростатов. Использование процессов в стратосфере с помощью высотных аэростатов должно существенно повлиять на развитие этих модельных представлений, особенно в свете практического прогноза и мониторинга природных и искусственных катастроф.

Для КНЧ-, ОНЧ-измерений это отсутствие промышленных помех, для измерений электрического поля – избавление от вклада атмосферного электричества, для регистрации полярных сияний – отсутствие засветки от близлежащих поселений, независимо от погодных условий, сокращение фона атмосферного света.

Изучение и мониторинг радиационной обстановки в верхних слоях атмосферы (25–30 км) для стратосферных полетов (авиация).

Мониторинг климатообразующих и экологически опасных районов. Активные эксперименты. Это новое направление исследований верхних слоев в стратосфере связано с искусственно контролируемой инжекцией энергичных частиц и волновых пучков с борта аэростатов. Такие исследования направлены на диагностику малоисследованного района высот (30–50 км), а также на моделирование ситуаций в природе, аналогичных аномальным молниевым разрядам. Важным пунктом этих работ является проблема аномалий озонного слоя – искусственная инжекция в естественных условиях дает возможность воспроизводить ситуацию генерации / уничтожения озона и проверять основные звенья кинематики этих ресурсов.

Рассмотрение вопроса о возможности установки на аэростате экономичного ионозонда для вертикального, наклонного и трансionoсферного зондирования не лишено смысла. Методики восстановления пространственной структуры ионосферы и выделения омического затухания на трассах с использованием коррекции модели ионосферы при

организации обработки больших массивов экспериментальной информации позволили бы внести существенный вклад в проблему совершенствования глобальных моделей ионосферы.

Известно, что крупномасштабные явления, такие как землетрясения, извержение вулканов, тайфуны и т.п., приводят к возникновению электромагнитных возмущений в широком частотном диапазоне. Экспериментальные измерения свидетельствуют, что имеют место специфические проявления в вариациях квазипостоянных магнитных и электрических полей и электромагнитных излучений вблизи земной поверхности, в атмосфере и околоземном космическом пространстве.

Недостатком аэростатного метода является ограничение спектрального диапазона за счет атмосферной отсечки (не ниже 15–20 кэВ) и типа частиц (электроны).

Комплекс аэростатных наблюдений. Измерения на борту аэростатов в высоких широтах являются одним из ведущих методов исследования магнитосферных процессов. Наибольшие возможности в этом отношении представляет изучение процессов вторжения авроральных частиц в высокоширотную ионосферу во время суббурь, сопровождающихся полярными сияниями, возмущениями магнитного поля Земли, поглощением космического радиоизлучения, очень низкочастотными излучениями, тормозным рентгеновским излучением и т. п. Основное достоинство аэростатных измерений энергичных частиц заключается в значительном ослаблении экранирующего действия земной атмосферы. И если космические лучи в искаженном виде все же достигают поверхности Земли, то по частицам магнитосферного происхождения лишь аэростатные измерения аврорального рентгеновского излучения энергичных электронов дали первые результаты прямого измерения потока и энергетического спектра.

Первый советско-французский проект «Омега» [1], цель которого состояла в изучении возмущений околоземного космического пространства путем комплексных одновременных измерений наземными методами и с помощью аэростатов в магнитно-сопряженных районах Архангельская область – остров Кергелен (сопряженность тех или иных районов поверхности Земли обусловлена общей геометрией ее магнитного поля). Название проекта объясняется тем, что силовая трубка геомагнитного поля, «соединяющая» эти районы, по форме напоминает заглавную греческую букву «омега». Сопряженных точек, т.е. точек в различных полушариях, соединенных одной и той же силовой линией, – бесчисленное множество. Уникальность пары Архангельская область – остров

Кергелен в том, что оба конца силовой трубки геомагнитного поля приходятся на сушу в субавроральных зонах, где возмущения магнитосферы Земли наблюдаются чаще, чем в средних широтах, и вместе с тем реже, чем в авроральных (зонах полярных сияний), где иногда вообще трудно разобратся в общей картине явлений.

В период эксперимента «Омега» во второй половине февраля 1971 г. была осуществлена целая серия сопряженных полетов аэростатов в Архангельской области и на острове Кергелен. Полеты были проведены в достаточно возмущенные периоды. Следует отметить, что в 1971 г. впервые в Советском Союзе удалось выполнить на аэростатах прямые измерения электрических полей магнитосферного происхождения. Комплексные исследования по советско-французскому проекту «Омега» проясняют многие вопросы, относящиеся к природе и динамике вторжения энергичных частиц в верхнюю атмосферу Земли, оценивают взаимосвязь проявлений магнитосферных возмущений, степень их магнитной сопряженности и в конечном итоге дают физическую картину развития бури в околоземном космическом пространстве (пока еще остающаяся неясной). Результаты таких исследований имеют не только общезначимое (гносеологическое) значение. Использование их в прогнозировании возмущенности полярной ионосферы и магнитного поля Земли, в разработке методов увеличения надежности радиосвязи в полярных районах важно для практических нужд.

Запуски аэростатов по проекту «Омега» позволили получить согласованные по времени данные об электромагнитных процессах на крайних точках одной магнитной силовой линии. Один из важных результатов этого проекта – обнаружение микровсплесков аврорального рентгеновского излучения на субавроральных широтах в полуденные и ранние утренние часы по местному геомагнитному времени.

Во время проведения проекта «Омега» выявлено общее подобие вариаций потока тормозного рентгена, совпадающих с магнитными бурями и усилениями ионосферного поглощения. Микровсплески тормозного рентгеновского излучения, однако, не проявляют сопряженности. Большие всплески соответствуют крупномасштабным высыпаниям, что подтверждается их подобием в сопряженных точках, несмотря на значительное удаление аэростатов по долготе и широте от сопряженных областей, а микровсплески – локальным неустойчивостям магнитосферной плазмы при возмущениях.

Естественным продолжением и развитием проекта «Омега» стал проект САМБО (Синхронные авроральные множественные баллонные observa-

ции), в ходе комплексных исследований по проекту которого были получены очень интересные результаты, сочетавшие наземные, аэростатные, ракетные и спутниковые методы [2, 3]. На рис. 1 приведено схематическое размещение в аэростатном контейнере электромагнитного комплекса. В ходе этих экспериментов с территории Швеции (г. Кируна, полигон Эсрейндж) осуществлялся запуск французских высотных аэростатов с советской и французской научной аппаратурой, предназначенной для исследования тормозного рентгеновского излучения, свечения полярных сияний и электрического поля. В соответствии с зимним ветровым режимом на высотах 30–40 км аэростаты дрейфовали на восток, проходя над территориями Швеции, Финляндии и Советского Союза, что с учетом определенных интервалов между запусками обеспечивало одновременность и длительность научных измерений вдоль трасс дрейфа аэростатов. Прием радиотелеметрической информации с борта аэростатов осуществлялся в 5 приемных пунктах (Кируна, Апатиты, Шойна, Нарьян-Мар, Хальмер-Ю). Радиолокационное сопровождение аэростатов обеспечивало информацию о их положении в различные моменты времени.

В ходе экспериментов широко использовались наземные методы исследования возмущений околоземного космического пространства на специально организованной сети опорных и экспедиционных пунктов в высоких широтах.

Полеты аэростатов во время САМБО-74 (февраль-март 1974 г.) проходили в период работы спутника «Ореол-2», на котором в рамках программы «Интеркосмос» советские и французские ученые осуществляли, в частности, измерения потоков электронов и протонов различных энергий с целью исследования полярных сияний. В космической части эксперимента участвовал спутник «Интеркосмос-10», на котором ученые социалистических стран, включая СССР, проводили измерения вариаций электрического и магнитного полей, потоков малоэнергичных частиц, концентрации и температуры ионосферной плазмы, очень низкочастотных излучений.

В этот же период на острове Хейса были осуществлены два запуска ракет с аппаратурой для измерения электрического поля, приуроченные к моментам прохождения спутника «Интеркосмос-10» через плоскость магнитного меридиана острова Хейса и полетам аэростатов с аппаратурой для измерения электрического поля.

Комплекс спутниковых, аэростатных, ракетных и наземных исследований, проводившихся по скоординированной программе, обеспечивал возможность одновременного «позтажного» изучения

причинно-следственных связей процессов, протекающих в магнитосфере и ионосфере Земли.

земном космическом пространстве, во многом остающиеся пока неясными.

Для исследования солнечно-магнитосферно-ионосферных связей большое значение имеет измерение электрического поля на разных высотах.

Систему околоземная межпланетная среда – магнитосфера – ионосфера – верхняя атмосфера Земли вправе считать связанной электродинамической системой, поскольку она включает в себя магнитные и электрические поля и ионизованную среду с разной степенью ионизации. По изменению отдельных параметров в одной части системы можно получить представление о состоянии параметров в другой части. В исследовании электродинамической связи между возмущениями в различных частях такой системы особую роль приобретает электрическое поле.

В настоящее время хорошо исследованы крупномасштабные электрические поля магнитосферной конвекции, имеется довольно много работ, посвященных тонкой структуре электрического поля, связанного с дугами полярных сияний и высыпаниями энергичных частиц. Наименее изученными являются среднемасштабные электрические поля, связанные с суббурями и имеющие пространственные масштабы сотни километров и временные – несколько минут.

В силу изменчивости таких полей, статистические методы трудно применимы, а измерения на ракетах и низкоорбитальных спутниках кратковременны. Наиболее пригодны для таких исследований измерения методом некогерентного рассеяния и аэростатные измерения. Преимущество аэростатных измерений заключается в их большей чувствительности и селективности.

Достигнуть существенного прогресса в исследовании среднемасштабной структуры электрического поля можно только при наличии обширного комплекса вспомогательных наземных измерений, не исключая однако аэростатные, спутниковые и ракетные измерения электрических полей.

Очень хорошие возможности в этом плане представляют запуски аэростатов с северо-западной части Европы. Трассы аэростатов в этом случае проходят над территорией, где имеется очень плотная сеть наземных станций (Скандинавия, Кольский полуостров, Архангельская область).

Генерация электрических полей в ионосфере в высоких широтах, которая в основном определяет магнитно-ионосферные возмущения, оказывает существенное влияние на условия распространения радиоволн в полярных районах.

В этом плане большое значение придается решению обратной задачи – изучению свойств среды

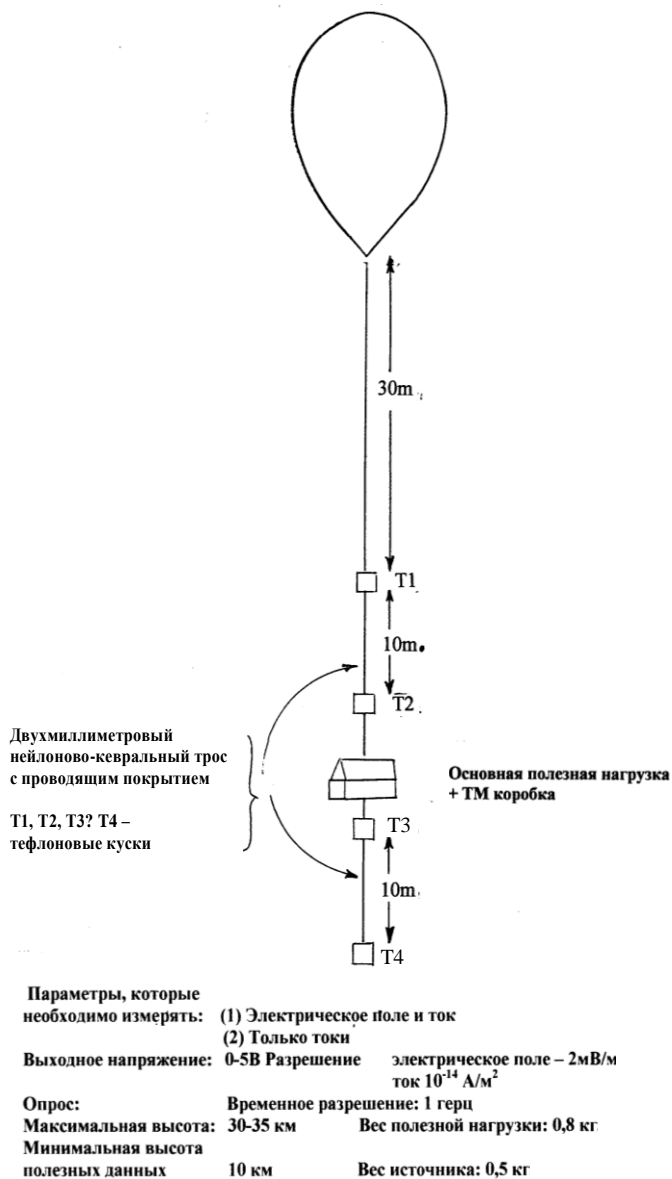


Рис. 1. Размещение в аэростатном контейнере электромагнитного комплекса / Fig. 1. Accommodation of electromagnetic complex in a balloon container

САМБО-79 был приурочен к проектам европейского спутника ГЕОС-2 и спутника «Интеркосмос-18».

Такие комплексные исследования позволили выяснить многие вопросы, относящиеся к природе и динамике вторжения энергичных частиц в верхнюю атмосферу Земли, оценить взаимосвязь различных проявлений магнитосферных возмущений и в конечном итоге исследовать физические механизмы, определяющие фазы развития бури в около-

по особенностям распространения электромагнитных волн.

Эта задача успешно может быть решена только при комплексном подходе к изучению среды – наземные наблюдения, аэростатные, ракетные и спутниковые.

Одним из перспективных методов изучения электрических полей магнитосферно-ионосферного происхождения являются измерения вертикальной компоненты электрического поля вблизи поверхности Земли, проводимые сотрудниками ИЗМИРАН и ЛЭМПЗ РИСИ.

Проведенные измерения вертикальной компоненты электрического поля вблизи поверхности Земли одновременно с аэростатными измерениями электрических полей изменили общепринятое представление о том, что возмущения электрических полей магнитосферно-ионосферного происхождения можно регистрировать только спутниковыми, ракетными и аэростатными методами.

В дальнейшем продолжение одновременных измерений электрических полей на всех уровнях позволит заложить основу на базе наземных измерений электрических полей возможности нового более эффективного способа краткосрочного прогнозирования магнитных возмущений.

Известно, что пространственно-временная изменчивость атмосферного электрического поля (АЭП) вблизи поверхности в высоких широтах при выполнении условий хорошей погоды достаточно хорошо отражает соответствующие вариации ионосферного потенциала. Это объясняется тем, что в Арктике и Антарктиде, особенно в зимнее время, вблизи земной поверхности существуют устойчивые и достаточно мощные области температурной инверсии и, следовательно, практически отсутствуют турбулентные конвективные токи, которые при отсутствии гроз являются основной причиной вариаций АЭП. Выполнение условий «хорошей погоды» (отсутствие мощной кучевой облачности, осадков, ветра, не превышающего 6 м/с, и поземки) существенно снижает влияние других локальных метеофакторов на вариации АЭП.

Однако процесс проникновения электрических полей из ионосферы через стратосферу к поверхности Земли изучен в настоящее время недостаточно полно, особенно в экспериментальном плане. Характер этого проникновения зависит от пространственных масштабов неоднородности электрического поля, от профиля проводимости атмосферы, изменчивость которого связана с потоками авроральных электронов.

Измерения, проведенные во время аэростатного эксперимента САМБО-79 в авроральной и субавроральной зонах северного полушария, показали, что

во время интенсивных магнитосферных возмущений, при выполнении условий хорошей погоды вариации напряженности АЭП вблизи земной поверхности в существенной мере отражают динамику ионосферных электрических полей, измеренных с помощью дрейфующих высотных аэростатов.

Во время одного из экспериментов САМБО-79 проводились на аэростате измерения электрического поля и концентрации частиц в спокойных геомагнитных условиях на высоте порядка 36 км в точке с географическими координатами $\varphi=68^{\circ}22'$; $\lambda=26^{\circ}46' E$.

Полученная абсолютная величина горизонтальной составляющей вектора электрического поля равнялась ~ 27 мВ/м, а концентрация положительных ионов составляла $\sim 1,6 \cdot 10^2 \text{ см}^{-3}$.

В этом полете электрическое поле измерялось двумя парами зондов в виде дисков диаметром 300 мм, покрытых графитом, входное сопротивление усилителя было $\sim 10^{12}$ Ом. Расстояние между зондами было ~ 6 м. Были зарегистрированы флуктуации электрического поля с периодом 10 мин. Полет проходил в период умеренной активности между двумя суббури.

Перед началом второй суббури были зарегистрированы пульсации особого типа с периодом 3–4 с, возможно, связанные с развитием плазменной неустойчивости. Через несколько десятков секунд после вспышки этих короткопериодных пульсаций появились пульсации электрического поля в области частот $P_1 2$ ($T \sim 50$ с), которые сопровождалась похожими пульсациями в геомагнитном поле. Предполагается существование связи этих пульсаций с западной компонентой конвекционного электрического поля.

Запуски 1979 г. были исключительно удачными. Подтвердились известные результаты измерений амплитуды и ориентации поля в течение суббури, обнаружены бухтообразные изменения амплитуды поля в относительно спокойное время в дневном секторе, пространственные неоднородности поля, регулярные и нерегулярные пульсации. Особый интерес представляют данные измерения электрического поля одновременно на двух аэростатах, разнесенные на 500 км по долготе (5–6 марта 1979 г.). Удалось получить достаточно полную картину поведения электрического поля вблизи разрыва Харанга.

Очень интересные идеи высказаны в работе [4]. В ней отмечается факт существования связи с высокой статистической зависимостью между параметрами солнечного ветра и величиной электрического поля. На основе обратных корреляций между скоростью солнечного ветра, с одной стороны, и электрическим потенциалом ионосферы и галакти-

ческой космической радиацией – с другой, делается вывод, что солнечная активность модулирует электрическое поле Земли за счет своего влияния на ионизацию приземной атмосферы, основным источником которой являются галактические космические лучи.

Предлагается ввести в использование дополнительно к существующим геомагнитным индексам геоэлектрический индекс, который должен характеризовать состояние электрического поля.

В средних и низких широтах амплитуда вариаций ионосферных электрических полей меньше, а интенсивность конвекционных токов в приземном слое атмосферы значительно выше, чем в высоких широтах. Поэтому здесь трудно ожидать корреляции между вариациями напряженности электрических полей, измеренных на поверхности Земли и на аэростатах, поскольку толщина приземного обменного слоя – 2–3 км, а горизонтальный пространственный масштаб конвекционных токовых ячеек – порядка нескольких сотен метров, то в средних и низких широтах для выделения по наземным атмосферно-электрическим данным крупномасштабных вариаций, имеющих ионосферную природу, целесообразно проводить атмосферно-электрические измерения либо на высокогорных станциях, либо с помощью локальной измерительной сети, состоящей из 3–5 станций с характерными базами 5–7 км.

Таким образом, измерение вариаций АЭП вблизи земной поверхности на сети высокоширотных станций может дать важную информацию о пространственно-временной структуре электрического поля в ионосфере. Кроме того, поскольку АЭП является важным погодообразующим фактором [5], исследование закономерностей и механизмов солнечно-магнитосферного взаимодействия на АЭП важно для изучения влияния солнечной активности на погоду и климат.

В связи с этим проведение синхронных спутниковых, аэростатных и наземных измерений электрического поля позволит решить следующие научные задачи:

1. Проникновение электрического поля к поверхности Земли. На основе модельного анализа показано, что неоднородности электрического поля в ионосфере, горизонтальный масштаб которых не менее нескольких сотен километров, проникают к земной поверхности, и вызванные ими вариации АЭП могут достигать 20–30 % от среднего уровня, т.е. вполне могут быть зарегистрированы экспериментально. Оценки, сделанные в рамках нестационарных моделей проникновения электрического поля из ионосферы к поверхности Земли,

и результаты экспериментальных исследований показывают, что во время суббурь, особенно вблизи области разрыва Харанга, вариации АЭП могут значительно превышать 30 %. Синхронные измерения электрического поля на спутниках, аэростатах и на поверхности Земли могут послужить основой для экспериментальной проверки характера проникновения к Земле электрических полей с различной пространственно-временной структурой и для обоснования метода наземной диагностики магнитосферных электрических полей.

2. Воздействие солнечно-магнитосферных факторов на высотный профиль проводимости атмосферы. Одним из механизмов воздействия солнечно-магнитосферных факторов на высотный профиль АЭП является изменение профиля проводимости на высотах $h=50$ км потоками солнечных протонов, магнитосферных возмущений. Существует ряд модельных оценок эффективности такого механизма. Однако экспериментально данный вопрос изучен недостаточно. Для достижения прогресса в этом направлении чрезвычайно полезны одновременные измерения электрических полей на искусственных спутниках Земли, аэростатах и вблизи поверхности Земли.

3. Контроль активности тропосферных источников электрических полей. Возмущения АЭП, генерируемые в тропосфере грозowymi, конвекционными и другими локальными источниками, могут проникать в стратосферу, ионосферу и магнитосферу и служить помехой при спутниковых и аэростатных исследованиях электрических полей магнитосферной природы. Поэтому для правильной физической интерпретации результатов спутниковых и аэростатных измерений электрического поля целесообразна непрерывная регистрация АЭП вблизи поверхности Земли на сети высокоширотных станций.

Результаты измерения на аэростатах на разных высотах электромагнитных процессов. В 2000 г. совместно с индийскими учеными Института геомагнетизма (г. Бомбей) в экспедиционных условиях в обсерватории Алибас (Индия) был успешно запущен метеорологический баллон с измерителем атмосферного электричества на высоту подъема 25 м. Во время подъема метеорологического шара было проведено 3 контрольных измерения АЭП E_z : на поверхности Земли – 110 В/м; на высоте порядка 10 м – 80; на высоте 25 м – 180.

Полученные результаты показали, насколько существенно земной слой влияет на величину атмосферного электричества E_z . Из результатов других авторов [6] представляет определенный инте-

рес проведение на привязном аэростате измерения АЭП до высоты 1 км.

Впервые удалось одновременно зарегистрировать во время эксперимента САМБО вариацию вертикальной составляющей магнитного поля во время суббури (рис. 2) на поверхности Земли и на борту высотного дрейфующего аэростата. Во время измерений вертикальной составляющей магнитного поля аэростат находился вблизи наземного пункта Апатиты, где действовал наземный комплекс измерения вариаций магнитного поля Земли. При сравнении вариаций вертикальной составляющей магнитного поля на высоте 32 км на борту высотного дрейфующего аэростата с вариациями вертикальной составляющей магнитного поля по наземным данным в Апатитах было получено, что амплитуда вариации на борту аэростата была на 38 нТл больше. Основным источником, вызвавшим разницу амплитуд вариаций вертикальной составляющей, может быть электроструя, так как измерения на аэростате приблизились к ней на 32 км. В плане продолжения этих работ интересно иметь возможность получить достаточное количество данных в этом направлении для исследования тонкой структуры полярной электроструи.

Аэростатные градиентные магнитные измерения. Аэростатные градиентные магнитные съемки на высотных дрейфующих аэростатах на высоте 30–40 км могут быть использованы для исследования морфологии аномального магнитного поля и внутреннего строения литосферы Земли. Кроме того, эти измерения на борту аэростатов помогут исследованию структуры геомагнитного поля в пространственной и частотной областях, изучению процессов формирования магнитных аномалий в околоземном пространстве. Одновременно это позволит провести комплексную физико-геологическую интерпретацию аномального магнитного поля, уточнение представлений о строении тектоносферы.

В ИЗМИРАН впервые разработан аэростатный магнитный градиентометрический комплекс, предназначенный для измерения индукции геомагнитного поля, ее вертикального градиента и приращения градиента по вертикали в аэростатном полете на высоте 30–40 км [7].

Комплекс состоит из трех скалярных (ядерно-процессионных) автоматических магнитометров, равномерно разнесенных вдоль вертикальной линии в пределах 6 км. Аэростатный магнитный градиентометр предназначен для изучения морфологии геомагнитного поля и для исследования геолого-геофизических характеристик источников магнитных аномалий и может найти применение для

изучения строения и динамики земной коры, а также процессов, происходящих в ней.

Использование аэростатного магнитного градиентометра открывает новые возможности для поиска полезных ископаемых на глубоких горизонтах земной коры.

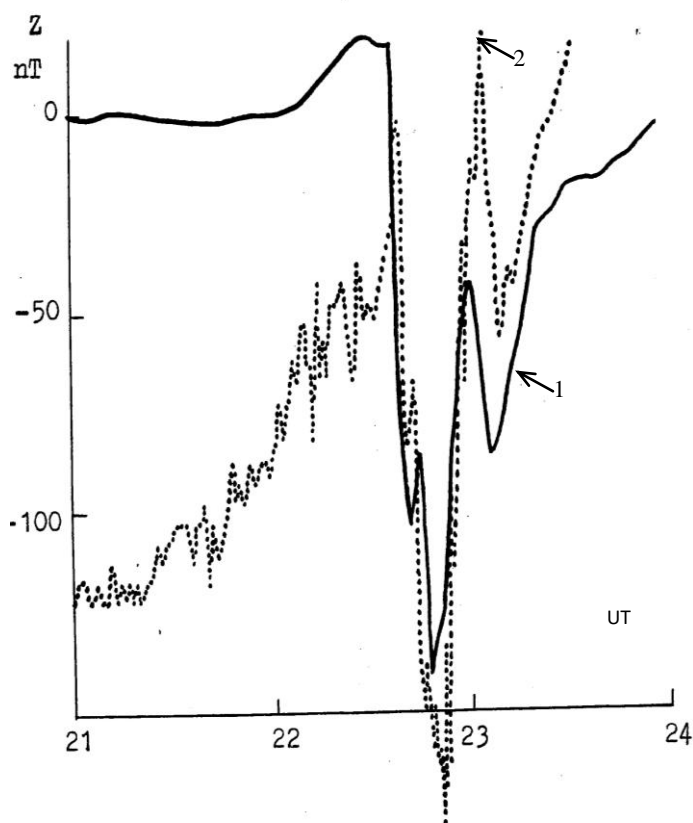


Рис. 2. Вариация вертикальной составляющей магнитного поля во время суббури: 1 — наземные измерения вариаций вертикальной составляющей магнитного поля (ВСМП) Земли в Апатитах; 2 — аэростатные измерения ВСМП Земли вблизи Апатит на высоте 32 км / Fig. 2. Variation of the vertical component of the magnetic field during substorms: 1 - ground measurements of variations of the vertical component of Earth's magnetic field in Apatity; 2 - balloon measurements of the vertical component of Earth's magnetic field in close proximity to Apatity at a height of 32 km

Возможность аэростатных наблюдений на планетах. В работе [8] рассмотрены баллонные системы, предназначенные для исследования на Земле, Венере и Марсе. Отмечено, что аэростаты могут быть использованы только для исследования атмосфер Земли, Венеры и, возможно, Титана. Атмосфера Марса слишком тонка, основной компонент планет-гигантов — водород.

Помощь аэростатных наблюдений для изучения происхождения жизни. Недавно ученым удалось оживить микроорганизмы в пробах воздуха, взятых аэростатом «почти в космосе» — на высоте 41 км над Индийским океаном. Такие же микробы и

грибки в изобилии встречаются в земной почве. В верхних слоях атмосферы их оказалось так много, что ученые заподозрили их космическое происхождение. Есть вероятность, что микробы и грибки вознеслись туда на конвекционных ветрах, но большие шансы у версии о том, что это космический «посев». Это может означать, что на Землю ежегодно «высыпается» целая тонна микроскопических пришельцев из космоса.

Исследования пульсаций вертикальной компоненты геоэлектрического поля чрезвычайно актуальны. Во время аэростатного эксперимента САМБО-76 на ст. Амдерма ($L=5,5$) при выполнении условий хорошей погоды были установлены закономерности появления и основные особенности пульсаций E_z в диапазонах P_1 1-2 и P_c 1 [9]. В обоих частотных диапазонах наблюдались пульсации E_z двух типов. К первому относятся пульсации E_z , коррелирующие с регулярными или нерегулярными пульсациями в геомагнитном поле и не сопровождающиеся систематическими изменениями уровня E^0_z . Ко второму – пульсации E_z , появляющиеся одновременно в обоих частотных диапазонах при увеличении E^0_z и не коррелирующие с пульсациями геомагнитного поля.

Диапазон P_1 1-2. За время эксперимента САМБО-76 (февраль-март 1976 г.) зарегистрировано около 70 цугов пульсаций E_z . Длительность каждого цуга – от 160 до 250 с. Амплитуда пульсаций диапазона E_z в большинстве случаев не превышает 20–30 В/м, иногда могут достигать 50–60 В/м. Сопоставление пульсаций E_z первого типа с одновременными записями геомагнитного поля обнаруживает хорошую корреляцию по амплитуде и длительности пульсаций.

Диапазон P_c -1. Амплитуда пульсаций E_z не превышает, как правило, 5 В/м, а основная частота приблизительно вдвое ниже, чем в H -компоненте. Спектр жемчужин в E_z обычно значительно шире, чем в магнитном поле, что связано, по-видимому, с влиянием на величину E_z большого числа неучтенных в анализе разнообразных факторов.

Полученные экспериментальные данные позволяют предположить существование двух различных механизмов возникновения пульсаций E_z . Один из них, по-видимому, связан с явлениями электромагнитного комплекса (пульсации первого типа), а другой – с атмосферными процессами (пульсации второго типа).

Космический аэростат. Аэростат в виде кольца диаметром около 18 м будет использован при спуске на Землю автоматических управляемых спутников и пилотируемых космических кораблей. Как показали эксперименты, проведенные американ-

скими исследователями, такой космический аэростат способен доставить на Землю подвешиваемый на стропах груз весом ~ 7 т.

Основные результаты

1. Одним из главных результатов всех этапов САМБО было обнаружение двухступенчатого механизма ускорения авроральных электронов – сначала в локальных областях на градиентной границе магнитосферы в кратковременные периоды взрывов активизации, а затем в крупномасштабном электрическом поле.

2. Дан краткий обзор основных аэростатных геофизических исследований.

3. Подтверждена связь горизонтальной составляющей электрического поля на борту высотных дрейфующих аэростатов с наземными наблюдениями вертикальной составляющей атмосферного электричества.

4. Впервые зарегистрирована суббуря одновременно на борту аэростатов и на поверхности Земли.

Литература

1. Жулин И.А. Проект «Омега» // Вестник АССР. 1971. № 10. С. 62–70.
2. Жавков В.А., Жулин И.А., Канониди Х.Д., Капаев И.М., Кобзев В.А., Корнилов И.А., Кузьмин И.А., Лазутин Л.Л., Мельников О.А., Пудовкин М.И., Сахаров Я.А., Турбин Р.И., Хрущинский А.А., Щур Л.И., Ющенко В.Ф. Исследования авроральных процессов с помощью групп дрейфующих аэростатов зимой 1974 г. по проекту САМБО // Магнитосферные возмущения и процессы зоны полярных сияний. Апатиты, 1976. С. 7–23.
3. Анисимов С.В., Дмитриев Э.М. Формирование электрического высотного профиля дня // Геомагнетизм и аэрномия. 1994. № 6. С. 205–214.
4. Markson R., Muir M. Solar Wind Control of the Earth's Electric Field // Science. 1980. Vol. 218, № 4427. P. 979–989.
5. Герман Дж.А., Голберг Р.А. Солнце, погода и климат. Л., 1981.
6. Дмитриев Э.М., Анисимов С.В. Отклик атмосферного электрического поля на вариацию проводимости в некотором слое // Геомагнетизм и аэрномия. 1994. Т. 34, № 3. С. 97–103.
7. Цветков Ю.П., Ротанова Н.М., Харитонов А.Л. Повысотная структура магнитных аномалий по градиентным измерениям в стратосфере // Геомагнетизм и аэрномия. 2014. Т. 44, № 3. С. 412–418.
8. Blamont J. Ballons on other planets. Scientific Ballooning – II. Proc. Sump. 6 Perspect. Sci. Ballooning During 1980 s, COSPAR 23 rd Plenary meet. Budapest,

2-14 June, 1980 // *Adv. Space Res.* 1981. Vol. 1, № 11. P. 63–69.

9. Бандилет О.И., Землянкин Г.И., Федоренко Ю.В. Пульсации вертикальной компоненты геоэлектрического поля в диапазонах Pi 1-2 и Pc1 // *Геомagnetизм и аэрoномия*. 1980. Т. 20, № 1. С. 165–168.

References

1. Zhulin I.A. Proekt “Omega” [Project “Omega”]. *Vestnik ASSR*. 1971, no. 10, pp. 62-70.

2. Zhavkov V.A., Zhulin I.A., Kanonidi Kh.D., Kapaev I.M., Kobzev V.A., Kornilov I.A., Kuz'min I.A., Lazutin L.L., Mel'nikov O.A., Pudovkin M.I., Sakharov Ya.A., Turbin R.I., Khrushchinskii A.A., Shchur L.I., Yushchenko V.F. [Investigations of auroral processes with the help of groups of drifting balloons in winter 1974 to project SAMBO]. *Magnitosfernye vozмущеcheniya i protsessy zony polyarnykh siyanii* [Magnetospheric disturbances and auroral zone processes]. Apatity, 1976, pp. 7-23.

3. Anisimov S.V., Dmitriev E.M. Formirovanie elektricheskogo vysotnogo profilya dnya [Formation of electric vertical profile of the day]. *Geomagnetizm i aeronomiya*. 1994, no. 6, pp. 205-214.

4. Markson R., Muir M. Solar Wind Control of the Earth's Electric Field. *Science*. 1980, vol. 2018, no. 4427, pp. 979-989.

5. German Dzh.A., Golberg R.A. *Solntse, pogoda i klimat* [The sun, weather and climate]. London, 1981.

6. Dmitriev E.M., Anisimov S.V. Otklik atmosfer-nogo elektricheskogo polya na variatsiyu provodimosti v nekotom sloe [The response of the atmospheric electric field on the conductivity variation in a layer]. *Geomagnetizm i aeronomiya*. 1994, vol. 34, no. 3, pp. 97-103.

7. Tsvetkov Yu.P., Rotanova N.M., Kharitonov A.L. Povysotnaya struktura magnitnykh anomalii po gradientnym izmereniyam v stratosfere [In high-rise structure of the magnetic anomalies by gradient measurements in the stratosphere]. *Geomagnetizm i aeronomiya*. 2014, vol. 44, no. 3, pp. 412-418.

8. Blamont J. Ballons on other planets. Scientific Ballooning - II. Proc. Sump. 6 Perspect. Sci. Ballooning During 1980 s, COSPAR 23 rd Plenary meet. Budapest, 2-14 June, 1980. *Adv. Space Res.* 1981, vol. 1, no. 11, pp. 63-69.

9. Bandilet O.I., Zemlyankin G.I., Fedorenko Yu.V. Pul'satsii vertikal'noi komponenty geoelektricheskogo polya v diapazonakh Pi 1-2 i Pc1 [The pulsations of the vertical component of the geoelectric field in Pi 1-2 and Pc1 bands]. *Geomagnetizm i aeronomiya*. 1980, vol. 20, no. 1, pp. 165-168.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЫ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ НА ОСНОВАНИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ Г. ТАГАНРОГА)

© 2016 г. Н.О. Корицова, Н.В. Гусакова, В.В. Петров

ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL STATUS OF SOILS OF URBAN AREAS ON THE BASIS OF INDICATORS OF BIOLOGICAL ACTIVITY (FOR EXAMPLE, TAGANROG)

N.O. Korikova, N.V. Gusakova, V.V. Petrov

Корицова Надежда Олеговна – аспирант, кафедра техносферной безопасности и химии, Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного федерального университета, ул. Чехова, 2, г. Таганрог, Ростовская область, 347922, e-mail: nadinkkka@inbox.ru

Nadezhda O. Korikova – Postgraduate, Department of Technosphere Safety and Chemistry, Institute of Nanotechnologies, Electronics and Equipment Engineering, Southern Federal University, Chekhov St., 2, Taganrog, Rostov Region, 347922, Russia, e-mail: nadinkkka@inbox.ru

Гусакова Наталья Владимировна – кандидат педагогических наук, доцент, кафедра техносферной безопасности и химии, Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного федерального университета, ул. Чехова, 2, г. Таганрог, Ростовская область, 347922, e-mail: gnv2007@yandex.ru

Nataliya V. Gusakova – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Department of Technosphere Safety and Chemistry, Institute of Nanotechnologies, Electronics and Equipment Engineering, Southern Federal University, Chekhov St., 2, Taganrog, Rostov Region, 347922, Russia, e-mail: gnv2007@yandex.ru

Петров Виктор Владимирович – доктор технических наук, профессор, кафедра техносферной безопасности и химии, Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного федерального университета, ул. Чехова, 2, г. Таганрог, Ростовская область, 347922, e-mail: vvp2005@inbox.ru

Viktor V. Petrov – Doctor of Technical Science, Professor, Department of Technosphere Safety and Chemistry, Institute of Nanotechnologies, Electronics and Equipment Engineering, Southern Federal University, Chekhov St., 2, Taganrog, Rostov Region, 347922, Russia, e-mail: vvp2005@inbox.ru

Анализируется экологическое состояние почв г. Таганрога. Для этого были отобраны 84 почвенных образца различных функциональных зон города. Оценка состояния почвы осуществлялась по биологическим показателям: активность уреазы и каталазы, дыхание почвы, целлюлолитическая активность почвы. Результаты исследования биологических показателей почвы показали, что почва характеризуется в основном низкими показателями ферментативной активности и высокой степенью потери CO_2 , что говорит о значительной потенциальной самоочищающей способности у исследованной почвы данных зон.

Ключевые слова: городские почвы, тяжелые металлы, ферменты, целлюлоза, мочевины, уреазы, каталаза, экологическое состояние.

The article analyzes the ecological condition of Taganrog soils. To do this, it has been selected 84 soil samples of different functional areas of the city. Soil assessment was carried out on the biological parameters: urease activity and catalase, soil respiration, soil cellulolytic activity. The study of biological indicators of soil showed that the soil is characterized mainly by low levels of enzymatic activity and a high degree of CO_2 loss, which indicates considerable potential in self-purification ability of the soils of these zones.

Keywords: urban soil, heavy metals, enzymes, cellulose, urea, urease, catalase, ecological state.

Городские почвы, являясь частью городской природной среды, обеспечивают жизнеспособность всего природного комплекса. Они являются поглотителем загрязняющих веществ, выполняют важную санитарно-гигиеническую средозащитную функцию. Почва дышит и дает кислорода не меньше, а в определенные сезоны больше, чем дают все зеленые насаждения вместе взятые. Однако при сильном загрязнении почвы становятся источником

опасности для окружающей среды (сильное загрязнение почв приводит к гибели зеленых насаждений) [1].

Урбоэкосистемы часто характеризуются нарушенностью биологических круговоротов. В них наблюдается сокращение биоразнообразия как по составу, так и по структурно-функциональным характеристикам, увеличивается численность патогенных микроорганизмов [2].

Каждая почва обладает определенным комплексом свойств и процессов в них с конкретными показателями их величин. В природной обстановке наблюдается динамичность свойств и процессов в почвах в связи с ритмами поступления на их поверхность света, тепла, влаги и ритмами биологической активности [3].

Исследования последних лет доказывают эффективность использования биологических показателей почвы в качестве диагностического критерия экологического состояния почв городских территорий [4–6]. Например, отмечается чувствительность фермента каталазы к содержанию тяжелых металлов в почве: с увеличением концентрации тяжелых металлов происходит угнетение каталазной активности, которое становится все более выраженным по мере роста концентрации металлов [7]. Во многих исследованиях имеются свидетельства о том, что показатель уреазной активности успешно используется в оценке экологического состояния нефтезагрязненных почв [8].

Целью нашей работы является оценка экологического состояния почвы городских зон г. Таганрога на основании показателей биологической активности.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- отобраны образцы почв различных функциональных зон города;
- определены биологические показатели в отобранных образцах почв;
- оценено экологическое состояние почвы городских зон г. Таганрога.

В качестве объекта исследования была выбрана почва территории г. Таганрога.

Исследования проводились на кафедре техно-сферной безопасности ЮФУ в 2004–2012 гг. А. Соболевым, Д. Кузнецовым, Т. Мурай установлено, что около 50 % территории города характеризуются умеренной степенью загрязнения (суммарный показатель загрязнения (СПЗ) – от 8 до 16). Основными поллютантами на территории г. Таганрога являются кадмий и свинец. Содержание цинка не превышает предельно допустимой концентрации (ПДК). Превышение от общего количества проб к верхней оценке границы концентрации для меди незначительно.

Оценка экологического состояния почвы городских зон проводилась по трем показателям: активность каталазы, дыхание почвы и её целлюлолитическая активность. Всего было отобрано 84 образца из различных функциональных зон города (рекреационная, селитебная, промышленная). Отбор образцов почвы проводился по ГОСТу

17.4.4.02-84 методом конверта с глубины 0–10 см. На месте отбора проб была проведена первичная оценка качества почвы. При первичной оценке рассматривались такие позиции, как наличие растительности, антропогенных включений в почве, твердость, каменистость, захламленность и карбонатность (по реакции с HCl 10 %).

В лаборатории в отобранных образцах почвы было проведено измерение активности ферментов, катализирующих наиболее важные биохимические процессы, протекающие в почве: каталазы, отвечающей за разложение перекиси водорода; уреазы, катализирующей гидролиз мочевины, и целлюлолитической активности, а также дыхания почвы как интегрального показателя активности биологических процессов в ней [9].

Определение целлюлолитической активности почв проводилось аппликационным методом в чашках Петри путем учета остаточного количества нерасщепленной целлюлозы; определение активности каталазы – перманганатометрическим методом; определение дыхания почвы – методом А.Ш. Галстяна, основанным на количественном учете изменения содержания углекислого газа; измерение уреазной активности почвы – экспресс-методом по Т.В. Аристовской и М.В. Чугуновой (по скорости разложения модельного вещества карбамида мочевины).

Исследованные нами образцы почвы относятся к естественно-антропогенным поверхностно-измененным. Следы антропогенной нагрузки обнаруживаются во всех точках отбора в виде включений строительного и бытового мусора.

Результаты исследования уреазной активности почвы г. Таганрога показали, что время разложения мочевины для почв различных функциональных зон г. Таганрога варьируется в диапазоне 6,5–8 ч. Полученное время разложения мочевины считается низким. Для естественных почв, не испытывающих антропогенной нагрузки, время разложения мочевины равно 2–3 ч. Считаем, что увеличение времени разложения мочевины обусловлено, прежде всего, небольшим содержанием органического вещества в почвах, а также высокой степенью антропогенной нагрузки. Полученные результаты уреазной активности почвы (глубина отбора проб – 0–10 см) представлены на рис. 1а.

Фермент каталаза показывает, насколько почва способна перерабатывать перекись водорода. Активность каталазы уменьшается в почвах промышленных зон использования и увеличивается в почвах рекреационных зон. Это объясняется меньшей нарушенностью почвенного покрова в парках, нежели в зонах промышленных площадок и пустырей.

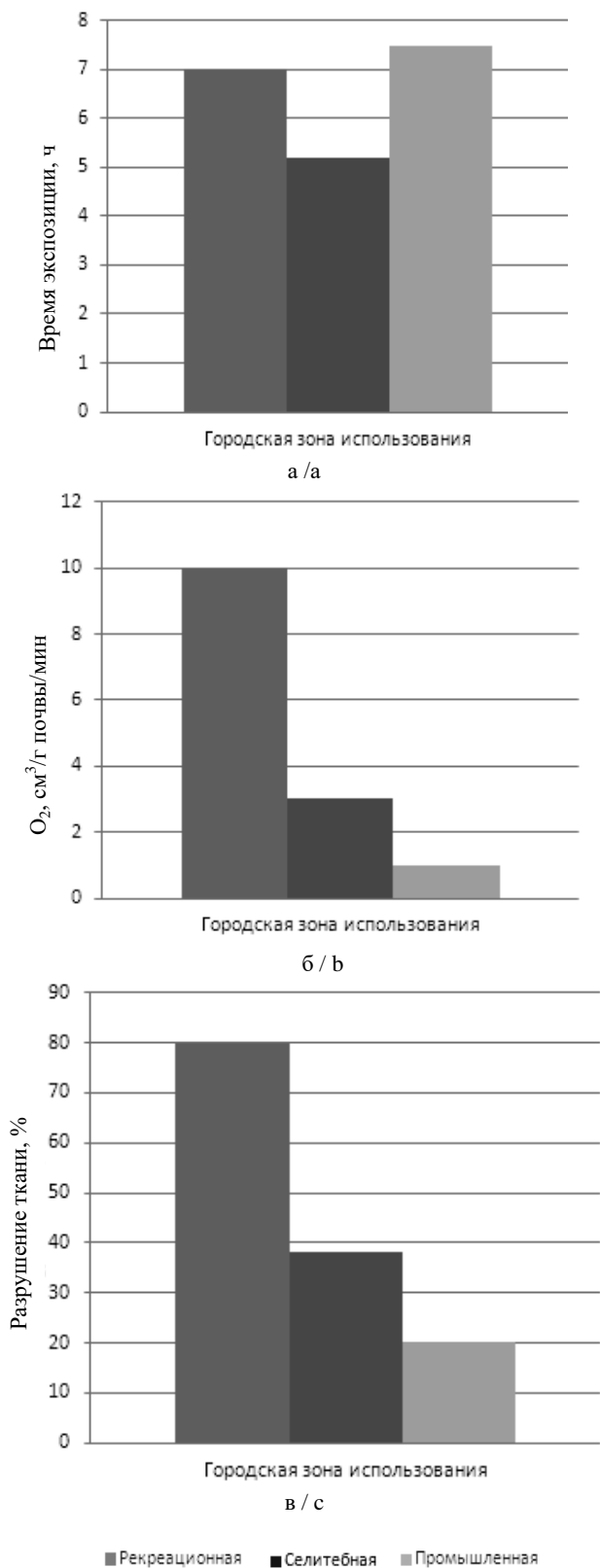


Рис. 1. Активность почв г. Таганрога: а – уреазная; б – каталазная; в – целлюлозолитическая / Fig. 1. The activity of Taganrog soil: a - urease; б - catalase; c - cellulolytic

Каталазная активность характеризуется по шкале как очень слабая (≤ 1), слабая (1–3), средняя (3–10), высокая (10–30), очень высокая (≥ 30). На рис. 1б представлены результаты измерения каталазной активности почвы при глубине отбора проб 0–10 см.

Результаты исследования величины целлюлозолитической активности при глубине отбора проб 0–10 см представлены на рис. 1в. При оценке целлюлозолитической активности почв (%) использовали следующую шкалу: очень слабая (< 10), слабая (10–30), средняя (30–50), сильная (50–80), очень сильная (> 80). Почвы рекреационной и селитебной зон характеризуются средней целлюлозолитической активностью, а почвы промышленной зоны – слабой. Почвы парковых и жилых зон обогащены органическим веществом, фосфат-ионами. Именно эти показатели обуславливают высокую степень целлюлозолитической активности.

Полученные результаты дыхания почвы (рис. 2) характеризуют степень выделения CO₂ как высокую, т.е. работа микроорганизмов идет активно. Наибольшие потери CO₂ связаны с почвами рекреационных зон с высоким содержанием гумуса. Высокая степень потерь CO₂ в почвах рекреационных зон говорит о ненарушенности строения почвенного слоя и о высокой активности процессов самоочищения.

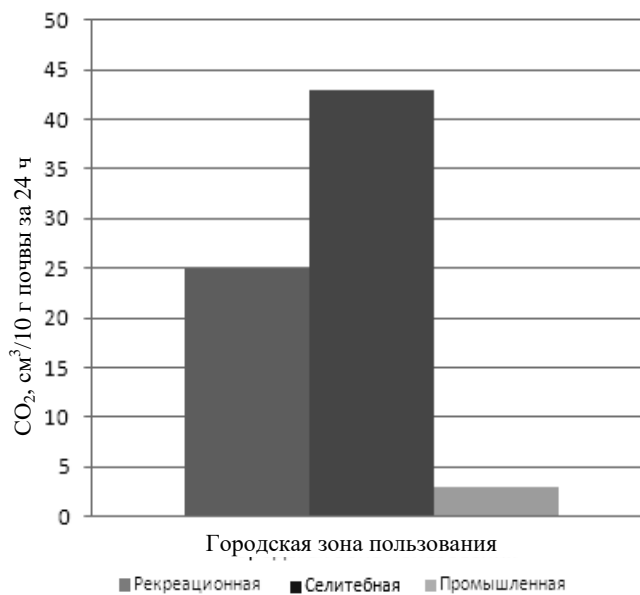


Рис. 2. Количество выделившегося CO₂, мг / 10 г почвы за 24 ч / Fig. 2. The amount of released CO₂, mg / 10 g of soil for 24 hours

Таким образом, почвы рекреационных зон г. Таганрога характеризуются высокими значениями ферментативной активности и высокой степенью потери CO₂, что свидетельствует о наличии значительной потенциальной самоочищающей способности у исследованной почвы данных зон. Высокий уровень целлюлозной активности также говорит о запасе органического вещества и о хорошей работе микроорганизмов, которые играют важную роль в уменьшении влияния антропогенной нагрузки. Самые низкие ферментативные показатели наблюдаются в почвах промышленных зон. К промышленным зонам относятся промышленные площадки и пустыри. Зачастую данные зоны имеют низкое содержание элементов минерального питания, тяжелый гранулометрический состав и пониженное количество органического вещества. Это негативно сказывается на жизнедеятельности микроорганизмов и, следовательно, ведет к низкой ферментативной активности, что характеризуется низким потенциалом самоочищения. Значения каталазной активности в почвах селитебных зон, характеризующиеся как средние, говорят о том, что зеленые насаждения эффективно защищают почвенный покров селитебной зоны, следовательно, повышают потенциал самоочищения почвы.

При биодиагностике загрязнения почв целесообразны применение комплексного подхода и определение интегрального показателя биологического состояния почв (ИПБС) на основе информативных показателей, величина (или состояние) которых выражается в относительных единицах (%). Особенно актуально применение ИПБС почв в том случае, если полученные данные имеют широкий диапазон вариации значений [10]. Именно по этой причине на основе полученных результатов о гумусовом состоянии целлюлозолитической активности и дыхании почв осуществлено обобщение выявленных в ходе исследования данных о биологических параметрах почв г. Таганрога.

В таблице представлены обобщенные результаты определения биологических показателей с расчетным значением ИПБС.

**Обобщенные результаты определения биологических показателей
 / Generalized results of the determination of biological indicators**

Зона города	ИПБС, %				Общий ИПБС, %
	Гумусное состояние	Разложение целлюлозы	Дыхание почв	Активность каталазы	
Промышленная	12,77	47,52	45,14	7,93	35,14
Транспортная	2,81	28,46	5,92	4,26	12,40
Рекреационная	8,74	39,63	30,28	23,85	26,22

На основе таблицы определены усредненные значения каждого показателя активности почвенной биоты по ИПБС почв по районам и зонам города. Полученные результаты представлены на рис. 3.

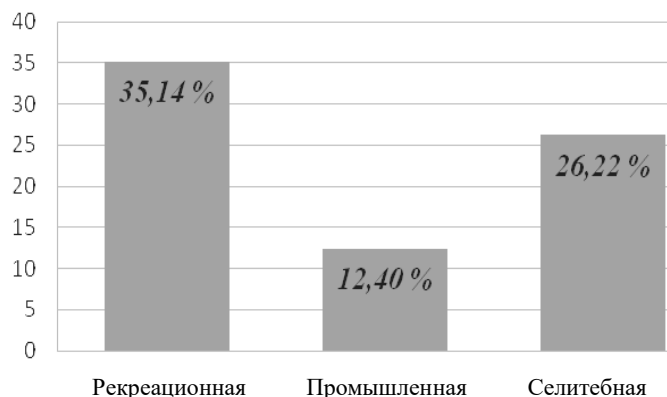


Рис. 3. ИПБС почв г. Таганрога по зонам города
 / Fig. 3. Integral component of the biological condition of the soil of Taganrog on the zones of the city

На основе обобщения полученных значений можно утверждать, что все районы города, а также рекреационная и селитебная зоны характеризуются высоким ИПБС почв. При этом следует отметить, что ИПБС промышленной зоны города в 3 раза меньше максимального зафиксированного значения рекреационной зоны. Данный факт в очередной раз доказывает значительную роль промышленных комплексов в процессах почвенной биоты.

В ходе проведенного химического исследования образцов почв по ферментативной активности зафиксированы низкие показатели в образцах, взятых в промышленной зоне г. Таганрога. В целом исследованные образцы почв, взятые на территории г. Таганрога, имеют низкое содержание питательных веществ и характеризуются нарушенной структурой. Однако все образцы характеризуются высоким ИПБС почв.

Литература

1. Вардомская Е.Е. Контроль за состоянием почвы в городе Москве // Недвижимость и инвестиции. Правовое регулирование. 2008. № 1 (34). URL: http://dpr.ru/journal/journal_32_24.htm (дата обращения: 25.10.2015).

2. Агаркова М.Г., Строганова М.Н., Скворцова И.Н. Биологическая активность почв урбанизированных территорий // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17 : Почвоведение. 1994. № 1. С. 45–49.

3. Кавриго В.П., Кауричев И.С., Бурлакова Л.М. Почвоведение с основами геоэкологии. М., 2000. 416 с.

4. Вьяль Ю.А., Шиленков А.В. Оценка биологической активности почв городских ландшафтов (на примере г. Заречный) // Изв. Пензенского гос. пед. ун-та им. В.Г. Белинского. Естеств. науки. 2009. № 14 (18). С. 7–10.

5. Даденко Е.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Изменение ферментативной активности почвенных образцов при их хранении // Почвоведение. 2009. № 12. С. 1481–1486.

6. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д., 2012. 260 с.

7. Капралова О.А. Влияние урбанизации на эколого-биологические свойства почв г. Ростова-на-Дону // Инженерный вестник Дона. 2011. Т. 18, № 4. С. 326–331.

8. Колесников С.И., Азнаурьян Д.К., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Устойчивость биологических свойств почв Юга России к нефтяному загрязнению // Экология. 2010. № 5. С. 357–364.

9. Федорец Н.Г., Медведева М.В. Методика исследования почв урбанизированных территорий. Петрозаводск, 2009. 84 с.

10. Казеев К.Ш., Колесников В.И., Вальков Ф.В. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследования. Ростов н/Д., 2003. 216 с.

References

1. Vardomskaia E.E. Kontrol' za sostoyaniem pochvy v gorode Moskve [Control over land in Moscow].

Nedvizhimost' i investitsii. Pravovoe regulirovanie. 2008, no. 1 (34). Available at: http://dpr.ru/journal/journal_32_24.htm (accessed 25.10.2015).

2. Agarkova M.G., Stroganova M.N., Skvortsova I.N. Biologicheskaya aktivnost' pochv urbanizirovannykh territorii [The biological activity of soils in urban areas]. *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 17 : Pochvovedenie*. 1994, no. 1, pp. 45–49.

3. Kavrigo V.P., Kaurichev I.S., Burlakova L.M. *Pochvovedenie s osnovami geoekologii* [Soil management with the basics of geoecology]. Moscow, 2000, 416 p.

4. Vyal' Yu.A., Shilenkov A.V. Otsenka biologicheskoi aktivnosti pochv gorodskikh landshaftov (na primere g. Zarechnyi) [Evaluation of the biological activity of urban landscapes of soil (for example, Zarechny)]. *Izv. Penzenskogo gos. ped. un-ta im. V.G. Belinskogo. Estestv. nauki*. 2009, no. 14 (18), pp. 7–10.

5. Dadenko E.V., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Kazeev K.Sh., Val'kov V.F. Izmenenie fermentativnoi aktivnosti pochvennykh obratsov pri ikh khraneniі [Changing the enzymatic activity of soil samples during storage]. *Pochvovedenie*. 2009, no. 12, pp. 1481–1486.

6. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. *Biodiagnostika pochv: metodologiya i metody issledovaniі* [Soil biodiagnosics: methodology and research methods]. Rostov-on-Don, 2012, 260 p.

7. Kapralova O.A. Vliyanie urbanizatsii na ekologo-biologicheskie svoistva pochv g. Rostova-na-Donu [The impact of urbanization on ecological and biological properties of Rostov-on-Don soils]. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2011, vol. 18, no. 4, pp. 326–331.

8. Kolesnikov S.I., Aznaur'yan D.K., Kazeev K.Sh., Val'kov V.F. Ustoichivost' biologicheskikh svoistv pochv Yuga Rossii k neftyanomu zagryazneniyu [Stability of the biological properties of the South of Russia soils to oil pollution]. *Ekologiya*. 2010, no. 5, pp. 357–364.

9. Fedorets N.G., Medvedeva M.V. *Metodika issledovaniya pochv urbanizirovannykh territorii* [Methods of study of soils in urban areas]. Petrozavodsk, 2009, 84 p.

10. Kazeev K.Sh., Kolesnikov V.I., Val'kov F.V. *Biologicheskaya diagnostika i indikatsiya pochv: metodologiya i metody issledovaniya* [The biological diagnosis and soil indication: methodology and research methods]. Rostov-on-Don, 2003, 216 p.

КОМПЛЕКСНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГОРОДСКИХ ОКРУГОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2016 г. Ю.Ю. Меринова, А.Д. Хованский

THE COMPLEX ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE ROSTOV REGION'S URBAN DISTRICTS

Yu.Yu. Merinova, A.D. Khovanskiy

Меринова Юлия Юрьевна – кандидат географических наук, старший преподаватель, кафедра социально-экономической географии и природопользования, Институт наук о Земле Южного федерального университета, ул. Зорге, 40, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: yuliyamerinova@yandex.ru

Yuliya Yu. Merinova – Candidate of Geography, Senior Lecturer, Department of Socio-Economic Geography and Nature Management, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: yuliyamerinova@yandex.ru

Хованский Александр Дмитриевич – доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой социально-экономической географии и природопользования, Институт наук о Земле Южного федерального университета, ул. Зорге, 40, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: khovansk@yandex.ru

Alexandr D. Khovanskiy – Doctor of Geography, Professor, Head of the Department of Socio-Economic Geography and Nature Management, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: khovansk@yandex.ru

Проблема комплексной экологической оценки высокоурбанизированных территорий заключается в многообразии исходных данных, которые необходимо структурировать, сформировать интегральные показатели и оценить степень напряженности экологической ситуации. Предложен метод комплексной оценки экологического состояния городов. Проведён анализ пространственной дифференциации антропогенной нагрузки и уровня загрязнения окружающей среды городских округов Ростовской области. Представлено их распределение по уровню экологического загрязнения. Согласно предложенному методу, выполнена комплексная оценка современной экологической ситуации исследуемых городов.

Ключевые слова: комплексная экологическая оценка, антропогенная нагрузка, загрязнение окружающей среды, городские округа, экология урбанизированных территорий, Ростовская область.

The problem of complex ecological assessment of highly urbanized areas lies in the variety of original data which do not have a common ground and clear points of contact. The paper proposes a method for complex assessment of the ecological situation in the cities. The analysis of spatial differentiation of level of anthropogenic load in urban districts of the Rostov Region is given. It is reported the distribution level of environmental pollution. According to the proposed method, authors perform a complex assessment of the current environmental situation of cities.

Keywords: complex ecological assessment, anthropogenic load, environmental pollution, urban districts, ecology of the urbanized areas, Rostov Region.

В настоящее время доля городского населения России составляет 74 %, причём треть населения проживает в крупных городах. Концентрация на ограниченном пространстве индустриального комплекса, транспортных узлов, повышенной плотности населения, широкого спектра загрязняющих веществ определяет города как территории повышенного экологического риска. В этой связи разработка комплексных подходов к оценке их экологического состояния становится более важной.

Экологическая оценка – это определение степени пригодности (благоприятности) природно-ландшафтных условий территории для проживания человека и какого-либо вида хозяйственной деятельности [1]. Комплексная экологическая оценка включает ландшафтную дифференциацию терри-

тории и анализ устойчивости ландшафтов к антропогенному воздействию, определение антропогенной нагрузки, оценку загрязнения окружающей среды, определение степени остроты экологической ситуации.

В настоящее время для экологической оценки территории применяются различные методы, но классификация и систематизация их далеко не завершены. Значительный вклад в развитие теории и методологии оценки состояния окружающей среды внесли работы Ю.Е. Саета и др. [2], А.И. Перельмана, Н.С. Касимова [3], Б.И. Кочурова [1], А.Д. Хованского [4], В.Е. Закруткина и др. [5], И.С. Копылова [6], В.Р. Битюковой [7] и др. Изучению экологии городов посвящены труды многих зарубежных исследователей [8, 9]. Однако данные работы в основном

опираются на анализ отдельных или сочетания нескольких компонентов природной среды, но не отражают комплексный подход.

При определении методики комплексной экологической оценки городов авторами использовались подходы указанных выше отечественных исследователей с учётом особенностей урбанизированных территорий (табл. 1). Городские поселения отличаются высокой плотностью населения, концентрацией промышленных предприятий и транспорта, интенсивностью воздействия физических и других факторов, оказывающих существенное влияние на окружающую среду.

Усовершенствованная авторами методика комплексной экологической оценки городских округов характеризуется следующими особенностями:

- при проведении этой оценки использовались уже имеющиеся данные, производимые в системах мониторинга окружающей среды и органах государственного статистического учёта;
- предлагаемые параметры комплексной экологической оценки городских округов соответствуют среднему масштабу, когда городские округа рассматривались как единая территория без разделения на функциональные зоны;

- для сравнения и использования показателей с разными единицами измерения применялась балльная оценка;

- установление антропогенных воздействий производилось по основным прямым показателям воздействия жизни и деятельности человека на окружающую среду, которые учитывались при определении антропогенной нагрузки (численность и плотность населения, выбросы, сбросы загрязняющих веществ, образование отходов, количество и выбросы транспорта, физические факторы воздействия и др.);

- оценка загрязнения отдельных компонентов окружающей среды производилась по общепринятым интегральным показателям и методикам их определения. Где это было возможно, определялась динамика загрязнения за 5- или 10-летний период;

- основными показателями оценки заболеваемости населения городских округов были выбраны младенческая смертность, острые инфекции верхних дыхательных путей, злокачественные образования, количество и размещение медицинских учреждений, обеспеченность населения врачами.

Таблица 1

**Основные параметры комплексной экологической оценки городских округов (составлено авторами)
 / The main parameters of a complex environmental assessment of urban districts (compiled by the authors)**

Разделы оценки	Элементы оценки по отдельным разделам	Показатели оценки	Результаты оценки
Характеристика экологически значимых факторов развития городских округов	Демографический, промышленный и транспортный потенциал, социальные аспекты развития городских округов	Показатели демографического, промышленного и транспортного потенциала, социальных аспектов развития городских округов	Экологически значимые особенности развития городских округов
Установление антропогенных воздействий на окружающую среду и определение антропогенной нагрузки	Установление антропогенных воздействий на отдельные компоненты окружающей среды	Выбросы в атмосферу, сбросы в водные объекты, образование и размещение отходов и др.	Характеристика антропогенных воздействий на отдельные компоненты окружающей среды
	Определение суммарной антропогенной нагрузки и её составляющих	Показатели демографической, промышленной, транспортной нагрузки, физических факторов воздействия	Балльная оценка антропогенной нагрузки
Определение устойчивости городских округов к антропогенному воздействию	Потенциальная устойчивость территории к антропогенной нагрузке	Индекс устойчивости	Балльная оценка устойчивости городских округов к антропогенной нагрузке
Оценка загрязнения компонентов окружающей среды по отдельным и интегральным показателям	Оценка степени загрязнения отдельных компонентов окружающей среды	Показатели загрязнения отдельных компонентов среды	Интегральные показатели загрязнения атмосферы, водных объектов, почв и др.
	Оценка степени загрязнения окружающей среды	Интегральные показатели загрязнения окружающей среды	Балльная оценка степени окружающей среды
Оценка заболеваемости и качества жизни населения	Оценка заболеваемости населения. Оценка качества жизни населения	Показатели заболеваемости населения. Показатели качества жизни населения	Балльная оценка заболеваемости и качества жизни населения
Определение степени напряжённости экологической ситуации	Интегральные оценки по отдельным разделам и элементам	Интегральные показатели антропогенного воздействия, загрязнения окружающей среды, здоровья населения	Балльная оценка степени напряжённости экологической ситуации

Проведённая комплексная экологическая оценка осуществлена на примере городских округов Ростовской области. В регионе отчётливо прослеживается тенденция роста высокоурбанизированных территорий (Ростовская и формирующаяся Восточно-Донбасская агломерации, а также Волгодонская система расселения), в которых городские округа становятся опорными точками роста. С их развитием связаны проблемы возрастания антропогенного давления на окружающую среду, приводящие к ухудшению экологической ситуации.

Суммарная антропогенная нагрузка в городских округах определяется демографической, промышленной, транспортной нагрузками и физическими факторами воздействия. Демографическая нагрузка определялась как совокупность количественных показателей, отражающих текущую концентрацию населения (численность, плотность) и тенденции её изменения (естественный и механический прирост). В результате анализа фактических показателей, представленных в официальных статистических ведомствах в разрезе отдельных городских округов, высокая демографическая нагрузка и наибольшая концентрация населения отмечены в Ростове-на-Дону, повышенная – в его городе-спутнике Батайске. Среднюю нагрузку испытывали основные индустриальные (Таганрог, Шахты) и энергетические центры (Новочеркасск, Волгодонск) области, пониженную – Азов, Гуково и Новошахтинск. В остальных округах отмечалась низкая демографическая нагрузка из-за естественной убыли и миграционного оттока.

К основным элементам промышленного воздействия на окружающую среду городов относятся индустриальная специализация производства и исходящий из неё класс вредности предприятия, объёмы валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, сбросов загрязнённых сточных вод, а также объём произведённых отходов. Высокая промышленная нагрузка была установлена в Ростове и Новочеркасске. Некоторое отставание Таганрога, Шахт и Волгодонска связано с сокращением в них объёмов производства. Средняя нагрузка в Каменске-Шахтинском обусловлена концентрацией предприятий с устаревшими технологиями, что определяет высокие объёмы выбросов в атмосферу. Остальные городские округа испытывали пониженную и низкую промышленную нагрузку вследствие преобладания в структуре хозяйства отраслей лёгкой промышленности и среднего машиностроения, низкой концентрации и плотности населения [10].

Наибольший вклад в загрязнение окружающей среды городов вносит автомобильный транспорт, другие виды транспорта имеют второстепенное значение. Поэтому при определении транспортной нагрузки основное внимание уделялось показателям воздействия на окружающую среду автотранспорта (% дорог к общей площади городов, концентрация общего количества автотранспорта на 1000 чел., объём выбросов загрязняющих веществ автотранспортом). Воздействие на окружающую среду железнодорожного, водного и авиационного транспорта оценивалось по отдельным показателям и с помощью балльной оценки переводилось в один суммарный параметр, учитываемый в общей транспортной нагрузке.

Высокую транспортную нагрузку испытывали Ростов и Таганрог, имеющие наиболее сложную транспортную инфраструктуру. Средний уровень нагрузки в Азове связан с концентрацией на небольшой территории развитой инфраструктуры автомобильного, железнодорожного и морского транспорта. Батайск является одним из крупнейших железнодорожных узлов страны. Новочеркасск и Шахты отличаются значительным автопарком и близостью к международным транспортным коридорам. Другие городские округа характеризуются пониженной и низкой транспортной нагрузкой [10].

Влияние физических факторов на территории городов проявляется через уровень шумового, вибрационного, электромагнитного и радиационного загрязнения. Однако в связи с недостатком открытых данных оценка физического воздействия на состояние городских округов области проводилась с учётом только радиационного и шумового влияния. Наибольшее воздействие, в первую очередь от шумового загрязнения, испытывали Азов и Волгодонск за счёт концентрации транспортных развязок на небольшой территории и масштабного строительства. Средний уровень сохранялся в крупнейших промышленных центрах – Ростове, Новочеркасске, Таганроге, а также Батайске. В остальных городских округах наблюдалось пониженное воздействие физических факторов.

Суммарная антропогенная нагрузка городских округов определялась сложением баллов по отдельным видам нагрузок (демографической, промышленной, транспортной и физическим факторам воздействия). Согласно расчётам, Ростов лидирует по всем видам нагрузок. Новочеркасск, Таганрог, Шахты и Волгодонск существенно ему уступают, что полностью соотносится с концен-

трацией в них населения, промышленного производства и транспортных средств.

Оценка загрязнения воздушного бассейна городских округов осуществлялась с использованием комплексного индекса загрязнения атмосферы – ИЗА₅, стандартного индекса и наибольшей повторяемости превышения ПДК. Концентрация загрязняющих веществ в атмосфере городских округов на порядок выше, чем на окружающих их территориях.

В итоге высокий уровень загрязнения воздуха характерен для крупнейших промышленных центров области – Новочеркасска и Ростова. Среднее загрязнение присутствует в Азове, Батайске, Волгодонске, Таганроге и Шахтах. Низкое загрязнение отмечается в средних и малых шахтёрских городах, переживающих реструктуризацию хозяйства, – Донецке, Гуково, Зверево, Каменске-Шахтинском и Новошахтинске.

При оценке степени загрязнения водных объектов в пределах городских округов учитывались класс опасности загрязнения поверхностных водных объектов в местах водозаборов (по УКИЗВ), качество воды в водоёмах I и II категорий, качество питьевой воды в разводящей сети. Высоким уровнем загрязнения водных объектов и питьевой воды выделялись крупные промышленные центры: Ростов, Азов, Новочеркасск, Таганрог, а также Новошахтинск. Средний уровень загрязнения водных объектов и питьевой воды отмечен в шахтёрских городах Зверево, Донецк, Каменск-Шахтинский и Шахты. Слабозагрязнённые водные объекты отмечены в Волгодонске и Батайске [11].

При оценке загрязнения почвенного покрова учитывались структурное состояние земель, микробиологические, санитарно-химические, паразитологические показатели, содержание тяжёлых металлов. Очень сильное и сильное загрязнение почв было зафиксировано в основных центрах промышленности – Таганроге, Ростове и Новочеркасске, среднее – в Гуково, Зверево, Новошахтинске и Шахтах, слабое – в Азове, Батайске, Волгодонске, Донецке и Каменске-Шахтинском.

Состояние здоровья населения в значительной степени коррелируется с уровнем загрязнения окружающей среды. При оценке заболеваемости населения городских округов учитывались младенческая смертность, острые инфекции верхних дыхательных путей, злокачественные образования, количество и размещение медицинских учреждений, обеспеченность населения врачами. Существенное влияние на состояние здоровья

населения оказывает качество жизни в городских округах. Заболеваемость населения в большинстве городских округов находится на среднем уровне, в отдельных округах варьирует в пределах от пониженного (Ростов, Новочеркасск) до повышенного (Гуково и Зверево). Уровень заболеваемости может нивелироваться доступностью, распространённостью и технической оснащённостью медицинских учреждений, обеспеченностью медицинскими кадрами, денежными доходами населения, обеспечивающими доступность платных услуг.

Интегральным показателем экологической ситуации является численный индекс состояния городских округов, который определяется как сумма балльных оценок суммарной антропогенной нагрузки, степени загрязнения отдельных компонентов окружающей среды и уровня заболеваемости населения. Степень напряжённости экологической ситуации определяется по количеству исследованных показателей и суммарной величине численного индекса [4].

В результате комплексной экологической оценки городских округов Ростовской области (табл. 2) установлено:

1. Высокая антропогенная нагрузка наблюдалась в городе-миллионере Ростове, средними значениями характеризовались Новочеркасск, Таганрог, Волгодонск и Шахты, наименьшая антропогенная нагрузка отмечалась в средних и малых городах Восточного Донбасса – Каменске-Шахтинском, Гуково, Новошахтинске, Зверево и Донецке.

2. Высокий уровень загрязнения по всем компонентам окружающей среды сложился в крупнейших промышленных центрах области – Ростове, Таганроге и Новочеркасске, за ними следуют Азов, Шахты и Новошахтинск, характеризующиеся повышенным загрязнением. В остальных округах определена относительно удовлетворительная ситуация с преобладанием загрязнения водных объектов и почвенного покрова.

3. Оценка степени напряжённости экологической ситуации показала, что в крупнейших городских округах с развитой промышленностью, транспортной инфраструктурой и высокой антропогенной нагрузкой (Ростов-на-Дону, Новочеркасск, Таганрог, Шахты), в которых проживают более 1,7 млн чел., или 40 % населения Ростовской области, сложилась критическая экологическая ситуация, в большей части городских округов (660 тыс. жителей) – напряжённая, в Донецке (49 тыс. чел.) – удовлетворительная.

Таблица 2

**Комплексная экологическая оценка городских округов Ростовской области (составлено авторами)
/ Complex ecological assessment of urban districts of the Rostov Region (composed by the authors)**

Городской округ	Антропогенная нагрузка				Уровень загрязнения			Оценка заболеваемости населения	Численный индекс	Экологическая ситуация
	Демографическая	Промышленная	Транспортная	Физические факторы	атмосферы	воды	почвенного покрова			
Ростов-на-Дону	5	5	5	3	4	4	4	2	32	Критическая
Азов	2	2	3	4	3	4	2	3	23	Напряжённая
Батайск	4	1	3	3	3	2	2	3	21	Напряжённая
Волгодонск	3	3	2	4	3	2	2	3	22	Напряжённая
Гуково	2	2	2	2	1	2	3	4	18	Напряжённая
Донецк	1	1	2	2	1	3	2	3	15	Удовлетворительная
Зверево	1	2	1	2	1	3	3	4	17	Напряжённая
Каменск-Шахтинский	1	3	1	2	1	3	2	3	16	Напряжённая
Новочеркасск	3	5	3	3	4	4	4	2	28	Критическая
Новошахтинск	2	2	1	2	1	4	3	3	18	Напряжённая
Таганрог	3	3	4	3	3	4	5	3	28	Критическая
Шахты	3	3	3	3	3	3	3	3	24	Критическая

Литература

1. Кочуров Б.И. Экодиагностика и сбалансированное развитие : учеб. пособие. М.; Смоленск, 2003. 384 с.
2. Саэт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. М., 1990. 335 с.
3. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта : учеб. пособие. М., 1999. 768 с.
4. Хованский А.Д., Митропольский А.Ю., Марченко А.В. Комплексная оценка состояния природной среды. Ростов н/Д., 1998. 45 с.
5. Экологический атлас Ростовской области / под ред. В.Е. Закруткина [и др.]. Ростов н/Д., 2000. 120 с.
6. Копылов И.С. Принципы и критерии интегральной оценки геоэкологического состояния природных и урбанизированных территорий // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 6.
7. Битюкова В.Р. Социально-экологические проблемы развития городов России. Изд. 3. М., 2012. 448 с.
8. McDonnell M.J., Hahs A.K., Breuste J. Ecology of Cities and Towns: A Comparative Approach. Oxford, 2009. 746 p.
9. Niemela J., Breuste J.H., Guntenspergen G., McIntyre N.E., Elmqvist Th., James P. Urban Ecology: Patterns, Processes, and Applications. Oxford, UK, 2011. P. 367.

10. Меринов Ю.Н., Меринова Ю.Ю. Особенности промышленного воздействия на уровень загрязнения воздушной среды в городских округах Ростовской области // Естественные и технические науки. 2015. № 8 (86). С. 33–37.

11. Меринова Ю.Ю., Хованский А.Д. О состоянии и использовании водных ресурсов в Ростовской агломерации // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2014. № 3. С. 96–101.

References

1. Kochurov B.I. *Ekodiagnostika i sbalansirovannoe razvitie* [Ecodiagnosics and balanced development]. Tutorial. Moscow; Smolensk, 2003, 384 p.
2. Saet Yu.E., Revich B.A., Yanin E.P. *Geokhimiya okruzhayushchei sredy* [Geochemistry of the environment]. Moscow, 1990, 335 p.
3. Perel'man A.I., Kasimov N.S. *Geokhimiya landshafta* [Landscape geochemistry]. Tutorial. Moscow, 1999, 768 p.
4. Khovanskii A.D., Mitropol'skii A.Yu., Marchenko A.V. *Kompleksnaya otsenka sostoyaniya prirodnoi sredy* [A comprehensive assessment of the environment state]. Rostov-on-Don, 1998, 45 p.
5. *Ekologicheskii atlas Rostovskoi oblasti* [Environmental atlas of the Rostov Region]. Ed. V.E. Zakrutkin et al. Rostov-on-Don, 2000, 120 p.

6. Kopylov I.S. Printsipy i kriterii integral'noi otsenki geoeologicheskogo sostoyaniya prirodnykh i urbanizirovannykh territorii [The principles and criteria for the integrated assessment of geoeological condition of natural and urbanized areas]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2011, no. 6.

7. Bitukova V.R. *Sotsial'no-ekologicheskie problemy razvitiya gorodov Rossii* [The social and environmental problems of Russian cities development]. Izd. 3. Moscow, 2012, 448 p.

8. McDonnell M.J., Hahs A.K., Breuste J. *Ecology of Cities and Towns: A Comparative Approach*. Oxford, 2009, 746 p.

9. Niemela J., Breuste J.H., Guntenspergen G., McIntyre N.E., Elmqvist Th., James P. *Urban Ecology: Pat-*

terns, Processes, and Applications. Oxford, UK, 2011, p. 367.

10. Merinov Yu.N., Merinova Yu.Yu. Osobennosti promyshlennogo vozdeistviya na uroven' zagryazneniya vozdukhnoi sredy v gorodskikh okrugakh Rostovskoi oblasti [Features of industrial impact on the level of air pollution in urban districts of the Rostov Region]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2015, no. 8 (86), pp. 33-37.

11. Merinova Yu.Yu., Khovanskii A.D. O sostoyanii i ispol'zovanii vodnykh resursov v Rostovskoi aglomeratsii [On the status and use of water resources in the Rostov agglomeration]. *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestv. nauki*. 2014, no. 3, pp. 96-101.

Поступила в редакцию / Received

11 июля 2016 г. / July 11, 2016

ВЛИЯНИЕ СТРАТОСФЕРНОГО И ТРОПОСФЕРНОГО ОЗОНА НА ТЕПЛОВЫЙ БАЛАНС ПЛАНЕТЫ И ДВИЖЕНИЕ АТМОСФЕРЫ

© 2016 г. Т.А. Митрофанова, Х.Д. Канониди, К.Х. Канониди, Р.В. Тедорадзе

THE IMPACT OF STRATOSPHERIC AND TROPOSPHERIC OZONE IN THE THERMAL BALANCE OF THE PLANET AND THE ATMOSPHERE MOVEMENT

T.A. Mitrofanova, Kh.D. Kanonidi, K.Kh. Kanonidi, R.V. Tedoradze

Митрофанова Тамара Алексеевна – старший научный сотрудник, Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Калужское шоссе, 4, г. Троицк, г. Москва, 142190.

Tamara A. Mitrofanova – Senior Researcher, Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences, Kaluzhskoe Highway, 4, Troitsk, Moscow, 142190.

Канониди Харлампий Дмитриевич – кандидат физико-математических наук, заведующий сектором магнитно-ионосферных взаимодействий, Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Калужское шоссе, 4, г. Троицк, г. Москва, 142190, e-mail: kanonidi@izmiran.ru

Kharlampii D. Kanonidi – Candidate of Physics and Mathematics, Head of the Sector of Magnetic-Ionospheric Interactions, Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences, Kaluzhskoe Highway, 4, Troitsk, Moscow, 142190, e-mail: kanonidi@izmiran.ru

Канониди Константин Харлампиевич – старший научный сотрудник, Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Калужское шоссе, 4, г. Троицк, г. Москва, 142190, e-mail: kkkh@izmiran.ru

Konstantin Kh. Kanonidi – Senior Researcher, Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, ionosphere and Radio Wave Propagation, Russian Academy of Sciences, Kaluzhskoe Highway, 4, Troitsk, Moscow, 142190, e-mail: kkkh@izmiran.ru

Тедорадзе Ростом Важаевич – кандидат медицинских наук, заведующий отделением эндоскопии, больница РАН, Октябрьский пр., 3, г. Троицк, г. Москва, 142190.

Rostom V. Tedoradze – Candidate of Medical Science, Head of the Endoscopy Sector, Hospital, Russian Academy of Sciences, Otyabrskii Ave, 3, Troitsk, Moscow, 142190.

Оценивается роль стратосферного и тропосферного озона в существовании всего живого на нашей планете. Исследуется его влияние на тепловой баланс Земли и на движение атмосферы. Этот процесс представляет большой интерес для метеорологов и климатологов, поскольку от наличия озонового щита зависят в том числе и климатообразующие факторы. Анализируются причины озоноразрушительного процесса, природные и антропогенные. Предлагаются рекомендации по борьбе с приземным озоном. Рассмотрена концепция пространственно-временного распределения озона и его вариаций. Показано наличие противоречий при объяснении причин возникновения озоновых дыр.

Ключевые слова: *стратосферный озон, тропосферный озон, озоновый слой, тепловой баланс, антропогенные воздействия, солнечная активность, озоновые дыры.*

The paper evaluated the role of stratospheric and tropospheric ozone in the existence of all life on our planet. We study its effect on the heat balance of the Earth and the movement of the atmosphere. This process is of great interest to meteorologists and climate scientists because of the ozone shield presence depend including climatic factors. The authors analyze the causes of the destructive process of ozone, natural and man-made. They offered recommendations for combating ground-level ozone. The article discusses the concept of spatial and temporal distribution of ozone and its variations. It also shows the presence of contradictions when reasoning the causes of the ozone hole.

Keywords: *stratospheric ozone, tropospheric ozone, ozone layer, heat balance, anthropogenic impacts, solar activity, ozone holes.*

Стратосферный озон. Озон присутствует в атмосфере Земли в количестве около 0,6 млн доли (по весу), но имеет фундаментальное значение для всего живого на нашей планете. Исследование влияния озона на тепловой баланс нашей планеты и на движение атмосферы представляет немалый ин-

терес для метеорологов и климатологов, поскольку от существования озонового щита зависят некоторые особенности климатообразующих факторов [1]. Ещё в 1971 г. в Москве на ассамблее Международной ассоциации метеорологии и физики атмосферы шведский геофизик П. Крутцен обратил вни-

мание аудиторией на возможное разрушение озонового слоя в атмосфере Земли. Окислы азота NO и NO_2 , заносимые в стратосферу с выхлопными газами высотных самолетов, запусками космических объектов, могут там уничтожить озон [2] (например, $\text{O}_3 + \text{NO} = \text{NO}_2 + \text{O}_2$).

Озон, примешанный к воздуху в количестве одной миллионной доли (10^{-6}), раздражает дыхательные пути человека, а в концентрации $5 \cdot 10^{-6}$ мкг/м³ ядовит и опасен для жизни. Но примесь озона к воздуху верхней атмосферы защищает все живое на Земле от избытка ультрафиолетовой радиации Солнца, т.е. озон в атмосфере не только полезен, но и спасителен для жизни.

В тропической зоне слой озона расположен сравнительно высоко (максимум парциальной плотности этого газа находится на высоте 26–27 км) и отличается еще одной важной особенностью: хотя общее количество озона в столбе атмосферы тут небольшое, он собран в сравнительно тонком слое, между 23–30 км, где его концентрация по отношению к воздуху довольно велика и часто достигает опасных для жизни значений. Выше 26 км она достигает в среднем $13\text{--}14 \cdot 10^{-6}$ мкг/м³ и становится почти втрое больше токсического значения. Это учитывается, например, при организации полетов сверхзвуковой авиации в стратосфере: накачиваемый под давлением в кабину наружный воздух стратосферы следует очищать от озона.

«Полярный» слой озона расположен гораздо ниже тропического, а максимальные плотности озона наблюдаются в нем на высоте всего 13–16 км. Слой этот имеет большую вертикальную мощность, чем в тропиках. Раздражающая дыхание концентрация озона достигается тут весной уже на уровне 11–13 км (осенью 16–17 км), токсическая концентрация – на высоте 21–22 км. Именно на этих высотах пролегают многие транспортные трассы коммерческих воздушных сообщений.

В последние годы изучение озона привлекло внимание многих ученых. Ранее существующее мнение только об антропогенном влиянии на озоновый слой не нашло поддержки у большинства специалистов.

По анализу данных, полученных в южнополярной области специалистами Университета штата Вайоминг (Ларами, США), установлено, что на высотах 15 и 20 км над уровнем моря содержание атмосферного озона упало на 80–90 % по сравнению с нормой.

Согласно распространенной до сих пор гипотезе, нарушение целостности озоносферы связано с поступлением в атмосферу Земли хлорфторуглеродов главным образом из аэрозолей, широко приме-

няемых в быту и промышленности, где эти вещества могут вступать в химические реакции с озоном и разрушать его молекулы. Но другие специалисты склонны считать, что причиной озоноразрушительного процесса в высоких широтах могут служить в большей мере природные, а не антропогенные воздействия. Нарушения в озоносфере пытались связать с процессами на Солнце, тогда количество озона в атмосфере над Арктикой и Антарктидой должно было измениться с 11-летним циклом солнечной активности, но это не подтвердилось.

Окончательный вывод о том, что является причиной появления озоновых дыр – солнечная активность или деятельность человека, можно будет сделать только после более длительных наблюдений.

Тропосферный озон. В 1970 г. американские ученые выяснили, что, кроме стратосферного, существует также тропосферный озон, который образуется в результате фотохимических реакций в приземном слое. Виной этому выхлопные газы и выбросы промышленных предприятий, в которых содержатся окислы азота и различные углеводороды. Под воздействием солнечных лучей, точнее, содержащегося в них ультрафиолета, они вступают в химические реакции, в результате которых и возникает озон, самый страшный компонент смога, по токсичности не уступающий синильной кислоте.

Причина в том, что озон является сильнейшим окислителем, сжигающим буквально все, что попадает ему на пути, в том числе и наши легкие. Попадая в легкие, озон в первую очередь разрушает тончайший слой белков-сурфактантов, покрывающий их поверхность, и открывает путь для всевозможных бактерий и вирусов, а из легких возбудители различных заболеваний попадают непосредственно в кровь и разносятся по всему организму.

Особенно большой опасности подвергаются дети, которые подвижны, глубоко дышат, а в силу небольшого роста чаще сталкиваются с приземным озоном, концентрирующимся у самой поверхности земли. Во второй группе риска оказываются люди, ведущие активный образ жизни и часто бывающие на открытом воздухе. В третьей – пожилые люди с заболеваниями органов дыхания, которые становятся жертвами острой сердечной недостаточности, связанной с увеличением концентрации озона в атмосфере Земли.

В США опасность, которую таит в себе приземный озон, осознали достаточно давно и стали принимать соответствующие меры. С.Н. Котельников (Институт общей физики РАН) говорит о том, что в настоящее время в режиме нон-стоп уровень приземного озона отслеживают многочисленные станции наблюдения в США и Европе. СМИ ежедневно

информируют об этом население, чтобы каждый человек мог выбрать для себя определенный план действий. К примеру, в жаркий солнечный день необходимо отказаться от пробежки, во время которой приходится глубоко дышать, или отложить прогулку с ребенком, пока концентрация озона не снизится до допустимого уровня [3].

Сопоставив показатели смертности людей в 95 американских городах с данными об уровне приземного озона, ученые из Йельского университета (США) установили, что увеличение его концентрации всего на 10 мкг/м^3 приводит к увеличению числа смертей на следующей неделе на 0,5 % [4]. Относительно безопасной для человека считается концентрация озона 30 мкг/м^3 (для жилых помещений) и 100 мкг/м^3 (для промышленных зон). Однако еще в середине прошлого века концентрация озона в приземном слое атмосферы Земли составляла всего $10\text{--}20 \text{ мкг/м}^3$. В настоящее время в некоторых районах Подмосковья уровень озона повышается до 300 мкг/м^3 .

Эксперименты показали, что проблема приземного озона актуальна не только для южных регионов, но и для средней полосы России. Например, уровень содержания озона в воздухе Тарусы (курортное место в 140 км от Москвы) в солнечную жаркую погоду втрое превышал предельно допустимые концентрации (ПДК) озона для промышленных зон. По мнению ученых, виноваты в этом загрязнения, поступающие с потоками воздуха из городов. Ветер может приносить их ночью, а утром, с восходом солнца, когда появляется ультрафиолет, запускаются фотохимические реакции, приводящие к образованию озона. Этим, по всей видимости, и объясняется еще одно «аномальное» явление, с которым регулярно сталкиваются московские дачники.

Максимальная концентрация озона отмечается на расстоянии от 50–60 до 80 км от границы мегаполисов. Чаще эти показатели наблюдаются с подветренной стороны, но какие районы Подмосковья оказываются в зонах риска, ученые не берутся предсказать, ссылаясь на отсутствие систематических измерений. Сегодня Таруса – единственное место в России, где можно получить информацию об уровне озона в атмосфере, так как здесь располагается филиал профильного НИИ.

В последние годы количество автомобилей выросло во много раз и грязная шапка смога отчетливо видна из космоса. Сколько при этом образуется приземного озона, неизвестно, но медики отмечают резкий рост заболеваний дыхательной системы.

Меры борьбы с приземным озоном хорошо известны. Прежде всего, необходимо регулярно сообщать

о реальных концентрациях приземного озона в городе и пригородах через СМИ. Для получения этой информации должна быть развернута сеть станций непрерывного контроля за уровнем озона и его предшественников. Необходимо обратить внимание на качество выпускаемого бензина, так как в нём содержится слишком много сернистых соединений, которые быстро выводят из строя катализаторы автомобилей, что влечет за собой значительное повышение токсичности выхлопных газов. В срочном порядке нужно поставить под контроль производство домашних и автомобильных озонаторов, так как некоторые из них (как установлено в Институте общей физики) производят озон в количествах, многократно превышающих ПДК.

Озоновые дыры. Многолетнее уменьшение общего содержания озона над полярными регионами земной поверхности получило название озоновых дыр (ОД). По масштабу оно не укладывается в глобальную схему пространственно-временных вариаций озона, построенную на базе экспериментальных и теоретических моделей. Сценарий возможных последствий, к которым приведет дальнейшее разрушение озона, еще не дописан. Он требует большого количества входных параметров. В связи с этим интенсивно анализируются компоненты и всевозможные механизмы, разрушающие озон, с точки зрения их роли в ОД.

В основе современной концепции пространственно-временного распределения озона и его вариаций четко выделяются три раздела с соответствующими механизмами: система фотохимических процессов, первоисточником которых является ультрафиолетовое солнечное излучение; динамика атмосферы; антропогенный фактор.

И сейчас есть много сторонников только антропогенного механизма возникновения ОД. Суть его сводится к тому, что атмосферные циркуляции заносят в полярные области воздушные массы с более низких широт. Вместе с ними поступают продукты человеческой деятельности, которые разрушают озон. Однако наблюдения делают эту идею неубедительной, так как человеческая цивилизация сосредоточена в основном в северном полушарии, а мощность ОД в южном полушарии гораздо значительнее ОД над Арктикой. При этом интенсивность загрязнения воздушного океана нарастает, а ОД в последнее время начинают затягиваться. Глобальное распределение общего содержания озона [4] показывает, что в северном полушарии его примерно на 10–15 % больше, чем в симметричных точках южного полушария. Это соотношение не меняется при продолжающемся активном загрязнении атмосферы. Нельзя отрицать роль современной

цивилизации и атмосферной динамики в динамике и структуре собственной озоносферы. Их эффективность показана в огромном количестве исследований [5–7]. Однако наличие указанных двух противоречий исключает их роль в качестве доминирующих механизмов, которые формируют озоновые дыры.

Литература

1. *Taba H.* Ozone observations and there meteorological applications. Geneva, 1961. 48 p.
2. *Хрѓиан А.Х.* Физика атмосферного озона. Л., 1973. 292 с.
3. *Котельников С.Н.* Зарубежный опыт минимизации отрицательного влияния приземного озона на здоровье населения // Экологические угрозы и национальная безопасность России : материалы науч. конф. 14–16 сентября 2016 г. М., 2016.
4. Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Atmospheric Ozone; October 1–13, 1979 // Report No FAA-EE-8020. US, Washington, 1980.
5. Proceedings of the Second conference on the Climatic Impact Assessment. Program November 14–17, 1972 // Report N^o DOT-TSC-OST-73-4. Washington, 1973.
6. Present State of Knowledge of upper Atmosphere, NASA // Reference Publication 1162. Washington, US, 1986.

7. Atmospheric Ozone 1985. World Meteorological Organization Global Ozone Research and Monitoring Project // Report No 16. Washington, US, 1985.

References

1. *Taba N.* Ozone observations and there meteorological applications. Geneva, 1961, 48 p.
2. *Khrgian A.Kh.* *Fizika atmosfernogo ozona* [The physics of atmospheric ozone]. Leningrad, 1973, 292 p.
3. *Kotel'nikov S.N.* [Foreign experience to minimize the negative impact of ground-level ozone on human health]. *Ekologicheskie ugrozy i natsional'naya bezopasnost' Rossii* [Environmental threats and national security of Russia]. Scientific conf. materials. September 14–16, 2016 g. Moscow, 2016.
4. Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Atmospheric Ozone; October 1–13, 1979. *Report No FAA-EE-8020*. Washington, US, 1980.
5. Proceedings of the Second conference on the Climatic Impact Assessment. Program November 14–17, 1972. *Report No DOT-TSC-OST-73-4*. Washington, 1973.
6. Present State of Knowledge of upper Atmosphere, NASA. *Reference Publication 1162*. Washington, US, 1986.
7. Atmospheric Ozone 1985. World Meteorological Organization Global Ozone Research and Monitoring Project. *Report No 16*. Washington, US, 1985.

ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ КАК ИСТОЧНИК ВТОРИЧНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕЧНЫХ ВОД МЕТАЛЛАМИ (по данным лабораторного эксперимента)*

© 2016 г. О.С. Решетняк, В.Е. Закруткин

BOTTOM SEDIMENTS AS A SOURCE OF SECONDARY WATER POLLUTION BY METALS (According to the laboratory experiment)

O.S. Reshetnyak, V.E. Zakrutkin

Решетняк Ольга Сергеевна – кандидат географических наук, доцент, кафедра геоэкологии и прикладной геохимии, Институт наук о Земле Южного федерального университета, ул. Зорге, 40, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: olgare1@rambler.ru

Olga S. Reshetnyak – Candidate of Geography, Associate Professor, Department of Geoecology and Applied Geochemistry, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: olgare1@rambler.ru

Закруткин Владимир Евгеньевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой геоэкологии и прикладной геохимии, Институт наук о Земле Южного федерального университета, ул. Зорге, 40, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: vezak@list.ru

Vladimir E. Zakrutkin – Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Head of the Department of Geoecology and Applied Geochemistry, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: vezak@list.ru

Исследование процессов миграции металлов в системе «вода – донные отложения» особенно актуально для рек Восточного Донбасса, которые на протяжении многих лет находятся под влиянием угольной промышленности. В статье представлены результаты эксперимента по изучению взаимодействия речных вод и донных отложений при взмучивании. Это позволило оценить возможность вторичного загрязнения металлами речных вод бассейна Тузлова. Показано, что донные отложения могут являться источником вторичного загрязнения водной толщи соединениями марганца, железа, меди и лития.

Ключевые слова: донные отложения, речные воды, соединения металлов, вторичное загрязнение, бассейн Тузлова.

The study of migration processes in the system "water - bottom sediments" is especially important for the Eastern Donbas rivers, which were under the influence of the coal industry for many years. The results of an experiment to study the interaction between river waters and sediment by paddling are presented in the article. It is allowed to assess the possibility of secondary metal pollution of Tuzlov basin river waters. It is shown that bottom sediments can be the source of secondary water pollution by compounds of manganese, iron, copper and lithium.

Keywords: bottom sediment, river waters, metal compounds, secondary pollution, Tuzlov basin.

Введение

При формировании качества поверхностных вод существенную роль играют донные отложения. Выступая в качестве природных сорбентов, они способны накапливать большую часть поступающих в водные объекты органических и неорганических соединений, в том числе наиболее опасных и токсичных загрязняющих веществ, способствуя тем самым очищению водной среды. При определенных условиях эти вещества вновь могут переходить в водную толщу, вызывая ее вторичное загрязнение. Последнее обстоятельство особенно актуально

для углепромышленных территорий, где водные объекты подвергаются наибольшей антропогенной нагрузке за счет поступления в речную сеть техногенных шахтных вод с высоким содержанием соединений тяжелых металлов (ТМ) [1].

По данным ряда исследователей [2–4], за последние годы в донных отложениях большинства водных объектов промышленно развитых районов России резко возросло содержание многих токсичных веществ, в том числе ТМ. Донные осадки перестали быть фактором только улучшения качества речных вод за счет процессов осаждения и сорбции в них различных поллютантов. Концен-

* Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 14-17-00376).

трации ТМ в донных осадках на порядок, а во многих случаях даже на несколько порядков могут превышать их содержание в водной толще, и в этой связи они становятся потенциальным источником вторичного загрязнения водных экосистем. Обратное поступление ТМ из донных отложений в воду происходит в основном за счет десорбции [3–5]. Этот процесс весьма важен, поскольку связан с биогенной миграцией микроэлементов и включением их в процессы питания водных растений и организмов.

Сложность физико-химических реакций и разнообразие внутриводоемных процессов, протекающих на границе раздела фаз между донными отложениями и речными водами, их изменчивость в зависимости от тех или иных условий обуславливают неопределенность при изучении этих процессов. Процессы сорбции и десорбции металлов на поверхности донных осадков протекают непрерывно до установления химического равновесия. Немаловажную роль в распределении металлов в водной экосистеме играет катионный обмен между глинами, содержащимися в донных отложениях, и ионами металлов в водной среде.

Процессы взаимодействия донных осадков с водой и миграция металлов в системе «вода – донные отложения» зависят от многих факторов, таких как дефицит растворенного кислорода на границе контакта донных отложений и воды, значение рН, гранулометрический состав донных отложений, природа элемента (металла), концентрация растворенного органического вещества и минерализация воды. Большую роль также играют гидродинамические процессы в водоеме и гидрометеорологические условия. Увеличение скорости течения и ветровое перемешивание вызывают взмучивание донного осадка, переход частиц во взвешенное состояние и их более тесный контакт с водой, что способствует интенсификации процесса перехода соединений металлов из донных отложений в воду [4–6].

Количественная оценка поступления металлов из донных отложений в воду наиболее актуальна для малых рек, составляющих основу водосборов рек более высокого порядка и характеризующихся малой водностью, и, как следствие, высокой уязвимостью к загрязнению в условиях антропогенного воздействия.

Цель исследования – оценить возможность вторичного загрязнения металлами речных вод в бассейне реки Тузлов (на территории Восточного Донбасса) при контакте водной толщи и донных отложений. Для этого был проведен лабораторный эксперимент по изучению взаимодействия речных вод и донных отложений при их перемешивании.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования в данной работе служили образцы речной воды и донных отложений бассейна реки Тузлов. Были отобраны пробы воды двух типов в пределах водосборной территории: с наименьшей для бассейна минерализацией воды на участке реки Большой Несветай (створ наблюдений выше выхода техногенных шахтных вод шахты «Соколовская») и с наибольшей – на участке реки Аюты (створ наблюдений ниже сброса Кировских очистных сооружений, восточная окраина хут. Новогригорьевка). Таким образом, в эксперименте использованы образец 1 – менее минерализованная речная вода, образец 2 – сильноминерализованная речная вода.

Проба донных отложений была единой для эксперимента с природными образцами речной воды и отбиралась на участке реки Малый Несветай (створ наблюдений – северная окраина хут. Алексеевка). По нашим многолетним наблюдениям, донные отложения на данном участке реки являются наиболее типичными (характерными) по минеральному и гранулометрическому составу для территории бассейна р. Тузлов. Их основу составляет пелитовая составляющая (около 70 % объема осадка), сложенная преимущественно глинистыми минералами. В песчано-алевритовой фракции присутствуют кварц, полевой шпат, обломки известняков, аргиллитов, песчаников, каменного угля. Среди аксессуарных минералов преобладают ильменит, магнетит, гематит, аутигенный гетит, реже встречаются гранаты, циркон, ставролит и турмалин.

Отбор проб воды и донных отложений выполнялся в соответствии с ГОСТом 31861-2012 и ГОСТом 17.15.01-80 соответственно. Пробы воды отбирались из поверхностного слоя (до 0,5 м), донные отложения – с верхнего горизонта 0–10 см. Опробование проводилось в июле 2016 г.

Для изучения процессов, происходящих на границе раздела фаз между водной средой и донными отложениями, проведен лабораторный эксперимент, имитирующий механическое взаимодействие фаз. Сначала были проанализированы исходные образцы речных вод (на содержание макро- и микрокомпонентов) и донных отложений (на определение валового содержания металлов и силикатный анализ). Далее были подготовлены системы «вода – донные отложения» в соотношении 10:1 для исследования в лабораторном эксперименте в трёх комбинациях:

1) система 1: бидистиллированная вода + донные отложения;

2) система 2: менее минерализованная речная вода + донные отложения;

3) система 3: сильноминерализованная речная вода + донные отложения.

В ходе эксперимента подготовленные системы (смеси) подвергались механическому перемешиванию на шейкере в течение 10 мин, 1 и 6 ч для обеспечения разного времени контакта воды с донными отложениями. После перемешивания растворы отстаивались в течение 24 ч и фильтровались через фильтр «синяя лента». Полученные растворы (экстракты) анализировались на содержание растворенных форм ТМ.

Химический анализ воды и донных отложений выполнялся по методикам, допущенным для целей государственного экологического контроля. Растворенные формы Fe, Mn, Cr, Cu и Zn в природной воде определялись атомно-абсорбционным спектрофотометром «Квант-2МТ» по методике ПНД Ф 14.1:2:4.214-06, Sr и Li – ПНД Ф 14.1:2:4.138-98.

Валовое содержание металлов в донных отложениях определяли атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре по методике ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:3.36-02 и «Методике НСАМ 155-ХС». Металлы в донных отложениях определялись в виде подвижных форм, извлекаемых ацетатно-аммонийными буферными растворами (рН=4,6–4,8), и валового содержания. Использование ацетатно-аммонийных буферных растворов позволяет оценить содержание подвижных форм ТМ, представленных водорастворимыми, ионообменными и непрочными сорбированными соединениями.

Проведение эксперимента и аналитические измерения проводились на базе аккредитованной испытательной лаборатории «Региональный лабораторный центр АО «Южгеология»» (г. Ростов-на-Дону).

Обсуждение результатов лабораторного эксперимента

Исходные образцы речных вод имели различную минерализацию и химический состав (табл. 1). Нужно отметить, что речная вода в бассейне Тузлова характеризуется низким содержанием хлоридов и высокими концентрациями сульфатов и ионов натрия и калия, присутствие которых в воде и обуславливает высокую минерализацию воды.

По валовому содержанию основных компонентов в донных отложениях можно ранжировать металлы в порядке их убывания: Fe – Mn – Sr – Cr – Zn – Cu – Li. Обращает на себя внимание низкое содержание меди в донных отложениях, что может быть объяснено отсутствием мощных источников поступления данного металла в речную сеть.

Исследуемые металлы имеют как схожие свойства комплексообразования и распределения в водных экосистемах, так и свои особенности миграции и накопления в донных отложениях. Так, например, для железа в речных водах при рН=6–8 содержание фульватных комплексов незначительно, в то время как медь и цинк будут образовывать достаточно прочные комплексы с фульвокислотами [5].

Марганец содержится в природных водах в широком диапазоне концентраций от единиц до сотен мг/дм³ и при рН до 8,0 практически полностью представлен катионными формами (гидратированными ионами Mn²⁺) [5]. Все другие изучаемые металлы будут в большей степени находиться в органо-минеральных комплексах.

Общим для исследуемых металлов является их миграция в речных водах в виде коллоидных соединений (органо-минеральных комплексов и золь) или путем адсорбции на поверхности гидроксидов железа, марганца и алюминия.

Таблица 1

Химический состав исходных образцов речных вод и донных отложений
/ The chemical composition of the initial samples of river waters and sediment

Образец	Макрокомпоненты природных вод, мг/дм ³						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Сух. ост.
Речная вода 1	110,0±12,1	97,3±13,6	278,1±55,6	280,0±33,6	28,4±3,1	932,8±33,0	1696,0±152,6
Речная вода 2	268,5±29,5	279,7±39,2	745,5±149,1	439,2±52,7	226,9±20,4	2655,0±84,7	4828,0±434,5
	Микрокомпоненты (металлы) в речных водах, мг/дм ³ , и донных отложениях, мг/кг						
	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Sr	Li
Речная вода 1	0,21±0,04	0,07±0,01	0,033±0,006	0,0020±0,0006	0,005±0,0015	2,4±0,4	0,024±0,005
Речная вода 2	0,16±0,03	0,20±0,04	0,040±0,008	0,0020±0,0006	0,004±0,0012	11,0±1,2	0,16±0,03
Донные отложения	27300±3003,0	1265,0±303,6	100,0±53,0	161,0±14,5	27,0±6,0	196,0±17,7	16,0±4,0

Поскольку используемые в эксперименте образцы речной воды содержат высокие концентрации сульфатов, следовало бы ожидать образования сульфатных комплексов с металлами. Но это маловероятно, поскольку устойчивость сульфатных (как и карбонатных) комплексов уступает в сравнении с комплексами с органическими фульво- и гуминовыми кислотами и гидроксокомплексами. Анализ констант устойчивости комплексов изучаемых металлов с органическими и неорганическими лигандами позволил выделить наиболее вероятные формы их нахождения в исследуемых слабощелочных речных водах бассейна Тузлова (табл. 2).

Можно отметить, что для большинства металлов наиболее вероятными формами нахождения в природных водах являются комплексы с органическими кислотами и гидроксокомплексы.

Таблица 2

Наиболее вероятные формы нахождения металлов в речных водах бассейна Тузлова / The most likely form of finding metals in the river waters of Tuzlov basin

Лиганд	Металл						
	Fe ³⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺	Cr ³⁺	Cu ²⁺	Sr ²⁺	Li ⁺
ОН ⁻	+++	++	++	+++	+++	+	+
HCO ₃ ⁻	+	+	+	-	+	-	-
SO ₄ ²⁻	+	+	+	+	+	+	+
ФК	+++	+++	+++	++	++	++	-
ГК	++	++	++	++	+++	++	-

Примечание. ФК – фульвокислоты, ГК – гуминовые кислоты; «+++» – наиболее характерные формы металлов (наиболее устойчивые комплексы); «++» – менее характерные формы металлов (менее устойчивые комплексы); «+» – малохарактерные формы металлов (неустойчивые комплексы); «-» – отсутствие достоверных данных об устойчивости комплексов.

Гидролиз солей является одним из основных процессов, способствующих трансформации форм металлов в речных водах. Соединения ТМ, попадая

в водную среду рек, гидролизуются и взаимодействуют с другими ионами, при этом в интервале рН речных вод (6,5–8,5) могут образовывать трудно-растворимые гидроксиды, фосфаты и сульфиды. Поэтому кислотность среды будет влиять на внутриводоемные процессы комплексообразования и трансформации различных форм металлов.

Исследования влияния кислотности водной среды на миграционные процессы металлов в природных водах показали, что при повышении рН в осенний период возрастают миграция и накопление ряда тяжелых металлов в донных отложениях [7]. Смещение кислотно-щелочного равновесия в системе «вода – донные отложения» является основным фактором, обуславливающим возможность десорбции тяжелых металлов с поверхности твердых частиц и перехода их в водную толщу. Наиболее интенсивно обменные процессы в системе «донные отложения – вода» протекают при рН=3 [8].

В целом же изменение концентрации растворенных и подвижных форм металлов в речных водах будет являться результатом двух разнонаправленных процессов. С одной стороны, поступлением в водную среду вследствие десорбции из донных отложений, с другой – за счет адсорбции металлов на взвешенных частицах и эффективных сорбентных центрах донных отложений [9]. Первый процесс контролируется (лимитируется) количеством подвижных форм металлов и наличием растворенного органического вещества в воде, второй – концентрацией взвешенных частиц и химическим составом донных отложений (наличием глинистых фракций).

В данной статье предпринята попытка проследить соотношение этих двух конкурирующих процессов, протекающих в системе «вода – донные отложения». Результаты лабораторного эксперимента, проведенного в условиях, имитирующих взаимодействие речных вод с донными отложениями разной продолжительности, представлены в табл. 3–5 и на рис. 1, 2.

Таблица 3

Содержание металлов в водной вытяжке в системе «бидистиллированная вода – донные отложения» после перемешивания / The metal content in the water extract in the system “bidistilled water - bottom sediments” after mixing

Время	Концентрация металла в воде после проведения эксперимента, мг/дм ³						
	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Sr	Li
10 мин	0,34±0,07	0,24±0,05	0,034±0,007	0,0041±0,0012	0,005±0,0016	0,10±0,02	0,031±0,006
60 мин	0,40±0,08	0,34±0,07	0,030±0,006	0,0064±0,0018	0,008±0,0024	0,17±0,03	0,038±0,008
6 ч	0,40±0,08	0,37±0,07	0,034±0,007	0,0052±0,0015	0,008±0,0024	0,33±0,07	0,039±0,008

В табл. 3 представлены результаты эксперимента, проведенного в условиях, имитирующих взаимодействие бидистиллированной воды с донными отложениями. Экстракция бидистиллированной водой будет характеризовать степень извлечения металлов из донных отложений, содержащихся там в растворенном состоянии в иловых растворах и в виде легкорастворимых соединений.

По направленности процессов сорбции-десорбции на границе раздела фаз «вода – донные отложения» исследуемые металлы можно разделить на две группы. В первую группу металлов отнесены железо, медь, литий, цинк и хром, взаимодействие которых характеризуется десорбцией металла из донных отложений в раствор, достижением наибольшей концентрации металла в воде через 1 ч с последующим установлением равновесной концентрации металла со временем (рис. 1, 2). Для цинка достижение максимального значения концентрации металла в воде достигается через 10 мин перемешивания. Марганец и стронций составили вторую группу – для них отмечается постоянная десорбция металла из донных отложений в раствор во время эксперимента (рис. 1).

Таким образом, можно отметить, что обменные процессы в системе «вода – донные отложения» протекают достаточно быстро, достигая максимума для большинства изученных металлов через 1 ч взаимодействия.

В табл. 4 и 5 представлены результаты эксперимента, проведенного в условиях имитирующих взаимодействие речных вод бассейна реки Тузлов с донными отложениями. Экстракция реальными речными водами с различной минерализацией будет характеризовать степень извлечения или сорбции металлов. В данных условиях будут протекать два противоположных конкурирующих процесса. Первый – десорбция соединений металлов из донных отложений, содержащихся там в растворенном состоянии в иловых растворах и в виде легкорастворимых форм. Этот процесс будет обусловлен наличием в речных водах комплексобразующих веществ естественного происхождения (неорганических и органических лигандов). Второй процесс – это сорбция донными отложениями различных форм металлов из воды за счет образования более устойчивых комплексов или при соосаждении на взвеси.

Таблица 4

Содержание металлов в водной вытяжке в системе «речная вода_1 – донные отложения» после перемешивания / The metal content in the water extract in the system of “river water 1 - sediment” after mixing

Время перемешивания	Концентрация металла в воде после проведения эксперимента, мг/дм ³						
	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Sr	Li
Исходная речная вода	0,21±0,04	0,07±0,01	0,033±0,006	0,0020±0,0006	0,005±0,0015	2,4±0,4	0,024±0,005
10 мин	0,32±0,06	1,52±0,30	0,037±0,007	0,0033±0,0010	0,005±0,0015	2,5±0,5	0,050±0,010
60 мин	0,36±0,07	1,67±0,33	0,083±0,017	0,0032±0,0010	0,006±0,0018	2,7±0,5	0,061±0,012
6 ч	0,32±0,06	2,17±0,43	0,023±0,005	0,0039±0,0012	0,005±0,0015	2,9±0,6	0,061±0,012

Таблица 5

Содержание металлов в водной вытяжке в системе «речная вода_2 – донные отложения» после перемешивания / The metal content in the water extract in the system of “river water 2 - sediment” after mixing

Время перемешивания	Концентрация металла в воде после проведения эксперимента, мг/дм ³						
	Fe	Mn	Zn	Cr	Cu	Sr	Li
Исходная речная вода	0,16±0,03	0,20±0,04	0,040±0,008	0,0020±0,0006	0,004±0,0012	11,0±1,2	0,16±0,03
10 мин	0,24±0,05	3,22±0,30	0,033±0,007	0,0043±0,0013	0,007±0,0021	10,5±1,2	0,25±0,05
60 мин	0,34±0,07	3,34±0,67	0,031±0,006	0,0045±0,0014	0,006±0,0018	10,7±1,2	0,25±0,05
6 ч	0,35±0,07	3,82±0,76	0,036±0,007	0,0041±0,0012	0,007±0,0021	11,0±1,2	0,26±0,05

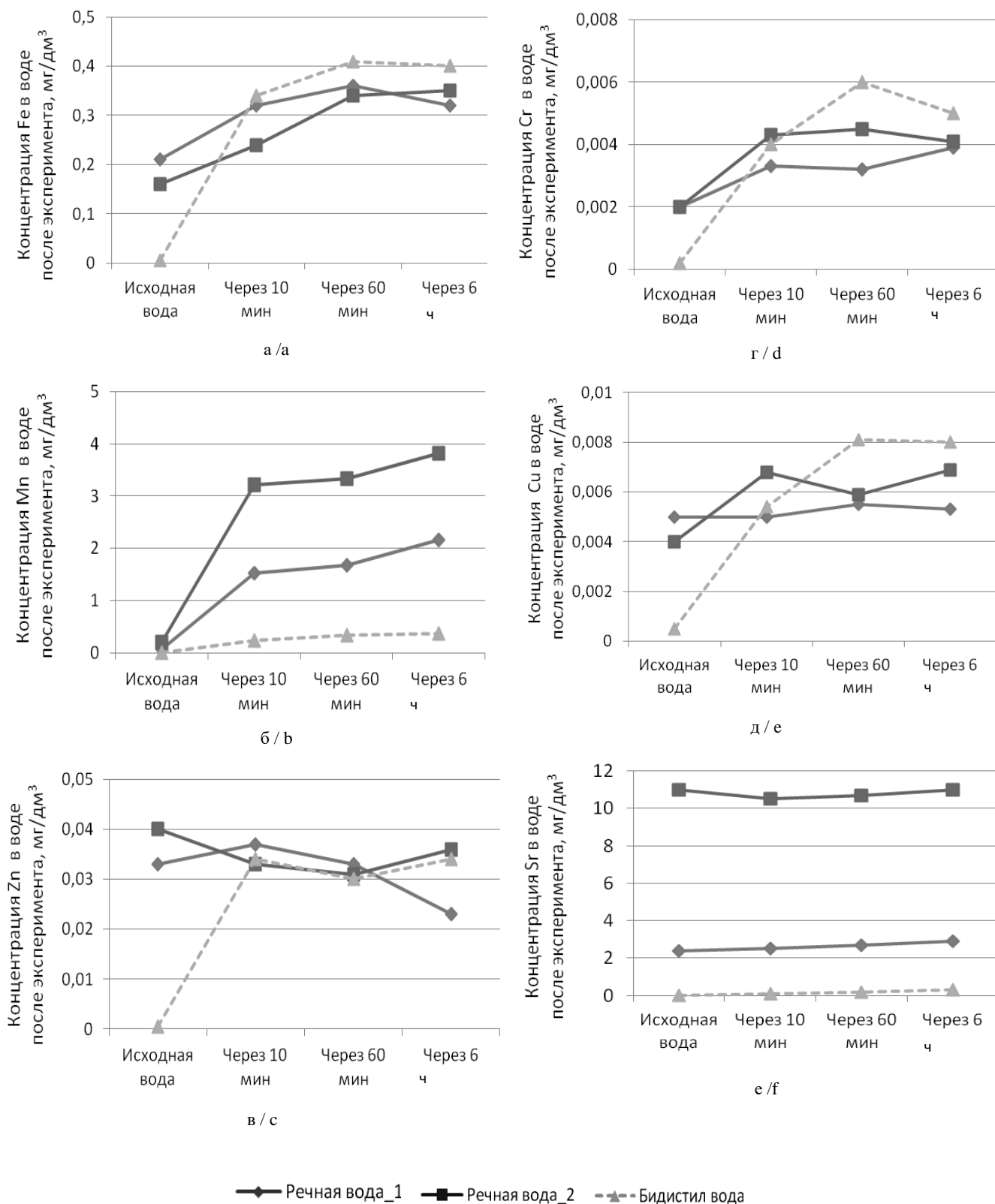


Рис. 1. Изменчивость содержания соединений ТМ в воде до и после эксперимента в трёх исследуемых системах:
 а – железа; б – марганца; в – цинка; г – хрома; д – меди; е – стронция
 / Fig. 1. Variability of the heavy metals content in the water before and after the experiment in the three test systems:
 a - iron; b - manganese; c - zinc; d - chromium; e - copper; f - strontium

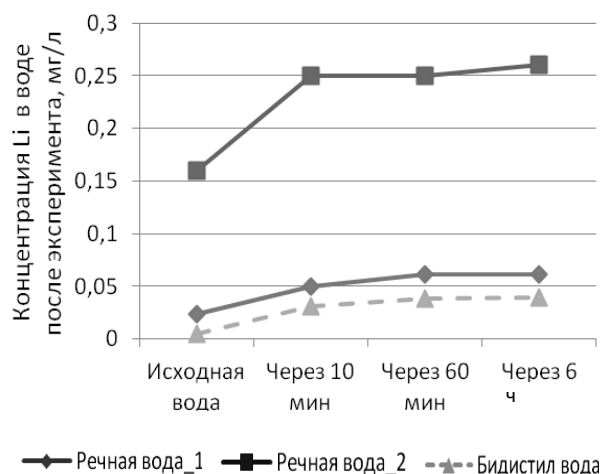


Рис. 2. Изменчивость содержания лития в воде до и после эксперимента в трех исследуемых системах / Fig. 2. Variability of the lithium content in the water before and after the experiment in the three test systems

Результаты анализа данных эксперимента с природной речной водой показали, что по направленности процессов сорбции-десорбции на границе раздела фаз «вода – донные отложения» исследуемые металлы можно разделить на три группы. Первая группа металлов – железо, медь, литий и хром – также характеризуется десорбцией соединений металлов из донных отложений в раствор, достижением наибольшей концентрации металла в воде через 10 мин или 1 ч с последующим установлением равновесной концентрации металла со временем (рис. 1, 2). Это свидетельствует о том, что сначала вымываются легкодоступные растворимые формы металлов из твердой и жидкой фаз донных отложений.

Во второй группе элементов с постоянной десорбцией металла из донных отложений в раствор в течение эксперимента остался только марганец. Стронций и цинк составили третью группу металлов, концентрации которых в водном растворе в ходе эксперимента остаются практически постоянными. Наблюдаемые колебания (изменения) концентраций Sr и Zn меньше ошибки метода определения металлов в воде. Отсутствие значимых изменений в содержании этих металлов в растворе, вероятно, указывает на тот факт, что система «вода – донные отложения» уравновешена по содержанию цинка и стронция.

Выводы

Анализ представленных экспериментальных данных позволяет сделать ряд выводов. Обменные процессы в исследуемых системах «речная вода – донные отложения» протекают достаточно быст-

ро, достигая максимума через 10 мин взаимодействия, реже через 1 ч для железа и марганца. Более длительный контакт значительного влияния на изменение концентраций металлов в воде не вносит. Фиксируется установление равновесных концентраций в воде для соединений ряда металлов: железа на уровне 0,32–0,35 мг/дм³, хрома – 0,004–0,005 мг/дм³ и меди – 0,005–0,008 мг/дм³. Показано, что донные отложения могут являться источником вторичного загрязнения водной толщи соединениями марганца, железа, меди и лития.

Исследования миграционных процессов в системе «вода – донные отложения» позволяют, с одной стороны, оценить роль донных отложений в самоочищении водных экосистем, а с другой – вероятности вторичного загрязнения водной толщи при изменении гидродинамических условий в водоеме. Это будет способствовать комплексной оценке уровня загрязнения водных экосистем, выявлению техногенных илов в районах с развитой промышленностью и разработке мероприятий по снижению загрязнения природных вод в пределах техногенно нарушенных территорий.

Литература

1. Закруткин В.Е., Гибков Е.В., Склярченко Г.Ю., Решетняк О.С. Геоэкологические проблемы углепромышленных территорий // Проблемы безопасности окружающей среды : сб. ст. / отв. ред. А.К. Сагателян. Ереван, 2016. С. 85–92.
2. Мур Дж.В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах: Контроль и оценка влияния : пер. с англ. М., 1987. 288 с.
3. Манихин В.И., Никаноров А.М. Растворимые и подвижные формы тяжелых металлов в донных отложениях пресноводных экосистем. СПб., 2001. 165 с.
4. Папина Т.С. Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в ряд: вода – взвешенное вещество – донные отложения речных экосистем : аналит. обзор. Новосибирск, 2001. 58 с.
5. Линник П.Н., Набиванец Б.И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л., 1986. 270 с.
6. Нахшина Е.П. Тяжелые металлы в системе «вода – донные отложения» водоёмов (обзор) // Гидробиол. журн. 1985. Т. 21, № 2. С. 80–90.
7. Давыдова О.А., Коровина Е.В., Ваганова Е.С., Гусева И.Т., Красун Б.А., Исаева М.А., Марцева Т.Ю., Мулюкова В.В., Климов Е.С., Бузаева М.В. Физико-химические аспекты миграционных процессов тяжелых металлов в природных водных системах // Вестн. ЮУрГУ. Химия. 2016. Т. 8, № 2. С. 40–50.
8. Михеева Т.Н., Шайдулина Г.Ф., Кутлиахметов А.Н., Сафарова В.И., Кудашева Ф.Х., Курбангалiev В.С. Количественная и качественная оценка ро-

ли донных отложений в процессах формирования состава контактирующих с ними водных масс // Гео-ресурсы. 2012. № 8 (50).

9. Santschi P., Hohener P., Benoit G., Buchholz-ten Brink M. Chemical processes at the sediment-water interface // *Mar. Chem.* 1990. Vol. 30. P. 269–315.

References

1. Zakrutkin V.E., Gibkov E.V., Sklyarenko G.Yu., Reshetnyak O.S. [Geoenvironmental problems of coal-mining territories]. *Problemy bezopasnosti okruzhayushchei sredy* [Environment security issues]. Coll. of art. Ed. A.K. Sagatelyan. Erevan, 2016, pp. 85-92.

2. Mur Dzh.V., Ramamurti S. *Tyazhelye metally v prirodnykh vodakh: Kontrol' i otsenka vliyaniya* [Heavy metals in natural waters: monitoring and assessment of impact]. Transl. from English. Moscow, 1987, 288 p.

3. Manikhin V.I., Nikanorov A.M. *Rastvorimye i podvizhnye formy tyazhelykh metallov v donnykh otlozheniyakh presnovodnykh ekosistem* [Soluble and mobile forms of heavy metals in sediments of freshwater ecosystems]. Saint Petersburg, 2001, 165 p.

4. Papina T.S. *Transport i osobennosti raspredeleniya tyazhelykh metallov v ryad: voda - vzheshennoe veshchestvo - donnye otlozheniya rechnykh ekosistem* [Transport and distribution characteristics of heavy metals in a series: water - suspended matter - sediments of

river ecosystems]. *Analyt. overview.* Novosibirsk, 2001, 58 p.

5. Linnik P.N., Nabivanets B.I. *Formy migratsii metallov v presnykh poverkhnostnykh vodakh* [Migration forms of metals in fresh surface water]. Leningrad, 1986, 270 p.

6. Nakhshina E.P. Tyazhelye metally v sisteme “voda - donnye otlozheniya” vodoemov (obzor) [Heavy metals in system “water - sediment” reservoirs (review)]. *Gidrobiol. zhurn.* 1985, vol. 21, no. 2, pp. 80-90.

7. Davydova O.A., Korovina E.V., Vaganova E.S., Guseva I.T., Krasun B.A., Isaeva M.A., Martseva T.Yu., Mulyukova V.V., Klimov E.S., Buzaeva M.V. *Fiziko-khimicheskie aspekty migratsionnykh protsessov tyazhelykh metallov v prirodnykh vodnykh sistemakh* [Physico-chemical aspects of heavy metals migration in natural water systems]. *Vestn. YuUrGU. Khimiya.* 2016, vol. 8, no. 2, pp. 40-50.

8. Mikheeva T.N., Shaidulina G.F., Kutliakhmetov A.N., Safarova V.I., Kudasheva F.Kh., Kurbangaliev V.S. *Kolichestvennaya i kachestvennaya otsenka roli donnykh otlozhenii v protsessakh formirovaniya sostava kontaktiruyushchikh s nimi vodnykh mass* [Quantitative and qualitative assessment of the sediments role in the formation of the composition in contact with them]. *Georesursy.* 2012, no. 8 (50).

9. Santschi P., Hohener P., Benoit G., Buchholz-ten Brink M. Chemical processes at the sediment–water interface. *Mar. Chem.* 1990, vol. 30, pp. 269-315.

УДК 502.51(1/9)

DOI 10.18522/0321-3005-2016-4-110-119

МОНИТОРИНГ ДИНАМИКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ВОСТОЧНОМ ДОНБАССЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СКВАЖИННОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ*

© 2016 г. Н.Е. Фоменко, В.Е. Закруткин, Г.Ю. Скляренко, Д.А. Гапонов

MONITORING OF THE GROUNDWATER DYNAMICS IN THE EASTERN DONBASS BY RESULTS OF ELECTRIC PROSPECTING IN BOREHOLES

N.E. Fomenko, V.E. Zakrutkin, G.Yu. Sklyarenko, D.A. Gaponov

Фоменко Николай Евгеньевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор, кафедра геоэкологии и прикладной геохимии, Институт наук о Земле Южного федерального университета, ул. Зорге, 40, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: FNEgeophyskohle@yandex.ru

Nikolay E. Fomenko – Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Department of Geoecology and Applied Geochemistry, Institute of the Earth Sciences, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: FNEgeophyskohle@yandex.ru

Закруткин Владимир Евгеньевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой геоэкологии и прикладной геохимии, Институт наук о Земле Южного федерального университета, ул. Зорге, 40, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: vezak@list.ru

Vladimir E. Zakrutkin – Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Head of Department of Geoecology and Applied Geochemistry, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: vezak@list.ru

Скляренко Григорий Юрьевич – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, кафедра геоэкологии и прикладной геохимии, геолого-географический факультет, Институт наук о Земле Южного федерального университета, ул. Зорге, 40, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: gysklyarenko@sfedu.ru

Grigorii Y. Sklyarenko – Candidate of Geology and Mineralogy, Associate Professor, Department of Geoecology and Applied Geochemistry, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: gysklyarenko@sfedu.ru

Гапонов Дмитрий Александрович – кандидат геолого-минералогических наук, инженер-геофизик, ОАО «Геострой-Ф», ул. Днепроградская, 54, г. Ростов н/Д, 344064; Институт наук о Земле Южного федерального университета, ул. Зорге, 40, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: geophysics@land.ru

Dmitry A. Gaponov – Candidate of Geology and Mineralogy, Engineer-Geophysicist, JSC «Geostroy-F», Dneprogradskaya St., 54, Rostov-on-Don, 344064, Russia; Institute of the Earth Sciences, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: geophysics@land.ru

Приводятся результаты электроразведочных работ методом заряженного тела в наблюдательных скважинах в Шахтинском угледоугольном районе Восточного Донбасса. Построены картограммы распределения потока подземных вод. Проведен мониторинг изменения гидрогеологической обстановки за полугодовой период в одной из скважин. Сделан вывод, что в высокопреобразованных, малопористых породах угленосной толщи интенсивность засоления подземных вод опережает их движение и поэтому направление этого движения целесообразно определять по пространственно-временному изменению напряженности электрического поля солевой ореолы.

Ключевые слова: наблюдательные скважины, электроразведочные методы, подземные воды, солевой ореол, направленные движения, мониторинг, трещиноватость.

Presented are the results of electrical exploration performed by the method of a charged body in observational wells in the Shakhtinsky coal-mining district of the Eastern Donbas. Cartograms of groundwater flow distribution have been constructed. Monitoring of changes in the hydrogeological conditions in for the semi-annual period has been performed in one of the wells. Conclusion has been done that in the high transformed, little porous rocks of coal-bearing strata the intensity of salinization of groundwater movement occurs quicker and that's why the direction of this movement is recommended to perform by the space-time change of the electric field of the saline halo.

Keywords: observation wells, geoelectric methods, underground water, saline halo, direction, monitoring, fracture.

На угольных месторождениях Донецкого бассейна гидрогеологические задачи, решаемые геофизическими методами, можно разделить на две группы. Первая группа связана с поиском, изучением и мониторингом водоносных горизонтов ме-

тодами полевой (наземной) геофизики, а вторая - с выделением и изучением этих горизонтов в разрезах скважин методами каротажа (скважинной геофизики). Сведения о проведении в Восточном Донбассе перечисленных видов геофизических работ в

* Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 14-17-00376).

литературных источниках единичны [1–4]. Причины следующие: 1) подземные воды угленосных отложений преимущественно солёные, поэтому их использование пригодно только в технических целях; 2) водоносные горизонты покровных отложений (верховодка), как правило, распространены локально и промышленного значения не имеют; 3) близ границ бассейна протекают крупные реки Дон и Северский Донец, которые служат мощными источниками питьевой воды; 4) геоэлектрические и сейсмические условия, в силу тонкослоистости угленосных разрезов и их повсеместной тектонической нарушенности, весьма неблагоприятны для использования глубинных наземных геофизических методов; 5) геофизические методы не позволяют определять химический состав вод, исключая степень их минерализации.

Востребованность использования наземных геофизических методов для решения гидрогеологических задач в Восточном Донбассе возникла в период реструктуризации угольной промышленности в конце 90-х гг. XX в. и начале XXI в. В этот период происходило массовое закрытие угольных шахт, ликвидируемых посредством их затопления (мокрый способ). В работах [2, 3] определены роль и место геофизических методов в гидрогеологическом мониторинге Восточного Донбасса. Ведущая роль принадлежит электроразведочным технологиям, с помощью которых граница уровня подъема подземных вод в методах электрического зондирования (ЭЗ) выражается последовательным сдвигом границы пониженного на 30 % удельного электрического сопротивления (УЭС), а приповерхностное (10–20 м) смещение контура водоподтопления уверенно картируется электропрофилированием по градиентному перепаду кажущегося удельного электрического сопротивления (КС) в 15–30 %. Поэтому электропрофилирование методами КС и естественного постоянного электрического поля (ЕП) позволяет определить контур зоны подтопления, выполнить прогноз развития процесса по площади и во времени.

На рис. 1 приведен пример изучения гидродинамики подземных вод на поле шахты «Степная» ОАО «Гуковуголь». Здесь методом ЕП при шаге измерений 10 м засняты 4 профиля на склонах балки Бургуста. Один из профилей (№ 4) проходит вблизи дренажной скважины. Возрастание естественных потенциалов вниз

по склону балки отражает направление потока грунтовых вод. Кроме того, локальными положительными аномалиями фиксируются участки разгрузки подземных вод (в том числе на профиле 4 в районе скважины), а по локальным отрицательным аномалиям на профилях 1, 2 в тальвеге балки установлена область дренажа.

Вопросы изучения водоносных горизонтов методами каротажа в углеразведочных скважинах были поставлены и наиболее полно освещены в конце 50-х гг. XX в. в работах В.Ю. Зайченко [1]. Определен перечень гидрогеологических задач, к которым относятся:

- 1) выделение в разрезах скважин водоносных горизонтов с определением глубины их залегания и мощности;
- 2) изучение скорости естественной фильтрации подземных вод;
- 3) выявление слоя, фактически питающего скважину во время опытных откачек или тартания;
- 4) определение мест поглощения промывочной жидкости и интенсивности самоизливов и переливов;
- 5) установление минерализации и температуры пластовых вод;
- 6) определение направления потока подземных вод в одиночных скважинах.

На рис. 2 приведен пример выделения пласта-коллектора по комплексу методов каротажа в угленосных отложениях, содержащих угли марки Д. В этих отложениях, относящихся к начальным стадиям эпигенетического преобразования, пористость песчаников составляет 16–18 %, и они, следовательно, являются потенциальными коллекторами для водонасыщения.

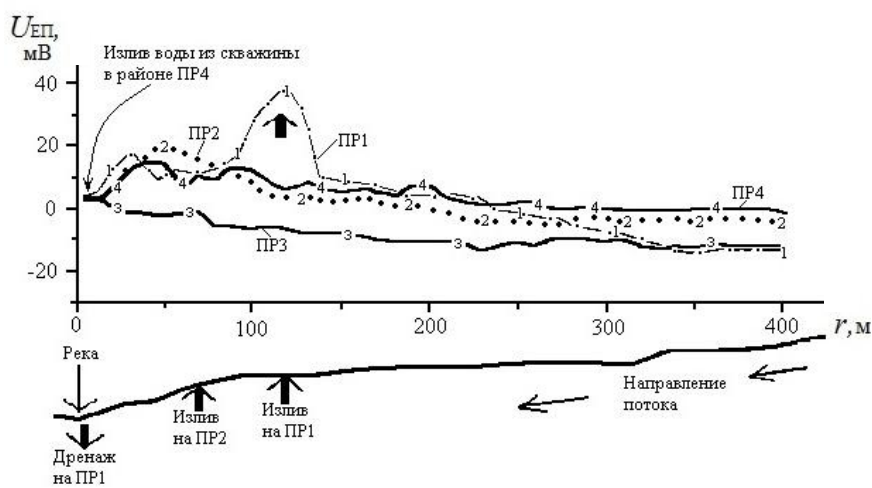


Рис. 1. Изучение методом постоянного естественного электрического поля гидродинамики подземных вод на поле закрытой шахты «Степная» ОАО «Гуковуголь» / Fig. 1. The study by the method of permanent natural electric field of the hydrodynamics of groundwater on the closed mine “Stepnaya” of the JSC “Gukovugol”

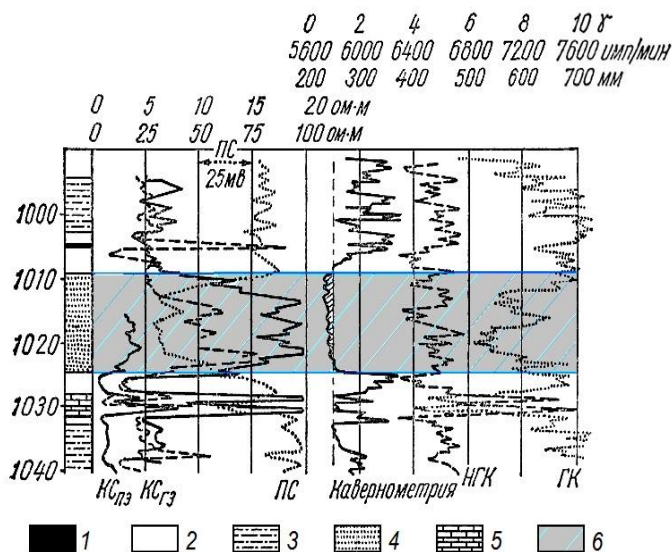


Рис. 2. Комплекс геофизических методов, применяемых для выделения водоносных пластов-коллекторов (по [1]): 1 – уголь; 2 – аргиллит; 3 – алевролит; 4 – песчаник; 5 – известняк; 6 – водоносный горизонт / Fig. 2. The complex of geophysical methods used for the allocation of water-bearing reservoirs [1]: 1 - coal; 2 - argillite; 3 - aleurolite; 4 - sandstone; 5 - limestone; 6 - aquifer

В приведенном примере пласт песчаника характеризуется повышенными значениями КС на диаграммах потенциал-зонда ($K_{C_{ПЗ}}$) и градиент-зонда ($K_{C_{ГЗ}}$), пониженными значениями потенциалов естественного электрического поля (ПС), естественной радиоактивности (ГК) и кавернометрии и средними значениями интенсивности поглощения нейтронов (НГК). Основным диагностическим признаком коллекторских свойств песчаника является кривая кавернометрии, на которой фиксируется наличие глинистой корки (фактический диаметр скважины становится меньше диаметра бурового долота). Это означает, что фильтрат бурового раствора под действием статического давления проникает в пласт и вытесняет в прискважинном пространстве пластовую воду. При этом глинистая фракция бурового раствора налипает на стенки скважины, образуя глинистую корку. Дополнительным диагностическим признаком наличия водоносного горизонта являются средние значения интенсивности нейтронного излучения ввиду того, что пласт песчаника является пористым и содержит слабосоленую воду. В альтернативных условиях, т.е. в малопористых высокоомных породах с малым содержанием водорода, интенсивность нейтронного излучения высокая.

На рис. 3 приведен пример выделения скважинными геофизическими методами зоны водоперетока через охранный целик из затопляемой мокрым

способом шахты «Соколовская» в работающую шахту «Несветайская» (ОАО «Ростовуголь») в Шахтинском углепромышленном районе Восточного Донбасса. Угленосные отложения в этом районе соответствуют углям марки А, т.е. находятся на высокой стадии эпигенетического преобразования и поэтому характеризуются низкой пористостью (<5%).

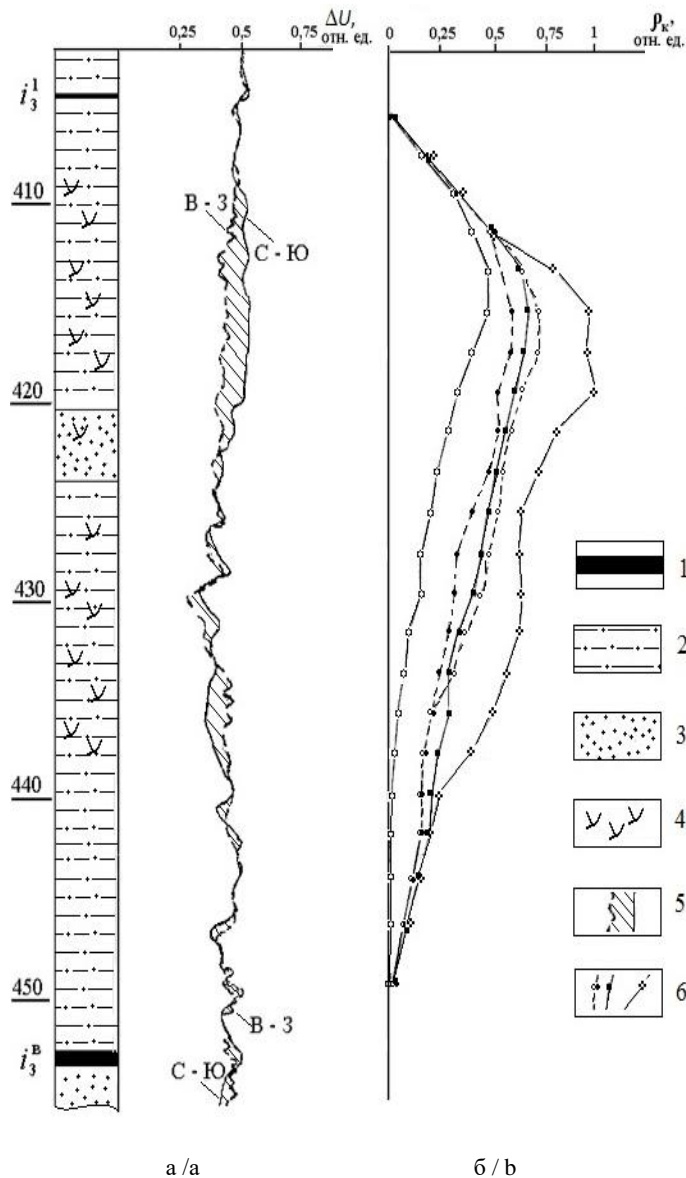


Рис. 3. Выявление в углеразведочной скважине наличия водоперетоков в высокопреобразованных и тектонически нарушенных породах (а, б – кривые МПЭФ-С и резистивиметрии): 1 – уголь; 2 – алевролит; 3 – песчаник; 4 – интервал тектонически нарушенных водопроницаемых пород; 5 – интервал несовпадения формы кривых ΔU ; 6 – кривые ρ_k / Fig. 3. Identification of water flows in the highly transformed and tectonically disturbed rocks in the exploratory coal well (a, b - curves of MPEF-C and of the resistivity): 1 - coal; 2 - siltstone; 3 - sandstone; 4 - slot tectonically disturbed permeable rocks; 5 - interval mismatch form of curves ΔU ; 6 - curves ρ_k

Каналами водоперетоков здесь являются области проявления тектонических разрывных нарушений, причем сбросового типа, поскольку они приурочены к зонам растяжения. Надвиговые же структуры, имеющие в большинстве случаев чешуйчатое строение и образовавшиеся в условиях сжатия, по наблюдениям в горных выработках (шахтах) находятся в основном в сухом состоянии. Диагностическим признаком тектонически нарушенной зоны, пересеченной скважиной, является несовпадение (рассогласование) формы кривых градиента потенциала ΔU , зарегистрированных при разнонаправленном возбуждении электрического поля (метод пространственной электрической фильтрации в скважинном варианте - МПЭФ-С [5]). Наличие водоперетока в тектонически нарушенной зоне обнаруживается методом резистивиметрии, по признаку увеличения значений КС (ρ_k), которые регистрировались с интервалом 1,5 ч после засолонения скважины.

На рис. 4–12 показано решение одной из приоритетных в настоящее время на Восточном Донбассе геологических проблем загрязнения подземных вод водами ликвидированных мокрым способом шахт (шахтными водами). В число задач входит мониторинг динамики подземных вод с помощью электроразведочной технологии метода заряженного тела (МЗТ) [6]. Технология реализована в наблюдательных скважинах, созданных на территории Шахтинского углепромышленного района Центром мониторинга геологических исследований Восточного Донбасса с расположением скважин на возможных направлениях подземных водотоков к местным дренажным системам (средние и малые реки). В комплексе с МЗТ применялась электроразведочная технология вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) в модификации крестовых ВЭЗ (измерения в одной точке при разнонаправленных питающих линиях). По результатам этих работ, во-первых, оценивались УЭС пород; во-вторых, условия горизонтального или же наклонного залегания пластов угленосной толщи.

При работах МЗТ исследовалось электрическое поле солевого ореола на дневной поверхности путём измерений потенциала по системе радиальных лучей, расходящихся от устья скважины под углом 45° (рис. 4а). По каждому лучу проводилось от 3 до 4 измерений в точках, расположенных на расстоянии от устья скважин в пределах от 1 до 2 глубин погружения в скважину питающего электрода A .

После разбивки профильных точек выполнялась первая серия наблюдений по всем направлениям. При этом сначала подвижный измерительный электрод M размещался рядом со вторым измеритель-

ным и неподвижным электродом N , устанавливаемым, как и питающий электрод B , с противоположной стороны от предполагаемого направления потока подземных вод. Результатом первого цикла наблюдений являлась запись в журнал значений потенциала поля электрода A , погруженного в скважину до её засолонения.

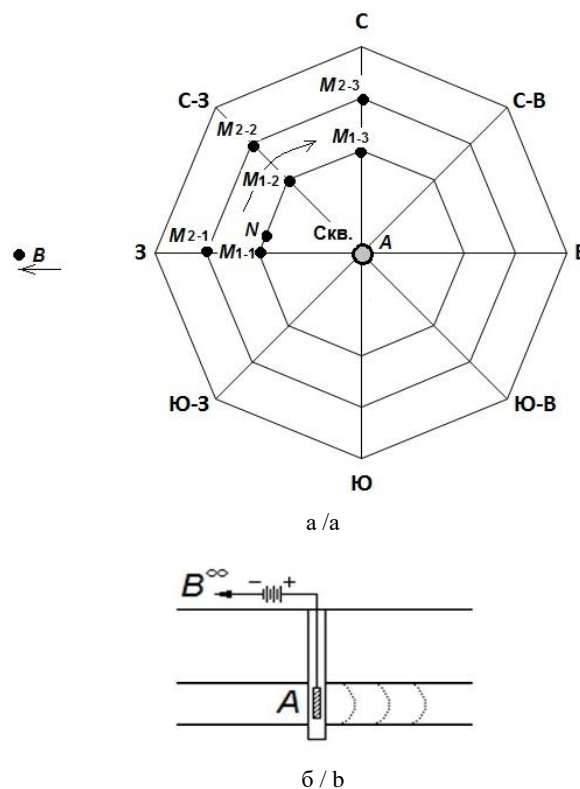


Рис. 4. Схема работ технологией МЗТ (а) и положение солевого электрода в водоносном горизонте (б) / Fig. 4. The scheme works of the CBM technology (a) and the location of the saline electrode in the aquifer (b)

Второй и последующие циклы наблюдений состояли в том, что в скважину погружался электродлит, в качестве которого выступала поваренная соль NaCl (рис. 4б). Выдерживался первый час, в течение которого электродлит должен был смешиваться с пластовой водой и выноситься подземным потоком за пределы ствола скважины. Последующая съёмка производилась в течение суток с периодичностью в один час при непрерывном (через 0,5 ч) добавлении соли в скважину. Для контроля качества засолонения до начала и по окончании геофизических работ из скважины отбирались пробы воды на резистивиметрию (определение УЭС жидкостей специальным прибором); в случае если наблюдения длились два дня, то также и в начале второго дня до первого добавления соли и по окончании всех работ.

ЭЗ технологией крестовых ВЭЗ выполнялись в створе каждой скважины по азимутам С–Ю и 3–В. Максимальный разнос питающей линии АВ составлял 200 м, а размер измерительной линии MN не изменялся и был равен 1 м. Центр установки располагался на удалении 5–10 м от скважины, что позволяло сопоставлять полученные результаты с данными бурения.

Как было отмечено выше, особенностью ситуационной характеристики района геофизических наблюдений являлся выбор скважин, размещённых в непосредственной близости от малых рек. С этой целью проводилось предварительное изучение детализационных карт и схем. Пример составления такой схемы для территории размещения наблюдательных скважин 5 и 6 вдоль русла р. Аюты приведён на рис. 5.

Геотехнические условия применения МЗТ в скважинах 5 и 6 поясняет рис. 6. В геологических разрезах этих скважин верхняя часть представлена отложениями четвертичной системы, залегающими несогласно на породах каменноугольной системы. Слои четвертичной системы состоят из песков, суглинков и глин.

Эти осадки находятся на стадии диагенеза и априори имеют высокую пористость порядка 20–25 %, следовательно, обладают повышенной способностью к водо- и влагонасыщению. Коренные породы каменноугольных отложений характеризуются низкой пористостью (менее 3–5 %), и у них восприимчивость к водопроницаемости низкая. Водонасыщение определяется в основном степенью трещиноватости.

Таким образом, покровные (четвертичные) и коренные (каменноугольные) отложения представляют собой две контрастные между собой по поровым, прочностным и электрическим свойствам толщи пород, из которых верхняя обсажена стальными трубами, и это предопределяет исследования технологией МЗТ только в интервале угленосной толщи.

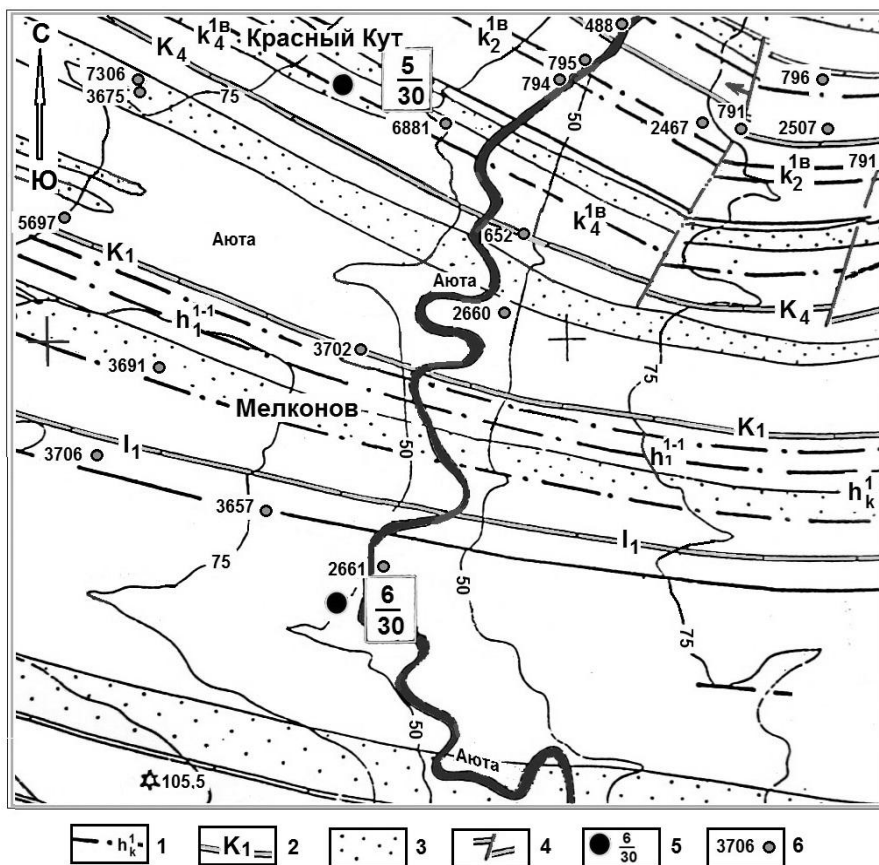


Рис. 5. Детализация схемы размещения наблюдательных скважин вдоль русла р. Аюты по отношению к геологическим структурам: 1 – угольный пласт и его индекс; 2 – известняк и его индекс; 3 – песчаник; 4 – тектоническое разрывное нарушение; 5 – наблюдательная скважина, ее номер и глубина; 6 – разведочная скважина / Fig. 5. Drill scheme placement of monitoring wells along the Ayuta riverbed in relation to geological structures: 1 - coal seam and its index; 2 - limestone and its index; 3 - sandstone; 4 - tectonic fault; 5 - observation well, its number and depth; 6 - exploration well

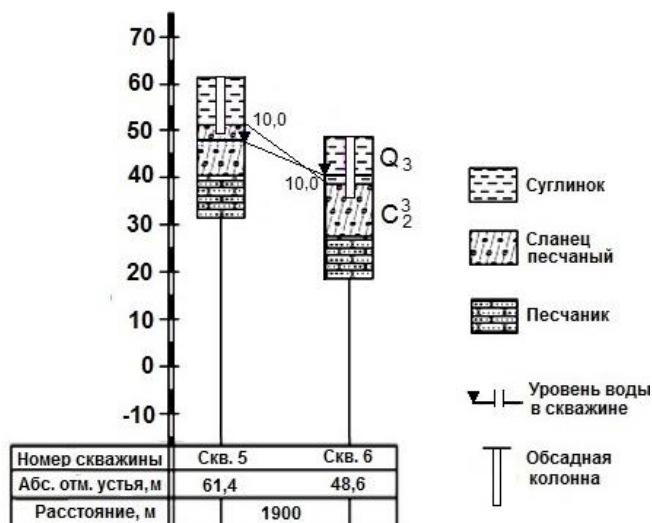


Рис. 6. Геологические разрезы наблюдательных скважин 5 и 6 / Fig. 6. Geological sections of observation wells 5 and 6

На рис. 7 сопоставлены кривые крестовых ВЭЗ, которые отображают строение геоэлектрических разрезов в местах размещения наблюдательных скважин 5 и 6 на глубину более 25–30 м. Рассмотрение кривых показывает, что при зондировании по различным направлениям (в данном случае по направлениям С-Ю и З-В) кривые практически совпадают. Следовательно, на участках расположения скважин 5 и 6 геологическим разрезам присуща горизонтальная выдержанность покровных отложений.

На рис. 8 приведены в форме диаграмм изолиний потенциалов электрического поля результаты МЗТ в скважинах 5 и 6. Форма этих диаграмм близка к круговой, что свидетельствует, с одной стороны, о том, что скважины пробурены в относительно однородных и горизонтально-слоистых породах, а с другой – о весьма малых скоростях движения подземных вод. Значения этих скоростей (V) в скважине 5 составляет $V=1,32$ м/сут, а в скважине 6 – $V=0,57$ м/сут.

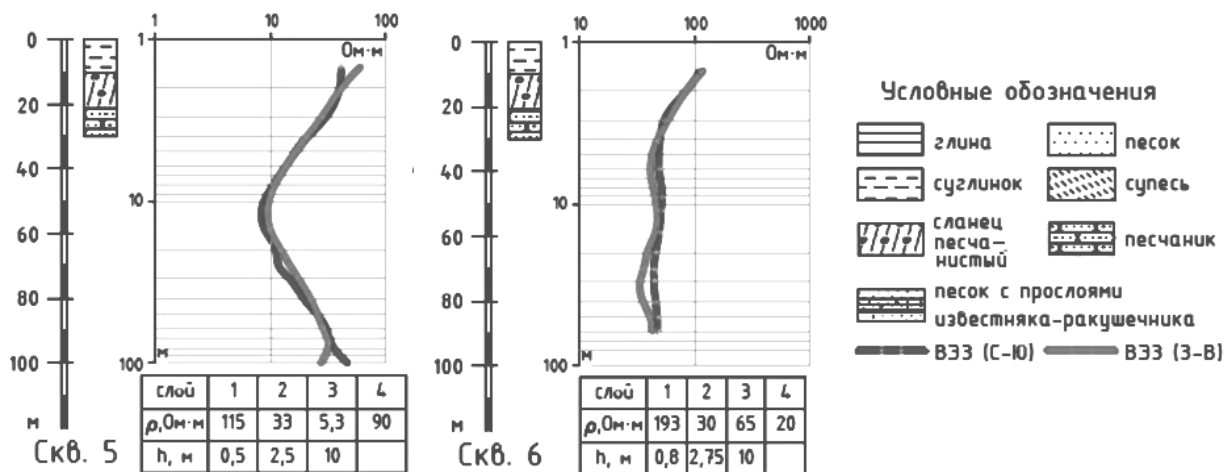


Рис. 7. Кривые крестовых ВЭЗ на участках наблюдательных скважин 5 и 6 / Fig. 7. Curves of cross VES in the areas of monitoring wells 5 and 6

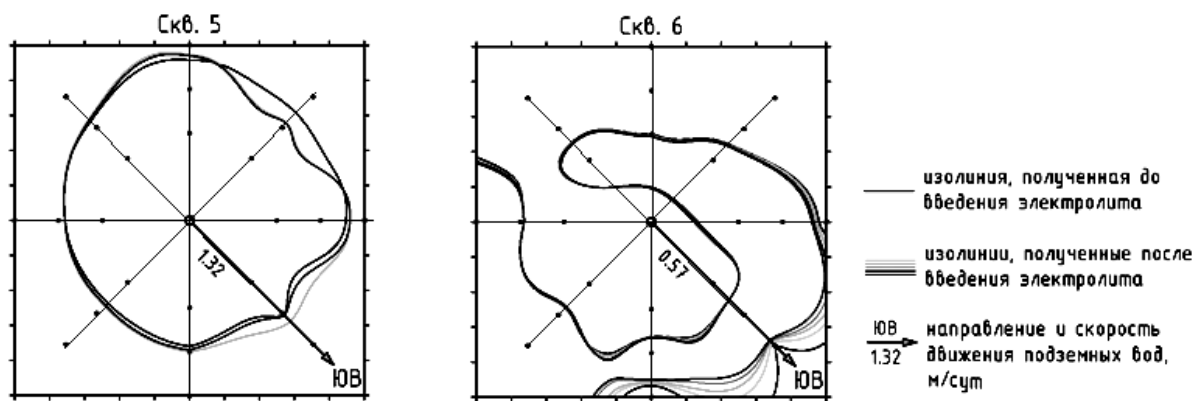


Рис. 8. Модели динамики подземных вод в скважинах 5 и 6 / Fig. 8. Models of dynamics of groundwater in wells 5 and 6

Прослеживается известная тенденция, которая в общем виде сводится к тому, что чем меньше уровень подъёма, тем выше скорость движения. Это следует и из рассмотрения рис. 5, где в геологических разрезах показан установившийся в скважинах уровень воды: в скважине 5 пластовая вода не доходит до подошвы покровных отложений и скорость потока здесь больше, чем в скважине 6. Направление движения подземных вод в скважинах 5 и 6 имеет юго-восточное направление. Обращает внимание и тот факт, что чем ближе к местной реке

расположена скважина, тем меньше в ней скорость потока (табл. 1). По всей видимости, подземные воды в скважинах 5 и 6 разгружаются в местную речную сеть (реку Аюту).

Точку на этом, однако, ставить преждевременно. Приведенные на рис. 7 модели динамики подземных вод были подвергнуты дополнительному анализу с позиций рассмотрения геотехнической обстановки, методических приёмов измерений и мониторинговых наблюдений.

Таблица 1
Соотношение скоростей подземных вод и расстояний от скважин до рек / Ratio of groundwater velocities and distances from wells to rivers

Показатель	№ скважины	
	5	6
Скорость потока, м/ч	1,32	0,57
Расстояние до реки, м	460	130

Было учтено, что осложняющим фактором, который влияет на снижение эффективности МЗТ, является наличие обсадки. Ее глубина (см. рис. 5) в скважинах 5 и 6 соответствует мощности покровных отложений. В таких случаях для повышения разрешающей способности длину наблюдательных лучей по сравнению с необсаженными скважинами увеличивают в 1,5 раза, и она должна быть равна 2-3-кратной глубине залегания водоносного горизонта [6]. Это условие при проведении полевых работ в основном соблюдалось. Другим методическим приемом повышения результативности технологии МЗТ, применяемой в обсаженных скважинах, является увеличение в 2,5 раза базисного расстояния между центром скважины и неподвижным измерительным электродом по сравнению с глубиной залегания изучаемого водоносного горизонта. Это условие по техническим и геоморфологическим условиям соблюдалось частично. Кроме этого, при анализе моделей, представленных на рис. 7, учитывалось отсутствие в разрезах скважин 5 и 6 признаков тектонических нарушений и то, что верхняя часть толщи каменноугольных отложений

характеризуется более высокими удельными электрическими сопротивлениями ($\rho_{п}$) на территории размещения скважины 5 ($\rho_{п}=90 \text{ Ом}\times\text{м}$) и более низкими в районе скважины 6 ($\rho_{п}=20 \text{ Ом}\times\text{м}$), что связано с неодинаковой степенью обводненности этих отложений.

Продолжительность циклов наблюдений в обеих скважинах составляла 5 ч. Условия засоления были практически одинаковыми (рис. 9).

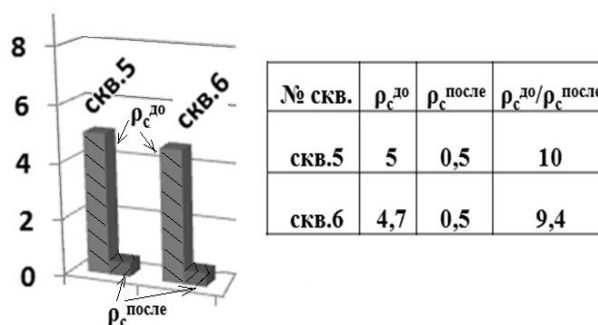


Рис. 9. Данные УЭС проб подземных вод, отобранных в наблюдательных скважинах 5 и 6 до и после засоления / Fig. 9. The resistivity of groundwater samples taken in observation wells 5 and 6 before- and after-salinization

На рис. 10 приведены круговые диаграммы распределения напряженности электрического поля, создаваемого скважинным питающим электродом А до и в процессе засоления в скважине 5 как наиболее разгружаемой по скорости (см. рис. 7).

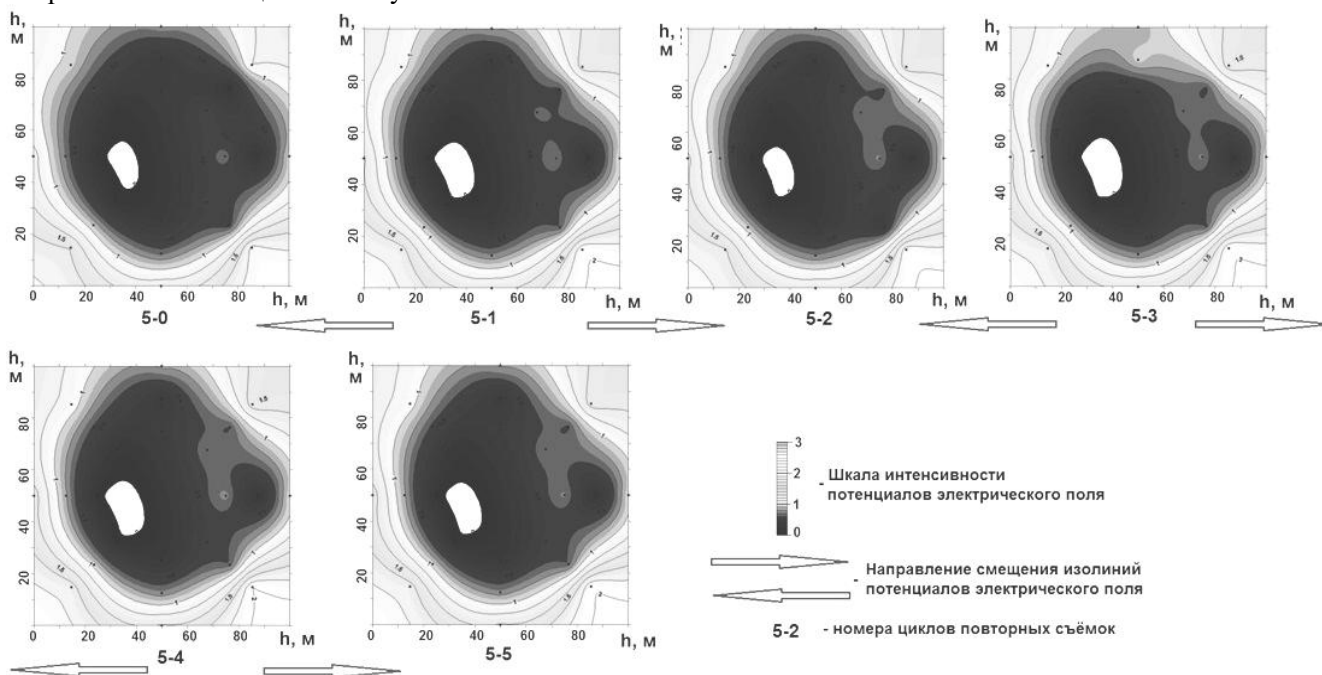


Рис. 10. Смещение во времени изолиний потенциала электрического поля в скважине 5 по результатам МЗТ / Fig. 10. Shift in time the contours of the electric field potential in the well 5 by the results of the CBM

Из рассмотрения рис. 10 следует, что смещение изолиний потенциалов электрического поля во времени носит синусоидальный характер, т.е., выражаясь терминами радиоэлектроники, в виде «биений». Это, соответственно, не позволяет делать выводы об однонаправленной фильтрации подземных вод, притом что явление «биений» имеет место и в скважине 6. Можно предположить как минимум две версии имеющих место процессов, первая из которых – турбулентность в затрубном пространстве, а вторая – периодичность засолонений.

В скважине 5 выполнены повторные исследования технологий МЗТ через шесть с половиной месяцев после первого цикла. Данные первого и второго периодов измерений сопоставлены на предмет идентичности по одноименно-совпадающим временным циклам исследований (6-часовой интервал с момента засолонения). Разноранговое сопоставление данных первого и второго периодов измерений в скважине 5 (как в форме графиков, так и в форме диаграмм) приведено на рис. 11 и 12.

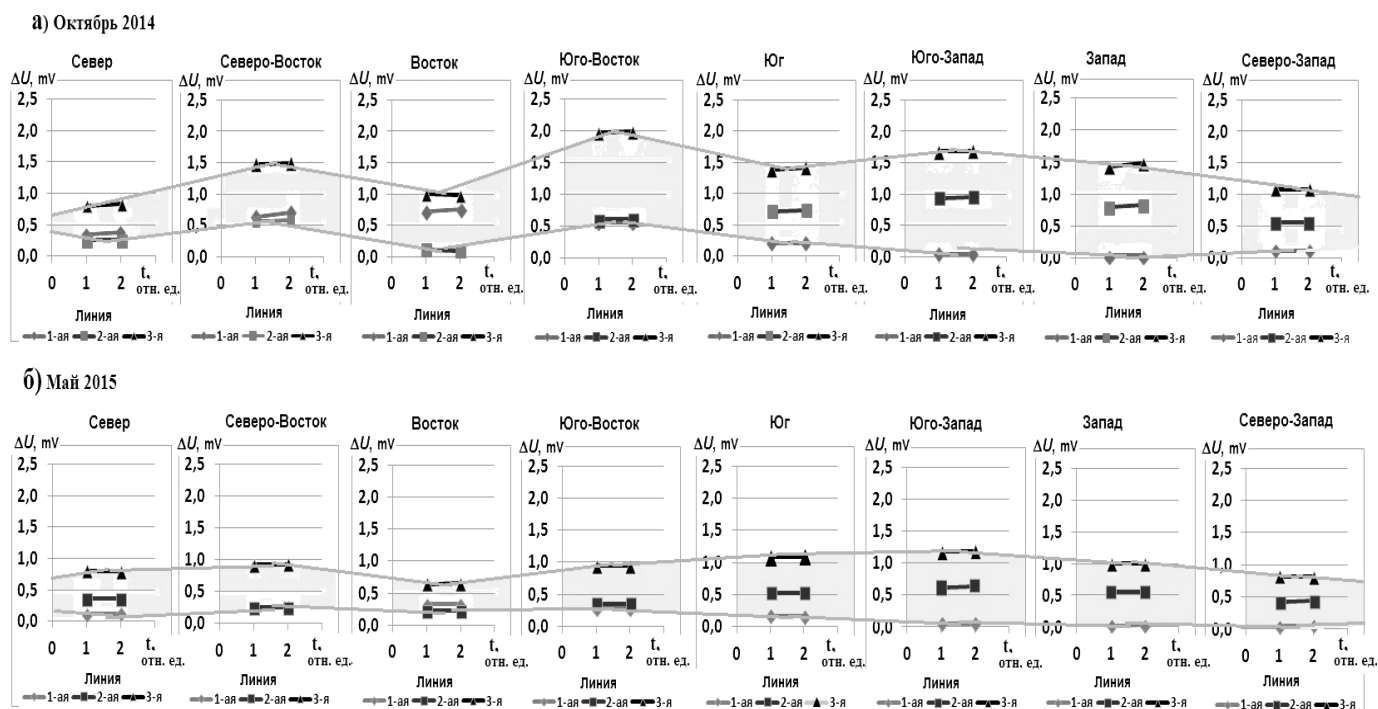


Рис. 11. Графики изменения напряженности электрического поля солевого ореола по азимутальным направлениям в скважине № 5 за 6-часовой период по результатам наблюдений в октябре 2014 г. и мае 2015 г. / Fig. 11. Charts of the electric field intensity change of the halo of salt on the azimuthal direction in the well for the 6-hour period, according to the results of observations in October 2014 and May 2015

Анализ приведенных на рис. 11 и 12 построений показывает, с одной стороны, повторяемость направлений распределения солевого ореола, причем более выраженного в первом исследовании, а с другой – значительное понижение напряженности электрического поля при повторных измерениях, т.е. через 6,5 мес. Отсюда следует вывод, что в высокопробных, малопробных породах угленосной толщи засолонение подземных вод опережает их движение, поэтому очевиден факт весьма замедленного движения этих вод в слоистых угленосных отложениях. Доказательством могут служить и измерения УЭС проб воды, отобранных до и после засолонения (табл. 2).

Таблица 2
Результаты измерений УЭС проб воды, отобранных из наблюдательной скважины 5 до и после засолонения на первом и втором этапах наблюдений за 6,5 месяца / Results of measurements of resistivity of water samples from observation wells before- and after-salinization at the first and second stages of the observation period of 6.5 months

Дата	Время	t, °C	УЭС, Ом·м	Измерение, до/после засолонения
30.10.2014	11:06:00	12,00	5,00	До
30.10.2014	12:50:00	12,00	0,5	После
16.05.2015	20:55:00	11,00	0,22	До
18.05.2015	17:02:00	14,00	0,06	После
19.05.2015	9:00:00	14,00	0,04	//-//-

Октябрь 2014 г.

Май 2014 г.

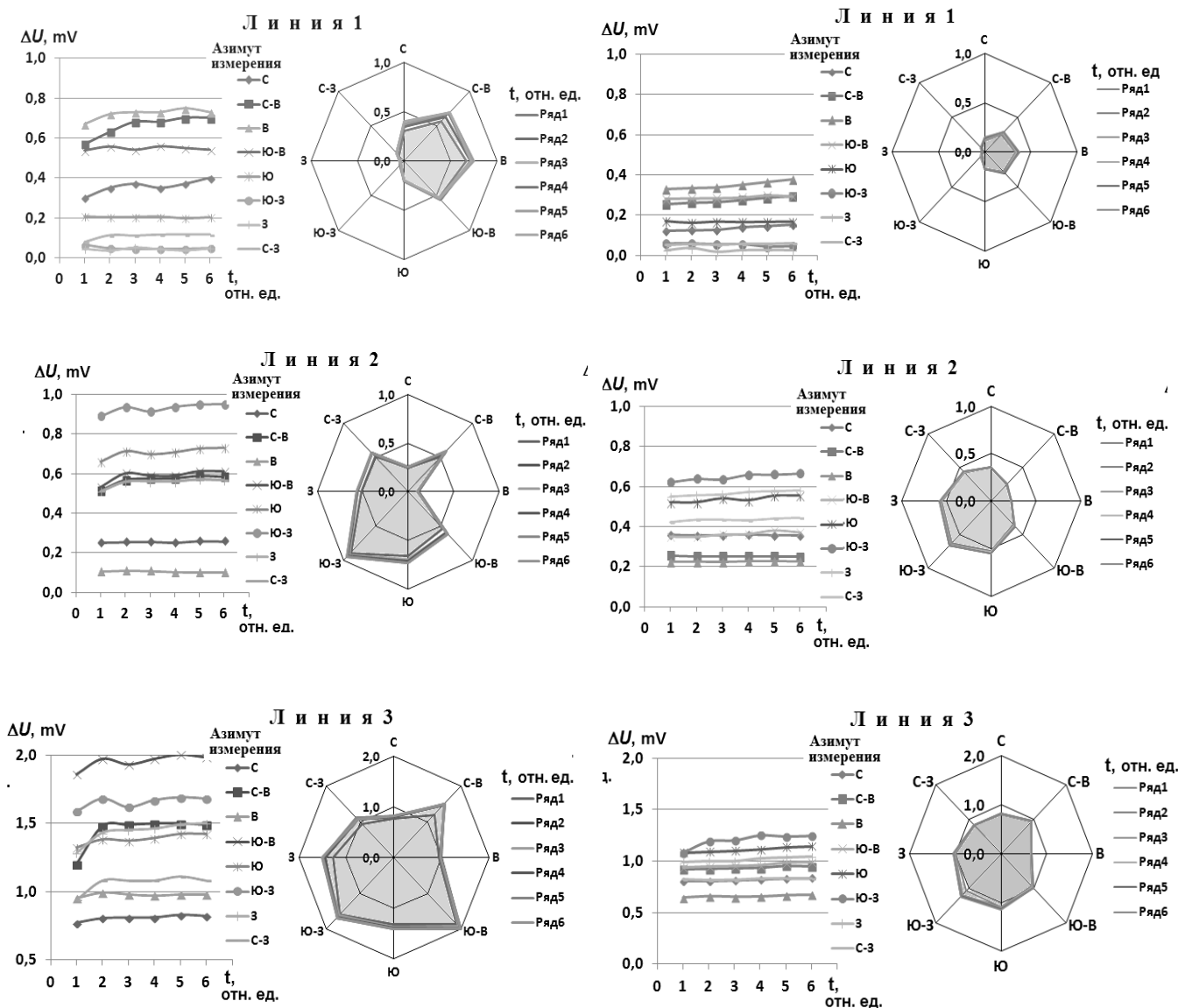


Рис. 12. Графики и круговые диаграммы изменения напряженности электрического поля солевого ореола в скважине 5 за 6-часовой период в октябре 2014 г. и в мае 2015 г. / Fig. 12. Graphs and pie charts changes in the electric field of the saline halo in the well 5 for the 6-hour period in October 2014 and in May 2015

Из табл. 2 следует, что на первом этапе работ МТЗ за 6 ч УЭС воды в скважине уменьшилось в 10 раз, но растворимость NaCl, очевидно, была неполной, так как за последующий период сроком 6,5 мес. засолонение подземных вод возросло более чем в два раза, причем это состояние подземной воды в скважине явилось начальным при измерениях МЗТ в мае 2015 г. Последующее последовательное засолонение в течение 3 сут привело к уменьшению УЭС в 3,7÷5,5 раза. Следовательно, интенсивность засолонения уменьшается по мере роста насыщения растворов и происходит

синхронно с весьма замедленным движением подземных вод.

Выводы

1. МТЗ в комплексе с круговым ВЭЗ является достаточно эффективной технологией для решения задач динамики подземных вод в Восточном Донбассе с целью последующего анализа на предмет их загрязнения шахтными водами.
2. Полученные с помощью электроразведочных методов материалы позволяют сделать вывод, что в высокопреобразованных, малопористых породах

угленосной толщи интенсивность засоления подземных вод опережает их движение и поэтому направление этого движения целесообразно определять по пространственно-временному изменению напряженности электрического поля солевого ореола.

3. Резистивиметрические наблюдения позволяют в режиме реального времени контролировать степень солёности подземных и поверхностных вод и тем самым служат эффективным средством первичной проверки аномалий, выявленных иными методами.

Литература

1. Гаркаленко И.А., Зайченко В.Ю., Михедько А.Ф., Развалов Н.П. Решение гидрогеологических задач с помощью геофизических исследований в скважинах // Методика геофизических исследований скважин Донбасса. Киев, 1971. С. 122–140.

2. Фоменко Н.Е., Порфилкин Э.Г., Гроссу А.Н. Электроразведочные методы контроля состояния гидросферы в угольных регионах (требования, технологии, результаты) // Научно-методическое обеспечение мониторинга угольных бассейнов и месторождений России : сб. тр. Всерос. науч.-техн. семинара 25–27 сент. 2001 г., г. Ростов н/Д. Шахты, 2001. С. 17–20.

3. Фоменко Н.Е., Порфилкин Э.Г. Решение задач гидрогеологического мониторинга на горных отводах закрытых шахт Восточного Донбасса электроразведочными методами // Проблемы геоэкологии, геохимии и геофизики. Ростов н/Д., 2005. С. 342–351.

4. Фоменко Н.Е., Закруткин В.Е., Склярченко Г.Ю., Гапонов Д.А. Использование результатов экогеофизических исследований для построения модели загрязнения подземных вод в Восточном Донбассе // Инженерная, угольная и рудная геофизика – 2015. Современное состояние и перспективы развития : материалы междунар. науч.-практ. конф. и выставки ЕАГО. Сочи, 28 сентября – 2 октября 2015 г. Сочи, 2015. С. 99–103.

5. Огильви А.А. Основы инженерной геофизики : учебник для вузов / под ред. В.А. Богословского. М., 1990. 501 с.

6. Фоменко Н.Е., Порфилкин Э.Г., Боровик Н.Ю. Электроразведочные методы пространственной

фильтрации при изучении сложнопостроенных структур // Геофизика. 2007. № 2. С. 56–63.

References

1. Garkalenko I.A., Zaichenko V.Yu., Mikhed'ko A.F., Razvalov N.P. [The solution of hydrogeological problems by means of geophysical explorations in holes]. *Metodika geofizicheskikh issledovaniy skvazhin Donbassa* [Methods of geophysical investigations of Donbass wells]. Kiev, 1971, pp. 122-140.

2. Fomenko N.E., Porfilkin E.G., Grossu A.N. [Geoelectric methods of monitoring the hydrosphere state in the coal regions (requirements, technologies, results)]. *Nauchno-metodicheskoe obespechenie monitoringa ugol'nykh basseinov i mestorozhdenii Rossii* [Scientific and methodological support for monitoring coal basins and deposits of Russia]. Proceedings scientific and engineering workshop. September 25-27, 2001, Rostov-on-Don. Shakhty, 2001, pp. 17-20.

3. Fomenko N.E., Porfilkin E.G. [Hydrogeological monitoring tasks solution on mountain taps closed mines of East Donbass by geoelectric methods]. *Problemy geoekologii, geokhimii i geofiziki* [Problems of geoecology, geochemistry and geophysics]. Rostov-on-Don, 2005, pp. 342-351.

4. Fomenko N.E., Zakrutkin V.E., Sklyarenko G.Yu., Gaponov D.A. Ispol'zovanie rezul'tatov ekogeofizicheskikh issledovaniy dlya postroeniya modeli zagryazneniya podzemnykh vod v Vostochnom Donbasse [Using the ecogeophysical studies results for the construction of models of groundwater contamination in the Eastern Donbass]. *Inzhenernaya, ugol'naya i rudnaya geofizika – 2015. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya* [Engineering, coal and mining geophysics – 2015. Current state and prospects of development]. Proceedings of the internat. scientific-practical. conf. EAGO. Sochi, September 28 - October 2, 2015. Sochi, 2015, pp. 99-103.

5. Ogil'vi A.A. *Osnovy inzhenernoi geofiziki* [Fundamentals of engineering geophysics]. Textbook. Ed. V.A. Bogoslovskii. Moscow, 1990, 501 p.

6. Fomenko N.E., Porfilkin E.G., Borovik N.Yu. Elektrorazvedochnye metody prostranstvennoi fil'tratsii pri izuchenii slozhnopostroennykh struktur [Electro spatial filtering methods in the study of complex structures]. *Geofizika*. 2007, no. 2, pp. 56-63.

НАУЧНАЯ ЖИЗНЬ

SCIENTIFIC LIFE

DOI 10.18522/0321-3005-2016-4-120-122

XVIII МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ», посвященная памяти В.М. Александрова

(Ростов-на-Дону, 7–10 ноября 2016 г.)

В Ростове-на-Дону в Южном федеральном университете с 7 по 10 ноября 2016 г. состоялась очередная XVIII Международная научная конференция «Современные проблемы механики сплошной среды», посвященная 80-й годовщине со дня рождения заслуженного деятеля науки РФ, лауреата Государственной премии РФ, академика РАН, д-ра физ.-мат. наук, проф. Виктора Михайловича Александрова (сайт конференции <http://mcc-conf.ru>).

Виктор Михайлович Александров родился 1 января 1934 г. в г. Ростове-на-Дону. После окончания школы учился на отделении механики физико-математического факультета РГУ, в 1958 г. окончил его с отличием по специальности «механика» и в этом же году стал аспирантом профессора Иосифа Израилевича Ворovichа, который в дальнейшем сыграл определяющую роль в становлении его как ученого. С 1961 г., с момента создания в РГУ кафедры теории упругости, ставшей кузницей кадров в области механики на юге страны, В.М. Александров – её сотрудник. В 1963 г. он блестяще защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, а в 1972 г. – учёной степени доктора физико-математических наук. С 1974 г. он – профессор по кафедре теоретической гидроаэромеханики РГУ.

Значительная часть жизни В.М. Александрова связана с Ростовским госуниверситетом, где он прошел путь от ассистента кафедры теории упругости до заведующего кафедрой теоретической гидроаэромеханики. Большая роль ему принадлежит в становлении и развитии НИИ механики и прикладной математики (НИИ МиПМ) РГУ; в первые годы его создания он был заместителем директора по научным вопросам и заведующим отделом контактной прочности. В РГУ и других учебных и научных заведениях Ростова-на-Дону работает большое коли-

чество его учеников, почти все они защитили диссертации, в том числе и докторские.

В 1978 г. Виктор Михайлович был приглашен для работы в качестве заместителя заведующего в лабораторию механики вязкоупругих тел ведущего научного учреждения в области механики – Института проблем механики (ИПМех) АН СССР, г. Москва. Долгие годы в ИПМех Виктор Михайлович работал заведующим лабораторией и главным научным сотрудником; в 1981 г. был приглашен по совместительству на должность профессора кафедры теории пластичности крупнейшего в стране учебного заведения – Московского госуниверситета им. М.В. Ломоносова.

В.М. Александров – известный специалист в области механики контактных взаимодействий и механики разрушения деформируемых тел, механики сплошных сред со смешанными граничными условиями, в теории интегральных, интегро-дифференциальных и функциональных уравнений математической физики, где им получены многие основополагающие результаты. Наиболее значительные из них связаны с разработкой эффективных аналитических (асимптотических) методов решения широкого класса интегральных и парных интегральных уравнений и решением на их основе многочисленных проблем теории контактного взаимодействия в механике деформируемого твердого тела. Им осуществлены новые постановки неклассических задач контактного взаимодействия, учитывающие такие факторы, как износ в зоне контакта, шероховатость контактирующих поверхностей, трение, тепловыделение и другие факторы.

В.М. Александров – автор более 370 научных работ, 10 монографий и 3 изобретений. За свою научную карьеру он подготовил 30 кандидатов физико-математических наук, семеро из которых

впоследствии защитили докторские диссертации.

Велика роль Виктора Михайловича в организации науки в нашей стране. Он являлся членом Национального комитета по теоретической и прикладной механике, Национального комитета по трибологии, Научного совета РАН по механике деформируемого твердого тела, бюро межведомственного научного совета по трибологии; участвовал в издании журналов «Прикладная математика и механика», «Трение и износ», являлся членом редколлегий журналов «Известия РАН. Механика твердого тела» и «Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества (ЧЭС)». В 1995 г. был удостоен почетного звания «Заслуженный деятель науки Российской Федерации». В 1996 г. за большие заслуги в научной и образовательной деятельности избран членом-корреспондентом Российской академии естественных наук, а в 2000 г. стал ее действительным членом. В 1997 г. награжден медалью «В память 850-летия Москвы». За выдающиеся результаты в области механики контактных взаимодействий в 2001 г. в составе научного коллектива стал лауреатом Государственной премии РФ, а в 2002 г. награжден орденом Почета.

Виктор Михайлович обладал огромным творческим потенциалом и исключительной работоспособностью; вел интенсивную научную работу, руководил аспирантами, читал специальные курсы механики студентам МГУ, оппонировал кандидатские и докторские диссертации, принимал активное участие в работе многих конференций как в России, так и за ее пределами. При его непосредственном участии в Ростове-на-Дону в 1977 г. состоялась первая в СССР конференция по смешанным задачам, давшая мощный толчок развитию механики и математики в нашей стране.

Принципиальность, чувство справедливости и желание всегда прийти на помощь в трудную минуту были неотъемлемыми чертами его характера, которые снискали ему уважение коллег и признательность его учеников.

Отметим, что конференция проходила в атмосфере добрых теплых воспоминаний о Викторе Михайловиче, почтить его память и выступить с докладами прибыли академики РАН В.А. Бабешко, И.Г. Горячева, представительная делегация сотрудников Института механики НАН Республики Армения.

Открытие конференции и пленарное заседание прошли на территории Института математики, механики и компьютерных наук ЮФУ им. И.И. Воронича в рамках следующих научных направлений: «биомеханика», «смешанные задачи механики сплошной среды», «математические проблемы механики сплошной среды», «вычислительная механика», «наномеханика», «связанные физико-меха-

нические поля в механике сплошной среды», «модели и задачи механики тонкостенных конструкций», «математические модели гидроаэромеханики», «нелинейная механика», объединенных в три секции.

Первым на пленарном заседании состоялся доклад, посвященный жизни и научному творчеству В.М. Александрова и обзору наиболее значимых его работ. В этот же день прошли пленарные доклады, посвященные важным разделам современной механики сплошной среды, например, исследованию некоторых новых классов смешанных задач теории упругости и ползучести, особенно новым оригинальным методам решения интегральных уравнений, исследованию возникновения вращения жидкости в термогравитационном пограничном слое, аналитическому и КЭ-моделированию пьезокомпози-тов, в частности, определению эффективных свойств на основе решения ряда модельных задач.

По завершении работы секций вниманию участников конференции были предложены стендовые доклады, вызвавшие большой интерес. Здесь все смогли ознакомиться с представленными исследованиями и пообщаться в непринужденной обстановке друг с другом, задать интересующие вопросы.

Пленарные доклады второго дня конференции были посвящены некоторым вопросам моделирования взаимодействия микрополярных оболочек с жидкостью, в том числе описания движения в эйлеровых координатах, что важно при моделировании движения крови по крупным кровеносным сосудам; моделям пороупругости и их приложениям к важным проблемам ремоделирования костной ткани; способам интегрирования широкого класса квазилинейных уравнений механики сплошной среды с помощью метода годографа и различным аспектам теории и приложений метода блочного элемента.

В области смешанных задач теории упругости основное внимание уделено исследованию важных задач об индентировании неоднородного полупространства, контактировании кусочно-однородных и непрерывно неоднородных тел, ослабленных трещинами, смешанным задачам для тел со сложными физико-механическими свойствами, новым моделям образования трещин, контактными задачам для слоистых сред, смешанным задачам для моделей электроупругости и магнитоупругости.

Доклады в области математических проблем механики сплошной среды посвящены возбуждению, распространению и преотражению волн в слоистых, слоисто-неоднородных и функционально-градиентных средах с поверхностными и внутренними неоднородностями, трещинами и дислокациями, различным аспектам формулировки пружинных граничных условий в области дефектов,

исследованию новых типов волн в упругом полупространстве в зависимости от граничных условий, математическим аспектам решения задач идентификации предварительных напряжений и неоднородных свойств материалов, исследованию деформирования и устойчивости цилиндров и балок при конечных деформациях, исследованию задач о равновесии анизотропных тел и их приложениям к горной механике.

Доклады в области вычислительной механики посвящены вычислительной механике композитов, развитию метода конечных элементов и его приложениям к новым классам задач, разработке итерационных схем и вычислительных технологий по решению обратных коэффициентных задач для различных моделей связанных полей.

Работы по исследованию связанных физико-механических полей в механике сплошной среды были посвящены моделированию поликристаллических пьезокпозиционных материалов в рамках концепции эффективных модулей, расчетам эффективности устройств на поверхностных акустических волнах и методам решения задач для многоэлектродных структур, анализу волновых процессов в динамической термоупругости, исследованию особенностей диагностики внутреннего напряженного состояния конструкций в термоупругости и электроупругости, изучению волновых процессов и дисперсионных соотношений в неоднородных волноведущих структурах – в неоднородном поропругом слое, неоднородном по толщине пьезоэлектрическом слое.

Механика тонкостенных конструкций представлена рядом задач о деформировании пластин при наличии упругого опирания, в том числе и по определению коэффициентов податливости, задачами, посвященными изучению устойчивости и закритическому поведению упругих и упругопластических оболочек вращения, применению мембранных моделей, КЭ-моделированию тонкостенных элементов конструкций, вынужденным гармоническим колебаниям цилиндрических многослойных полимерных оболочек.

В области биомеханики отметим работы, посвященные КЭ-моделированию различных имплантов, исследованиям в области биомеханики глаза, в частности эластотометрии; моделированию пористоупругих структур с приложениями к биомеханике костной ткани, биомеханическим аспектам позвоночно-двигательного сегмента и биомеханике сосудов.

Работы в области нелинейных моделей посвящены исследованию деформирования и устойчивости упругих тел, в частности, балок и цилиндров при нелинейных законах состояния, контактному взаимодействию элементов составных термонагруженных конструкций, выпучиванию упругопластических оболочек при квазистатических контактных нагружениях, равновесию изотропных несжимаемых микрополярных тел, в том числе оболочек, изучению равновесия нелинейно упругих тел при наличии предварительного напряженного состояния.

Доклады по математическим моделям гидроэромеханики были посвящены исследованию течений и устойчивости вязкой жидкости, возникновению пространственных периодических режимов, изучению типов ветвления автоколебаний, бифуркациям в динамических системах, моделированию испарения капли, различным аспектам исследования задач гидроупругости, моделированию электрофореза, движения пассивных примесей в русловых потоках, задачам виброкипения.

В программу конференции были включены доклады учёных России, Армении, Белоруссии, Болгарии, Великобритании, Грузии, Латвии, Польши, Украины. Непосредственное участие в работе конференции приняли представители вузов и научных школ Москвы, Ростова-на-Дону, Владикавказа, Иванова, Краснодара, Комсомольска-на-Амуре, Нижнего Новгорода, Перми, Санкт-Петербурга, Саратова и других городов.

Отрадно отметить, что среди участников конференции было много молодых исследователей, в том числе магистров и аспирантов, представивших интересные доклады, что позволяет с оптимизмом смотреть в будущее.

А.О. Ватульян, доктор физико-математических наук, профессор, Южный федеральный университет

М.И. Карякин, доктор физико-математических наук, доцент, Южный федеральный университет

М.И. Чебаков, доктор физико-математических наук, профессор, Южный федеральный университет

DOI 10.18522/0321-3005-2016-4-123-125

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ГОСУДАРСТВ – ЧЛЕНОВ ОДКБ
«ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ»,
г. Ереван, Армения, 27.– 29 сентября 2016 г.**

Данная конференция проводилась впервые. Её организаторы – Центр эколого-ноосферных исследований НАН РА, Армянское национальное представительство Института Организации Договора о коллективной безопасности, Российский центр науки и культуры в Ереване. Финансовую поддержку оказал Государственный комитет по науке Министерства образования и науки РА.

Цель конференции – обмен информацией ученых стран ОДКБ о результатах исследований в области безопасности окружающей среды, установление связей, разработка совместных программ и проектов, консолидация усилий в решении экологических проблем. Актуальность заявленной темы вызвала большой интерес научной общественности. В работе конференции приняли участие около 100 человек: ученые, аспиранты и студенты, представители министерств, ведомств, общественных организаций, журналисты.

Ученые из Армении, Казахстана, Российской Федерации и Таджикистана представили широкий спектр докладов по важнейшим вопросам безопасности окружающей среды, затрагивающим проблемы природопользования, геоэкологии, дистанционного мониторинга, информационных технологий, оценки экологического риска и целого ряда других направлений.

В опубликованный сборник материалов конференции вошло 35 докладов. В течение заседаний также заслушано 20 устных докладов по широкому кругу вопросов, ориентированных на решение задач по обеспечению безопасности окружающей среды.

С приветственными словами к участникам мероприятия выступили представители посольств Российской Федерации, Белоруссии и Казахстана, Академии наук Армении. Выступающие отметили, что сегодня многие экологические проблемы приобрели планетарный масштаб, имеют межрегиональный и трансграничный характер и содержат геополитические риски, что чревато конфликтными ситуациями. В этом контексте включение экологической компоненты в модель региональной системы коллективной безопасности является насущной необходимостью.

По мере научно-технического прогресса экологические проблемы во многих странах и регионах

стали реальной угрозой безопасности населения, продовольственной безопасности, экономическому росту, целому ряду факторов, определяющих устойчивость развития и обороноспособность государств.

Государства – члены ОДКБ взаимодействуют по координации своих внешнеполитических позиций, наращивают поддержку усилий по поиску взаимоприемлемых решений региональных и международных проблем. Вместе с тем на фоне процессов коллективного решения подобных глобальных вопросов проблематике безопасности окружающей среды не всегда уделяется должное внимание.

Выступавшие также отметили, что Организация Договора о коллективной безопасности является интегрирующей платформой, на базе которой ученые государств-членов имеют возможность совместного обсуждения проблем, консолидации усилий в области обеспечения экологической безопасности. Конференция в определенной степени восполнила дефицит в уровне обмена информацией и межличностного общения специалистов.

Научные доклады по тематике можно сгруппировать следующим образом:

- безопасность окружающей среды урбанизированных территорий;
- окружающая среда в зоне влияния предприятий атомной и горнодобывающей отраслей;
- региональные агроэкологические проблемы;
- окружающая среда и здоровье населения;
- современные технологии в решении проблем безопасности окружающей среды.

В первой тематической группе следует выделить доклады: 1. Проф. МГУ им. М.В. Ломоносова В.Т. Трофимова с соавторами (А.Д. Жигалин; В.Т. Трофимов, Т.А. Барабошкина) об эколого-геофизической и эколого-геохимической безопасности окружающей среды крупных городов. В нём отмечено, что экстенсивное развитие цивилизации ведет к изменению состояния экосистем и окружающей среды в целом. Возникающие геофизические и геохимические аномалии природного и техногенного характера и возрастающее энергопотребление в городах влияют на здоровье человека. Это важно учитывать при формировании программ устойчивого развития стран Евразийского эконо-

мического союза (ЕАЭС). 2. С.А. Епринцева и С.В. Шекоян (Воронежский госуниверситет) о необходимости пространственной оценки качества окружающей среды урбанизированных территорий как фактора экологической безопасности.

О состоянии водных объектов г. Еревана, в частности реки Раздан, сообщили Г.Г. Бабаян и Г.А. Саакян (Центр эколого-ноосферных исследований НАН РА). Они отметили, что вода реки в наибольшей степени загрязнена взвешенными веществами, нитритами, нитратами, фосфатами, натрием и марганцем, т.е. компонентами, характерными для хозяйственно-бытовых и ливневых сточных вод. В черте города она непригодна не только для питья, но и для орошения выращиваемых сельскохозяйственных культур.

Геоэкологическим проблемам углепромышленных территорий посвящен доклад сотрудников Южного федерального университета В.Е. Закруткина, Е.В. Гибкова, Г.Ю. Складенко, О.С. Решетняк. По мнению авторов, широкий спектр геоэкологических проблем в пределах различных угольных бассейнов Российской Федерации резко обострился в последние 20 лет в связи с реструктуризацией угольной промышленности. Наибольшее внимание выступавшие уделили вопросам образования и утилизации твердых отходов угледобывающей и углеперерабатывающей промышленности, а также гидроэкологическим проблемам, в том числе загрязнению поверхностных и подземных вод в пределах техногенно трансформированных территорий. Результаты оценки воздействия радиоактивных выбросов и сбросов Армянской и Калининской АЭС на окружающую среду прозвучали в докладах О.А. Беляевой и К.И. Пюсколяна (Центр эколого-ноосферных исследований НАН РА), Е.С. Логиновой, В.М. Никольского, Д.С. Гусевой (Тверской госуниверситет). С докладом «Комплексная оценка влияния производства алюминия на окружающую среду (на примере Байкальского региона)» выступила Л.Г. Лисецкая (Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований).

Региональные агроэкологические проблемы осветили в своих выступлениях сотрудники Центра эколого-ноосферных исследований НАН РА. А.А. Оганесян, Г.С. Нерсисян, Л.Р. Хачатрян и М.А. Григорян рассмотрели проблемы качества растительной пищевой продукции, выращиваемой в городских условиях, с целью предотвращения возможных рисков для здоровья населения. Как показали исследования, приоритетными загрязнителями овощных культур являются никель и хлор. Остальные токсиканты присутствуют в допустимых количествах. М.М. Бегларян с соавторами со-

общили о результатах пилотного исследования остаточных количеств 17 запрещенных пестицидов в почвах, ирригационных водах и в производимой сельхозпродукции. Установлено загрязнение почв ДДТ и его метаболитами, в то время как в других изученных объектах пестициды не обнаружены. Г.О. Тепаносян, Ш.Г. Асмарян, В.С. Мурадян, А.К. Сагателян в своем докладе продемонстрировали возможности использования дистанционных методов для оценки деградации сельскохозяйственных земель.

В группе медико-экологического профиля большой интерес вызвал доклад В.С. Рукавишниковой и Н.В. Ефимовой на тему «Проблемы идентификации экологически обусловленных нарушений здоровья населения». В нем было отмечено, что в условиях глобализации и усиления антропогенного воздействия на окружающую среду всё большую значимость приобретают выявление и оценка роли экологических факторов в формировании здоровья человека. Это позволит разработать многоуровневые профилактические мероприятия и снизить риск для здоровья населения в целом. Д.А. Пипоян с соавторами представили результаты сравнительной оценки риска здоровья населения городских и сельских общин в связи с потреблением овощей, выращенных в горнодобывающих областях. Близким по тематике был доклад Л.В. Саакян, Г.А. Мелконян, Г.О. Тепаносян, О.А. Беляевой «Ртуть как фактор риска в горнорудных районах». Авторы показали, что ртуть, благодаря своей высокой мобильности и интенсивной биоаккумуляции растениями, вовлекается в пищевые цепи и, как следствие, накапливается в сельскохозяйственной продукции в концентрациях, многократно превышающих ПДК. Более того, ртуть обнаружена в волосах детей, проживающих в горнорудных районах, что позволяет считать ее серьезным фактором риска для проживающего там населения.

Современные подходы к решению экологических проблем с использованием ГИС, новых информационно-телекоммуникационных технологий и дистанционных методов были продемонстрированы в докладах сотрудников Института географии РАН А.А. Медведева и А.В. Кошкарёва, а также сотрудников Центра эколого-ноосферных исследований НАН РА (Ш.А. Асмарян, В.С. Мурадян, Г.О. Тепаносян, А.А. Овсепян).

По окончании мероприятия была принята резолюция, в которой акцентирована необходимость создания рабочей группы представителей научных организаций государств – членов ОДКБ для формулирования предложений по выбору наиболее актуальных направлений в сфере коллективной безопасности окружающей среды. Рекомендовано

обратить внимание представителей научных и природоохранных организаций на важность глобальных и региональных проблем окружающей среды и необходимости незамедлительного решения вопросов экологической безопасности.

Для формирования общедоступных информационных ресурсов в области экологической безопасности окружающей среды и методологических подходов оценки состояния природных экосистем, а также для установления тесных научных связей между учеными разных стран ОДКБ участники приняли решение обратиться к организаторам с просьбой рассмотреть возможность сделать конфе-

ренцию периодическим мероприятием, придать ей прикладной характер, сделав многоплановой (одновременно предусмотреть при проведении последующих встреч организацию целевых секционных заседаний).

В своих выступлениях участники отметили высокий профессиональный уровень докладов, выразили искреннюю благодарность организаторам конференции и прежде всего сотрудникам Центра эколого-ноосферных исследований за прекрасную подготовку и проведение данного мероприятия.

В.Е. Закруткин, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Южный федеральный университет

А.К. Сагателян, доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор Центра эколого-ноосферных исследований ИАН РАН

О.С. Решетняк, кандидат географических наук, доцент, Южный федеральный университет

НАШИ ЮБИЛЯРЫ

OUR PERSONS

ВЛАДИМИРУ ИВАНОВИЧУ КОЛЕСНИКОВУ – 75!



Исполнилось 75 лет Владимиру Ивановичу Колесникову – академику РАН, доктору технических наук, профессору, президенту Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС). Окончив физмат Ростовского государственного университета, он прочно связал свою жизнь с наукой и образованием. Долгие годы, в очень сложный период развития отечественного образования, Владимир Иванович был ректором РГУПСа – одного из системообразующих вузов Юга России, много сил отдал его реконструкции и обновлению.

В.И. Колесников является всемирно известным ученым и организатором науки в области технологии, физики и механики металлополимерных композиционных трибосистем. Основным направлением его научной деятельности являются разработка

теоретических основ для создания принципиально новых износостойких композиционных материалов, совершенствование методик и теории синтеза высоких технологий и оптимизации сложных процессов в трибосистемах с целью повышения надежности и ресурса работы машин, механизмов и оборудования.

В рамках этого направления разработаны теоретические и экспериментальные методы определения структуры температурного поля в приграничной области фрикционного контакта, что позволило сформулировать принципы управления физико-химическими процессами при трении и создать целый класс новых высокоэффективных композиционных полимерных материалов фрикционного и антифрикционного назначения, конструкций из них, технологических процессов при их производстве. Полученные результаты научно-исследовательских работ являются универсальными, они используются как на предприятиях транспорта, так и в газовой и химической промышленности, в машиностроении.

Под руководством академика В.И. Колесникова в РГУПСе создана научная школа трибологов, успешно взаимодействующая с другими российскими и зарубежными учеными, работающими в этой области. Под его руководством были выполнены фундаментальные работы более чем по десяти проектам Российского фонда фундаментальных исследований и проекту «Комплексный мониторинг состояния конструкций железнодорожного пути для обеспечения безопасности движения поездов», финансируемому совместно РФФИ и ОАО «РЖД». Особое внимание было уделено научно-исследовательской и опытно-конструкторской работе по заказу ОАО «РЖД» «Исследование влияния физико-химических теплофизических процессов на износ в трибосистеме “колесо – рельс”», что дало значительную экономию средств.

Владимир Иванович широко известен в научной среде не только в нашей стране, но и за ее пределами; он – автор более 650 научных трудов, в том числе 15 монографий, 65 патентов и ряда публикаций в ведущих зарубежных изданиях. Им подготовлены 12 докторов и 26 кандидатов наук. В 2003 г. В.И. Колесников был удостоен премии

Президента РФ за цикл трудов для технических вузов «Научное, учебно-методическое и организационное обеспечение подготовки инженерных и научных кадров в области триботехники (трения, износа и смазки)».

В течение последних лет В.И. Колесников является руководителем гранта Российского научного фонда на тему «Исследование механизма формирования и функционирования поверхностных наноструктур на трибоконтакте для создания антифрикционного слоя с заданными трибофизическими характеристиками». Под его руководством на базе РГУПС совместно с Институтом проблем механики РАН и Институтом машиноведения им. А.А. Благонравова РАН созданы научно-исследовательские лаборатории «Трибология и материалы» и «Проблемы техногенной безопасности и трибологической надежности транспортных объектов и систем», а также лаборатория «Транспорт, энергетика и новые композиционные материалы» при Южном научном центре РАН.

В.И. Колесников успешно совмещает научно-педагогическую работу с общественной и политической деятельностью. В 1989 г. он был избран народным депутатом – председателем подкомитета «Железнодорожный транспорт» Верховного Совета СССР. В настоящее время он – член Экспертного совета при Правительстве РФ, член Экспертного совета Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России, председатель трёх диссертационных советов, член редакционной коллегии журнала «Трение и износ», главный редактор журналов «Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения», «Известия вузов. Северо-Кавказский регион», член бюро Межведомственного научного совета по трибологии РАН, член бюро научного совета РАН по проблемам машиноведения и технологических

процессов, председатель Российского национального комитета по трибологии.

Владимир Иванович – инициатор и организатор проведения многих всероссийских и международных конференций.

Под руководством и при непосредственном участии В.И. Колесникова в РГУПС создана лаборатория «Нанотехнологии и новые материалы», где в рамках межвузовских и федеральных научно-технических программ «Ресурсосберегающие технологии» и «Новые материалы» созданы новые полимерные и смазочные материалы для узлов трения путевых, строительных, грузоподъемных, транспортных и сельскохозяйственных машин. Внедрение таких материалов в тяжело нагруженных узлах трения подвижного состава на предприятиях железнодорожного транспорта позволило снизить эксплуатационные расходы и ремонт трибосопряжений, вдвое уменьшить энергозатраты. Разработан принципиально новый способ лубрикации трибосистемы «колесо – рельс» путем нанесения на боковую грань головки рельса многослойного антифрикционного наноструктурированного покрытия.

Наряду с выдающимися научно-исследовательскими и организаторскими качествами Владимир Иванович обладает потрясающей энергетикой, позволяющей ему на протяжении многих лет трудиться на благо Родины. Для окружающих он не только академик РАН, президент крупного вуза на Юге России, но и добрый и отзывчивый, простой в общении человек. Он и верный товарищ, и чуткий руководитель, помогающий решать различные проблемы окружающим сотрудникам и студентам, благодарный и внимательный ученый, помнящий о своих учителях.

Поздравляем Владимира Ивановича с юбилеем, желаем здоровья, исполнения желаний, талантливых учеников и учениц!

А.О. Ватульян, доктор физико-математических наук, профессор, Южный федеральный университет

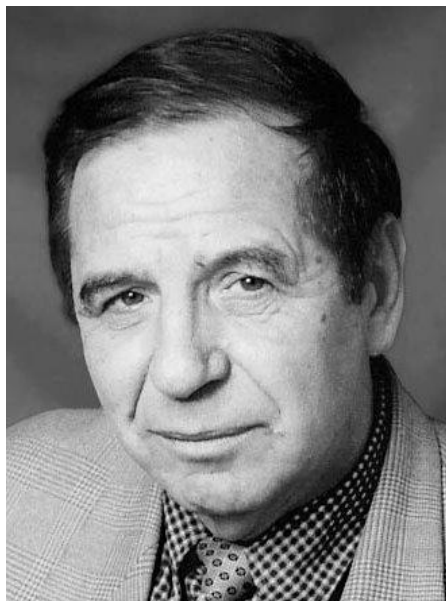
П.Г. Иваночкин, доктор физико-математических наук, профессор, Ростовский государственный университет путей сообщения

М.И. Чебаков, доктор физико-математических наук, профессор, Южный федеральный университет

Редколлегия и редакция журнала сердечно поздравляет своего главного редактора с юбилеем, отмечая бесконечную мудрость и терпимость Владимира Ивановича в решении сложных управленческих задач, желают ему крепкого здоровья, покорения новых творческих вершин и благодарных учеников!

ПАМЯТИ УЧЕНОГО IN MEMORY OF SCIENTIST

АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ БЕЛОКОНЬ (1941–2013)



5 декабря 2016 г. исполнилось 75 лет со дня рождения Александра Владимировича Белоконя, доктора физико-математических наук, профессора, ректора Ростовского государственного университета (1988–2006), президента Южного федерального университета (2008–2012).

Поступив в Ростовский госуниверситет в 1959 г. на отделение механики физико-математического факультета, Александр Владимирович окончил его в 1964 г., став в этом же году аспирантом кафедры теории упругости. Далее вся трудовая деятельность А.В. Белоконя неразрывно была связана с Ростовским, а с 2006 г. – Южным федеральным университетом. В Ростове он прошел путь от аспиранта и ассистента до профессора, заведующего кафедрой математического моделирования, декана механико-математического факультета, ректора РГУ, директора Научно-исследовательского института механики и прикладной математики им. И.И. Воровича и, наконец, президента ЮФУ. Его вклад в развитие науки и образования в нашей стране по достоинству оценен. Он являлся членом Национального коми-

тета по теоретической и прикладной механике, академиком МАН ВШ, Академии гуманитарных наук, Экологической академии, чл.-кор. Инженерной академии. Награжден орденами «Знак Почета», «Дружбы народов», «За заслуги перед Отечеством», медалями МВД России, им. академика Н.А. Пилюгина, им. К.Э. Циолковского, им. И.Д. Ушинского и др.

Александр Владимирович был известным специалистом в различных областях механики деформируемого твердого тела и математического моделирования. Сфера его научной деятельности охватывала математические проблемы механики сплошной среды, контактные задачи теории упругости, теорию волн в анизотропных полуграниченных упругих средах, динамические задачи с подвижными источниками, модели математической электроупругости и численные методы решения связанных задач механики.

А.В. Белоконь был ярким представителем Ростовской школы механики деформируемого твердого тела, созданной академиком РАН И.И. Воровичем. Авторству Александра Владимировича принадлежат оригинальные формы граничных интегральных уравнений контактных задач для упругих тел ограниченных размеров, им разработаны эффективные численные алгоритмы их решения. Существенно развита теория распространения упругих волн в анизотропных неоднородных по сечению волноводах типа полосы и слоя и стратифицированного полупространства. Он впервые начал изучать во взаимосвязи динамические задачи для полуграниченных упругих сред с гармоническими, подвижными и движущимися гармоническими источниками волн, разработал принципы соответствия, энергетические принципы и методы исследования задач данного класса. А.В. Белоконь внес значительный вклад в разработку математических основ теории электроупругости и численных методов решения задач пьезоэлектричества, в том числе для неоднородно по-

ляризованных пьезоэлектрических тел. Под его руководством на кафедре математического моделирования ЮФУ был создан конечно-элементный программный комплекс ACELAN, предназначенный для расчета пьезоэлектрических устройств. Александр Владимирович – автор и соавтор более 200 научных работ, 4 монографий. Им подготовлены 14 кандидатов и 5 докторов наук, его ученики продолжают и развивают научные исследования в различных областях механики и математического моделирования. Много лет он был главным редактором журнала «Известия вузов. Северо-Кавказский регион», одновременно возглавляя в этом же журнале редколлегию серии естественных наук.

Значителен его вклад в развитие родного механико-математического факультета (ныне – Инсти-

тута математики, механики и компьютерных наук имени И.И. Воровича), деканом которого он был с 1981 по 1988 г.

Александр Владимирович, будучи ректором РГУ в течение 18 лет, был патриотом родного университета в сложное для нашей страны время (1988–2006 гг.) и неизменно отстаивал его интересы на всех уровнях. Он принимал активное участие в развитии науки и образования в России, являлся членом президиума Совета ректоров РФ, членом Совета по грантам Президента РФ по поддержке молодых российских учёных и ведущих научных школ РФ.

Прошло всего три года, как его нет рядом с нами, однако память о нем живет – в его научных трудах, в исследованиях его учеников, в друзьях и сотрудниках родного факультета и университета.

А.В. Наседкин, доктор физико-математических наук, профессор, Южный федеральный университет

А.О. Ватульян, доктор физико-математических наук, профессор, Южный федеральный университет

М.И. Карякин, доктор физико-математических наук, доцент, Южный федеральный университет

Указатель материалов, опубликованных в журнале
«Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион.
Естественные науки» в 2016 г.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Абанин А.В., Юделевич В.В.</i> Об обращении теоремы Штольца.....	2
<i>Абдулрахман Х., Скороходов В.А.</i> Полные двухресурсные сети с петлями	2
<i>Абдулрахман Х., Скороходов В.А.</i> Ресурсные сети с магнитной достижимостью	4
<i>Авсянкин О.Г., Ковальчук А.М.</i> Операторы мультипликативной дискретной свертки, содержащие оператор комплексного сопряжения.....	2
<i>Азаров Д.А., Зубов Л.М.</i> Механико-геометрическое моделирование в нелинейной теории упругости.....	3
<i>Акопов А.А.</i> Исследование рассеивающих свойств многослойных сферических наночастиц	2
<i>Балкизов Ж.А.</i> Краевая задача для вырождающегося внутри области гиперболического уравнения.....	1
<i>Батищев В.А., Гетман В.А., Перекрестов В.В.</i> Термогравитационное течение неоднородной жидкости в пограничном слое вблизи свободной границы	2
<i>Белявский Г.И., Данилова Н.В.</i> Расчёт справедливой цены барьерного опциона в модели (B,S)-рынка с переключением параметров.	1
<i>Ватульян А.О., Потетюнко О.А.</i> О колебаниях неоднородной пластины с упруго опертым краем	2
<i>Гуров М.Н., Ногин В.А.</i> Оценки для операторов типа потенциала с осциллирующими ядрами и символами и их приложения к описанию образов этих потенциалов	4
<i>Данилова Н.В.</i> Расчёт интервала справедливых цен для бинарной модели (B,S)-рынка с волатильностью, являющейся марковской цепью	4
<i>Деундяк В.М., Кнутова А.В.</i> Интегрируемость систем полиномов нескольких переменных первой и второй степени над простыми полями Галуа.....	2
<i>Донец И.В., Цветковская С.М.</i> Исследование дифракции электромагнитных волн на многослойных нелинейных диэлектриках	2
<i>Казарников А.В., Ревина С.В.</i> Асимптотика стационарных решений системы Рэлея с диффузией.....	3
<i>Каплицкий В.М., Дронов А.К.</i> Интерполяционные теоремы для операторов, ограниченных на конусах в весовых пространствах числовых последовательностей	1
<i>Карякин М.И., Шубчинская Н.Ю.</i> Об устойчивости нелинейно-упругого цилиндра с собственными напряжениями при растяжении и сжатии	2
<i>Магдесян В.А., Усов А.Б.</i> Использование метода принуждения при моделировании взаимодействия центрального банка с коммерческими банками.....	4
<i>Магдесян В.А., Усов А.Б.</i> Моделирование социального партнерства в банковской системе.....	1
<i>Норкин М.В.</i> Образование дополнительных кавитационных зон при вертикальном ударе кругового цилиндра, полностью погруженного в жидкость	1
<i>Онопrienко А.Н., Угольницкий Г.А., Усов А.Б.</i> Имитационное моделирование иерархических регламентов управления (на примере рыболовства).....	4
<i>Орлова Н.С., Волик М.В.</i> Математическое моделирование движения обвалов с использованием континуального подхода.....	3
<i>Пожарский Д.А., Артамонова Е.А., Смирнов Ю.В.</i> Полосовые разрезы в транслопном упругом теле.....	1
<i>Тюриков Е.В.</i> Об одной специальной задаче Римана – Гильберта и её приложении	4
<i>Умархаджиев С.М.</i> Ограниченность максимального оператора в гранд-пространствах Лебега на R^n ..	1
<i>Чебаков М.И., Ляпин А.А.</i> Моделирование контактного взаимодействия элементов дискового тормоза	4
<i>Шубарин М.А.</i> Интерполяционные и комбинаторные свойства некоторых классов степенных пространств Кёте ...	3

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И.</i> Устойчивость микробоценоза чернозема обыкновенного североприазовского к загрязнению антибиотиками.....	1
<i>Алиева З.М., Зубаирова Ш.М., Мартемьянова В.К., Юсуфов А.Г.</i> Особенности естественного воспроизведения и реализации процессов регенерации у популяций <i>Hedysarum daghestanicum</i>	4

<i>Аллилуев И.А., Вечканов Е.М., Сорокина И.А., Калюжная Ю.Н., Внуков В.В.</i> Свободнорадикальные процессы и антиоксидантный статус у <i>Rattus norvegicus</i> при сочетанном влиянии травмы и модельной гипергомоцистеинемии	3
<i>Васильченко И.С., Зайченко С.Б., Бичеров А.В., Бородкин Г.С., Балакшина Е.Н., Бурлов А.С.</i> Комплексообразование продукта конденсации изатина и салицилоилгидразида.	1
<i>Водопьянов С.О., Титова С.В., Водопьянов А.С., Олейников И.П., Лысова Л.К.</i> Анализ внутривидовой конкуренции <i>Vibrio cholerae</i> в биопленках.	1
<i>Жуков В.В., Кожин А.А., Мрыхин В.В.</i> Биологическая активность красного и инфракрасного лазерного излучения в экспериментальных моделируемых условиях.	1
<i>Казеев К.Ш., Черникова М.П., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Козунь Ю.С., Полуянова В.С., Быхалова О.Н.</i> Биологическая диагностика экологического состояния почв мониторинговых площадок заповедника «Утриш»	1
<i>Кандашова К.А., Казеев К.Ш., Колесников С.И.</i> Изменение эколого-биологических свойств почв Юга России при оглеении	2
<i>Колесников С.И., Кузина А.А., Евстегнеева Н.А., Казеев К.Ш.</i> Оценка устойчивости бурых лесных оподзоленных почв Черноморского побережья Кавказа к химическому загрязнению.	1
<i>Колесников С.И., Тимошенко А.Н., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В.</i> Влияние загрязнения наночастицами оксидов никеля и железа на биологические свойства чернозема обыкновенного североприазовского.	1
<i>Котенко С.Ц., Исламгагомедова Э.А., Халилова Э.А., Абакарова А.А.</i> Биотехнологические свойства нового штамма дрожжей <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> Y-3980.	4
<i>Кузина А.А., Колесников С.И., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В.</i> Влияние загрязнения тяжелыми металлами и нефтью на фитотоксичность почв Черноморского побережья Кавказа	2
<i>Мамедова А.Д., Алиев Р.Т.</i> Изучение активности синтеза нуклеиновых кислот при гетерозисе и стимуляции ростовых процессов, вызываемых действием гидразида малеиновой кислоты	3
<i>Матишов Г.Г., Пономарева Е.Н., Казарникова А.В., Ильина Л.П., Григорьев В.А., Соколова Т.А., Польшина Т.Н., Коваленко М.В., Кузов А.А., Корчунов А.А.</i> Инновационная биотехнология получения экологически чистой продукции аквабиокультуры в модульной установке замкнутого водоснабжения.	3
<i>Нагоева М.А., Шаов М.Т., Пишкова О.В.</i> Динамика показателей ЭКГ под влиянием модели «Сфигмотон»	1
<i>Самбыла Ч.Н.</i> Изменение структуры фитомассы высокогорной растительности Тувы в связи с особенностями рельефа	4
<i>Титова С.В., Веркина Л.М., Лысова Л.К.</i> Потенциальная возможность инфицирования водных объектов биопленками холерного вибриона	1
<i>Чохели В.А., Козловский Б.Л., Середа М.М., Вардуни Т.В.</i> Результаты изучения фенологических форм <i>Quercus robur</i> L. с помощью ISSR-маркеров	2

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

<i>Астахова А.А., Хардигов А.Э.</i> Литогенез пермских толщ Аян-Юряхского антиклинория Яно-Колымской складчатой области.	1
<i>Астахова А.А., Хардигов А.Э., Холодная И.А.</i> О роли вулканогенного материала в образовании Атканской свиты Аян-Юряхского антиклинория Яно-Колымской складчатой области.	2
<i>Бакаева Е.Н., Тарадайко М.Н.</i> Экоотоксичность поверхностных вод бассейна реки Северский Донец (Ростовская область) по результатам набора биотестов.	4
<i>Бузмаков С.А., Дзюба Е.А.</i> Определение фонового содержания циклических элементов в почвах Тулымского Камня (Пермский край).	3
<i>Гавриловский Д.В., Гапонов В.Л., Гапонов С.В., Гапонова Е.Ю.</i> Об утилизации радиоактивных отходов ядерных реакторов в России	4
<i>Дахова О.О., Хучунаев Б.М., Куповых Г.В.</i> Химическое и физическое загрязнение городских экосистем автотранспортом	4
<i>Дружинин А.Г., Лачининский С.С., Краснов А.И., Сорокин И.С.</i> Поляризация системы расселения в приморской зоне Ленинградской области в 1989–2015 годах	3
<i>Жбанков Г.А.</i> Особенности решения лучевых уравнений для крутопадающих на ионосферу траекторий	2
<i>Закруткин В.Е., Гибков Е.В.</i> Техногенные геохимические потоки угледобывающих территорий и их влияние на окружающую среду (на примере Донецкого бассейна)	3
<i>Закруткин В.Е., Гибков Е.В., Склярченко Г.Ю., Решетняк О.С.</i> Сравнительная оценка качества поверхностных и подземных вод Восточного Донбасса по гидрохимическим показателям	2
<i>Камынина Н.Р., Успенский И.А.</i> Информационное обеспечение кадастрового учета	4
<i>Канониди Х.Д., Канониди К.Х., Митрофанова Т.А.</i> Аэростатные исследования околоземного космического пространства	4

Кипкеева П.А., Потапенко Ю.Я. Геоморфологические особенности дна долины р. Теберда (Северный Кавказ).....	2
Кондратьева Н.В., Гегиев К.А., Анаев М.Т., Куповых Г.В. Селевая опасность Восточного Кавказа.....	3
Корикова Н.О., Гусакова Н.В., Петров В.В. Оценка экологического состояния почвы городских территорий на основании показателей биологической активности (на примере г. Таганрога).....	4
Куповых Г.В., Дахова О.О., Хучунаев Б.М. Применение расчетного мониторинга атмосферного воздуха городских экосистем.....	3
Меринова Ю.Ю., Хованский А.Д. Комплексная экологическая оценка городских округов Ростовской области.....	4
Микерова В.Н., Дорофеев А.А., Тарасов А.Б., Фоменко Л.Н. Многовариантное компьютерное моделирование поверхности фундамента Южно-Якутского угольного бассейна.....	1
Митрофанова Т.А., Канониди Х.Д., Канониди К.Х., Тедорадзе Р.В. Влияние стратосферного и тропосферного озона на тепловой баланс планеты и движение атмосферы.....	4
Решетняк О.С., Закруткин В.Е. Донные отложения как источник вторичного загрязнения речных вод металлами (по данным лабораторного эксперимента).....	4
Самойленко И.Ю., Сианисян Э.С. Использование исторического и палеотектонического анализа оценки газоносности Ейской площади Краснодарского края.....	3
Трофимов И.Л., Канониди Х.Д. Применение комплексных векторов при изучении временных рядов геомагнитных вариаций.....	3
Федоров Ю.А., Доценко И.В., Дмитрик Л.Ю. Железо в поверхностных и подземных водах бассейна Азовского моря.....	3
Федоров Ю.А., Морозова М.А., Трубник Р.Г. О связи физико-химических параметров и содержания восстановленных газов с сульфитредуцирующими кластридиями в донных отложениях малых рек.....	1
Фоменко Н.Е., Закруткин В.Е., Склярченко Г.Ю., Гапонов Д.А. Мониторинг динамики подземных вод в Восточном Донбассе по результатам скважинной электроразведки.....	4
Чендев Ю.Г., Петин А.Н., Березуцкий В.Д., Долгих А.В., Белеванцев В.Г., Дудин Д.И. Голоценовые сигналы гумидизации климата в профилях разновозрастных черноземов центра Восточной Европы.....	3
Шишкина Д.Ю., Белая Т.Г. Эколого-геохимическая оценка почвенного покрова Октябрьского района Ростова-на-Дону.....	3

ЗАМЕТКИ О КНИГАХ

Миноранский В.А. Природные богатства Донской земли («Живая природа Манычской долины»).....	1
---	---

НАУЧНАЯ ЖИЗНЬ

Ватульян А.О., Карякин М.И. XI Всероссийская школа-семинар «Математическое моделирование и биомеханика в современном университете».....	2
Ватульян А.О., Карякин М.И., Чебаков М.И. XVIII Международная конференция «Современные проблемы механики сплошной среды», посвященная памяти В.М. Александрова (Ростов-на-Дону, 7–10 ноября 2016 г.).....	4
Закруткин В.Е., Сазателян А.К., Решетняк О.С. Международная научная конференция государств-членов ОДКБ «Проблемы безопасности окружающей среды» (г. Ереван, Армения, 27-29 сентября 2016 г.).....	4
Миноранский В.А. Охрана донской природы. Фестивали «Воспетая степь».....	2
Шкурят Т.П. Фармакогенетика и персонализированная медицина – индивидуальный подбор лекарственных средств.....	2

НАШИ ЮБИЛЯРЫ

Ватульян А.О., Пряхина О.Д. Талантливый ученый, просветитель, наставник (К юбилею В.И. Бабешко).....	2
Ватульян А.О., Ивановкин П.Г., Чебаков М.И. Владимиру Ивановичу Колесникову – 75!.....	4

ШТРИХИ К ПОРТРЕТУ

Пухначев В.В. Дальное действие (памяти В.И. Юдовича).....	2
--	---

ПАМЯТИ УЧЕНОГО

Наседкин А.В., Ватульян А.О., Карякин М.И. Александр Владимирович Белоконь (1941 – 2013).....	4
--	---

**НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЖУРНАЛ
ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ.
СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ РЕГИОН. ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ**

Журнал «Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки», имеющий статус центрального издания, включенного в перечень ВАК, продолжает прием работ по следующим отраслям науки:

1. Физико-математические науки (математика, механика).
2. Биологические науки (общая биология, физико-химическая биология).
3. Науки о Земле.

Также публикуются материалы в разделах:

- заметки о книгах;
- научная жизнь;
- штрихи к портрету.

Журнал издается с периодичностью 4 номера в год. Помимо основных номеров выходят специальные тематические выпуски, посвященные разным научным направлениям, работам отдельных организаций, а также научные труды вузов, приуроченные к юбилейным датам. С электронной версией журнала можно ознакомиться на сайте Научной электронной библиотеки http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7362.

Публикация материалов, на которые получена положительная рецензия, оплачивается лично автором или организацией. Стоимость работ – договорная.

Оформление работ осуществляется согласно правилам:

1. Печатный и электронный вариант статьи. В начале статьи указать индекс УДК.
2. Текст должен быть набран в редакторе MicroSoft Office 98 Word 2000, 2003, 2007, 2010 через 1,5 интервала, шрифтом Times New Roman, размером 14 пт, страницы пронумерованы. Для записи формул применять только редактор формул Equation 3.0.
3. Сопроводительное или рекомендательное письмо, если статья представляется от организации.
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 английском языке.
7. Аннотация на русском и английском языках (1000–1500 знаков/150–200 слов).
8. Ключевые слова на русском и английском языках.

Журнал распространяется по подписке – через ОАО «Роспечать» в подписной период. 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

Адрес в Интернете: www.izvestiya.sfedu.ru