

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

*Северо-Кавказский
регион*

ЕСТЕСТВЕННЫЕ

НАУКИ

2019

2

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

Учредители:

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

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

Подписано в печать 04.07.2019. Выход в свет 08.07.2019. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.
Шрифт Times. Усл. печ. л. 13,71. Уч.-изд. л. 15,56. Тираж 250 экз. Заказ № 7113

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

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

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

Journal was founded in 1972 by Yu.A. Zhdanov

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

The Founders

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

Magazine released T.A. Vatulyan, L.S. Vorovich, V.I. Litvinenko, O.V. Nazarenko, M.S. Shipitko

Signed print 04.07.2019. The publication 08.07.2019. Format 60×84 1/8. Offset paper. Font Times.
Conv. print. sheets 13.71. Publ. sign. 15.56. Edition 250 copies. Order number 7113.

Address of Editorial Board: 344006, Rostov-on-Don, Bolshaya Sadovaya St., 105/42,
SFU, journal "Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Natural Science",
e-mail: izvestiya@sfedu.ru, Web Address: www.izvestiya.sfedu.ru

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

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

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ. СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ РЕГИОН

IZVESTIYA VUZOV. SEVERO-KAVKAZSKII REGION

DOI 10.23683/0321-3005-2019-2

Регистрационный номер 011019
Комитета Российской Федерации по печати
Научно-образовательный и прикладной журнал
Издается с 1973 г.
Периодичность серии 4 номера в год
№ 2 (202) 2019 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. 2 (202) 2019.

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

NATURAL SCIENCE

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

- Данилова Н.В., Землякова И.А.** Квантильное хеджирование на неполном рынке 4
Ибавов Т.И. Решение задачи Коши для системы трёх дифференциальных уравнений с производной дробного порядка 10
Рустанов А.Р., Мелехина Т.Л., Юдин А.И. Геометрия тензора Нейенхейса SPCs-многообразий 15
Шармин В.Г., Шармин Д.В. Поверхности без кручения в многомерном евклидовом пространстве 20

- Danilova N.V., Zemlyakova I.A.** Quantile Hedging in an Incomplete Market 4
Ibavov T.I. The Solution of Cauchy Problem for System of Three Differential Equations with Fractional Derivative Caputo 10
Rustanov A.R., Melekhina T.L., Yudin A.I. Geometry of the Nijenhuis Tensor of SPCs-Manifolds 15
Sharmin V.G., Sharmin D.V. Surfaces without Torsion in a Multidimensional Euclidean Space 20

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

SCIENCES OF EARTH

- Байрамов Т.Ш.** Социально-экономическое положение и миграция населения в Губа-Хачмазском экономическом районе Азербайджанской Республики 26
Барабашин Т.О., Сиверина Т.В., Короткова Л.И. Хлороорганические соединения в экосистеме р. Темерник (г. Ростов-на-Дону) 34
Бондаренко Д.Д., Ершов В.В. Газогеохимия грязевых вулканов в связи с прогнозом нефтегазоносности земных недр 41
Васта Ахмед Х.А., Решетняк О.С., Закруткин В.Е. Комплексная оценка современного состояния речных экосистем в бассейне Северского Донца (в пределах Ростовской области) 47
Кузнецова И.Д., Федоров Ю.А. Роль некоторых факторов в формировании потомства черноморско-азовской проходной сельди 55

- Bayramov T.Sh.** The Socio-Economic Situation and Population Migration in the Guba-Khachmaz Economic Region, Azerbaijan Republic 26
Barabashin T.O., Siverina T.V., Korotkova L.I. Organochlorine Compounds in the Ecosystem of the Temernik River (Rostov-on-Don) 34
Bondarenko D.D., Ershov V.V. Gas Geochemistry of Mud Volcanoes and its Relation with Oil and Gas Prospecting 41
Vasta Ahmed H.A., Reshetnyak O.S., Zakrutkin V.E. Complex Evaluation of Modern Condition of River Ecosystems in the Basin of the Seversky Donets (Within the Rostov Region) 47
Kuznecova I.D., Fedorov Yu.A. The Role of Some Factors in the Formation of the Progeny of the Black Sea-Azov Passing Herring 55

<i>Нурмагомедов Т.Н., Сианисян Э.С.</i> Электрохимический метод контроля растворения и выноса гипса в основаниях гидротехнических сооружений.....	60	<i>Nurmagomedov T.N., Sianisyan E.S.</i> Electrochemical Method of Controlling the Dissolution and Removal of Gypsum in the Foundations of Hydraulic Structures	60
<i>Панов Б.Н., Спиридонова Е.О.</i> Климатические изменения поля приземного атмосферного давления в Азово-Черноморском регионе (1960–2017 гг.).....	66	<i>Panov B.N., Spiridonova E.O.</i> Climate Changes in the Field of Surface Atmospheric Pressure in the Azov-Black Sea Region (1960-2017)	66
<i>Харди́ков А.Э.</i> Отражение низкотемпературного метаморфизма в геохимических полях золотомещающих толщ Верхояно-Колымской складчатой области ..	74	<i>Khardikov A.E.</i> Reflection of Low-Temperature Metamorphism in Geochemical Fields of Gold-Bearing Strata of Verkhoyansk-Kolyma Orogen.....	74

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Bittirova A.A., Kumysheva J.A., Vologirov A.S., Mirzoeva A.A., Mirzoeva N.M., Bittirov A.M.</i> Cestodes of the <i>Taeniidae</i> Family (Ludwig, 1886) as a Sanitary-Hygienic and Epidemic Threat to the of Biosphere Territories of Elbrus	82	<i>Bittirova A.A., Kumysheva J.A., Vologirov A.S., Mirzoeva A.A., Mirzoeva N.M., Bittirov A.M.</i> Cestodes of the <i>Taeniidae</i> Family (Ludwig, 1886) as a Sanitary-Hygienic and Epidemic Threat to the of Biosphere Territories of Elbrus	82
<i>Дауд Р.М., Колесников С.И., Кузина А.А., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В.</i> Влияние модельного загрязнения селеном на биологические свойства аридных почв юга России	90	<i>Daoud R.M., Kolesnikov S.I., Kuzina A.A., Kazeev K.Sh., Akimenko Yu.V.</i> Influence of Model Pollution by Selenium on the Biological Properties of Arid Soils in the South of Russia	90
<i>Кит О.И., Шихлярова А.И., Франциянц Е.М., Нескубина И.В., Каплиева И.В., Гончарова А.С., Непомнящая Е.М., Шульгина О.Г.</i> Процессы самоорганизации митохондрий при росте экспериментальных опухолей в условиях хронической нейрогенной боли.....	97	<i>Kit O.I., Shikhlyarova A.I., Frantsiyants E.M., Neskubina I.V., Kaplieva I.V., Goncharova A.S., Nepomnyashchaya E.M., Shulgina O.G.</i> Processes of Mitochondrial Self-Organization in Experimental Tumor Growth with Chronic Neurogenic Pain.....	97
<i>Тимошенко А.Н., Колесников С.И., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В.</i> Изменение биологических показателей серопесков после загрязнения наночастицами Cu, Zn и Ni	106	<i>Tymoshenko A.N., Kolesnikov S.I., Kazeev K.Sh., Akimenko Yu.V.</i> The Change in the Biological Indicators of Grey Sand after Contamination with Nanoparticles Cu, Zn and Ni	106

НАУЧНАЯ ЖИЗНЬ

<i>Карапетынц А.Н.</i> IX Международная конференция «Современные методы и проблемы теории операторов и гармонического анализа и их приложения – IX (ОТНА-2019)» (Ростов-на-Дону, 21–26 апреля 2019 г.).....	111	<i>Karapetyants A.N.</i> 9th International Conference „Modern Methods, Problems and Applications of Operator Theory and Harmonic Analysis, 9 (OTNA-2019)” (Rostov-on-Don, April 21-26, 2019).....	111
<i>Миноранский В.А.</i> VIII Донской экологический фестиваль «Воспетая степь».....	113	<i>Minoranskii V.A.</i> 8th Don Ecological Festival „Sung Steppe”.....	113

ЗАМЕТКИ О КНИГАХ

<i>Сианисян Э.С., Прозорова Г.Н.</i> Книга ста гипотез (Тимофеев Д.Н. Природа космических тел Солнечной системы. Железногорск: Космическая технология. 2018. 225 с.).....	116	<i>Sianisyan E.S., Prozorova G.N.</i> Book of One Hundred Hypothesis (Timofeev D.N. The Nature of the Cosmic Bodies of the Solar System. Zheleznogorsk: Kosmicheskaya Tekhnologiya, 2018. 225 p.).....	116
---	-----	--	-----

BIOLOGICAL SCIENCES

SCIENTIFIC LIFE

BOOKS REVIEW

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

УДК 519.2

DOI 10.23683/0321-3005-2019-2-4-9

КВАНТИЛЬНОЕ ХЕДЖИРОВАНИЕ НА НЕПОЛНОМ РЫНКЕ*

© 2019 г. Н.В. Данилова¹, И.А. Землякова¹

¹Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

QUANTILE HEDGING IN AN INCOMPLETE MARKET

N.V. Danilova¹, I.A. Zemlyakova¹

¹Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Данилова Наталья Викторовна – кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра высшей математики и исследования операций, Институт математики, механики и компьютерных наук имени И.И. Воровича, Южный федеральный университет, ул. Мильчакова, 8а, г. Ростов н/Д, 344090, Россия, 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 Science, Southern Federal University, Milchakova St., 8a, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: danilova198686@mail.ru

Землякова Ирина Александровна – ассистент, кафедра высшей математики и исследования операций, Институт математики, механики и компьютерных наук имени И.И. Воровича, Южный федеральный университет, ул. Мильчакова, 8а, г. Ростов н/Д, 344090, Россия, e-mail: eizzzie@yandex.ru

Irina A. Zemlyakova - Assistant, Department of High Mathematics and Operations Research, Vorovich Institute of Mathematics, Mechanics and Computer Science, Southern Federal University, Milchakova St., 8a, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: eizzzie@yandex.ru

Рассматривается один из самых актуальных методов снижения рисков на сегодняшний день – метод квантильного хеджирования. Формулируется и решается задача квантильного хеджирования для неполного рынка в случае дискретного времени. Её решение определяется с помощью теории двойственности. В качестве примера рассматривается задача квантильного хеджирования для триномиальной модели. Предложен вычислительный эксперимент для данного вида задач, позволяющий рассчитать значения капитала для каждого момента времени. Рассмотрена особенность триномиальной модели, позволяющая сделать вывод о возможности сведения триномиальной модели к биномиальной. Числовой пример подтверждает полученные выводы для данной модели.

Ключевые слова: портфель, хеджирование, квантильное хеджирование, неполный рынок, мартингальная мера, экстремальная мартингальная мера, биномиальная модель, триномиальная модель.

One of the most relevant methods of risk reduction today - the method of quantile hedging is considered. The quantile hedging problem for an incomplete market in the case of discrete time is formulated and solved. The solution to this problem is determined using the theory of duality. As an example, the quantile hedging problem for the trinomial model is considered. A computational experiment for this type of problem, allowing to calculate the values of capital for each point in time, is proposed. The peculiarity of the trinomial model is considered and a conclusion about the possibility of reducing the trinomial model to the binomial one is obtained. A numerical example confirms the findings for this model.

Keywords: portfolio, hedging, quantile hedging, incomplete market, martingale measure, extreme martingale measure, binomial model, trinomial model.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 17-19-01038).

Введение

В настоящее время происходит значительное увеличение случаев неожиданных изменений рыночного поведения. Усложняется механизм оценки и снижения рисков.

В связи со сложившимися проблемами широкое распространение получили инструменты, предоставляющие возможность управления рыночными рисками. В данной статье рассматривается один из самых актуальных методов снижения рисков на сегодняшний день – метод хеджирования. Стратегия квантильного хеджирования максимизирует естественную вероятность успеха хеджирования при условии ограничения стоимости её реализации. На неполном финансовом рынке не все условия достижимы и эквивалентная мартингальная мера больше не уникальна. Таким образом, идеальный хедж в общем случае невозможен. Поэтому мы сталкиваемся с проблемой поиска стратегий, которые уменьшают риск недостачи при преследовании какой-либо инвестиционной цели настолько, насколько возможно. В статье для задач в случае неполного рынка предложен вычислительный метод их решения. При этом использован метод двойственности, применяемый, например, в [1]. Статья построена следующим образом. Формулируется задача и описывается метод ее решения. В качестве примера рассматривается триниомальная модель, для которой приводится решение задачи квантильного хеджирования. Излагаются результаты вычислительного эксперимента. Подводятся итоги статьи. Намечается направление дальнейшего исследования.

Формулировка проблемы

Рассмотрим (B, S) -рынок на полном вероятностном пространстве с естественной фильтрацией. Процесс цен определяется уравнениями

$$S_n = S_{n-1}(1 + \rho_n), \quad \rho_n \in \Gamma, \Gamma = \{a_1, a_2, a_3\}.$$

Капитал самофинансируемого портфеля – $X_N = X_0 + \sum_{i=1}^N \gamma_i \Delta S_i$ где γ – предсказуемая последовательность; X_0 – начальный капитал, $X_0 \geq 0$ [2]. Пусть задано финансовое обязательство и требуется выбрать портфель таким образом, чтобы $X_N \geq f$, где f – неотрицательная ограниченная случайная величина.

Так как рынок неполный, то не всякое финансовое обязательство воспроизводимо. В связи с этим можно говорить о верхней цене хеджирования $V = \sup_{P^* \in U} E^{P^*} f$, причём супремум ищется по всем

мартингальным мерам. Поскольку существует такой портфель, что $X_N = V + \sum_{i=1}^N \gamma_i \Delta S_i \geq f$, цена V

обеспечивает безрисковое поведение на рынке. Если цена V слишком высока и есть готовность рисковать, то можно применить другие виды хеджирования (заменить платёжное обязательство и строить портфель таким образом, чтобы

$$X_N = C + \sum_{i=1}^N \gamma_i \Delta S_i \geq f', \text{ причём } f' \leq f \text{ и, как следствие, } C \leq V \text{ [3]}).$$

Известно, что Ω – конечное множество. Положим $f'(\omega_i) = x_i f(\omega_i)$, $x_i \in [0, 1]$.

Пусть Q – естественная мера, определяемая рынком. Рассмотрим естественную меру близости f и f' : $E^Q(f - f') = \sum_i Q_i(f(\omega_i) - f'(\omega_i)) =$

$$= \sum_i Q_i f(\omega_i) - \sum_i Q_i f(\omega_i) x_i.$$

В результате возникает оптимизационная задача:

$$\begin{aligned} \sum_i Q_i f(\omega_i) x_i &\rightarrow \max_x, \\ \sup_{P^* \in U} \sum_i P_i^* f(\omega_i) x_i &\leq C, x_i \in [0, 1] \end{aligned} \quad (1)$$

Множество U мартингальных мер на конечном вероятностном пространстве является выпуклым многогранником, и любая мартингальная мера выражается в виде выпуклой комбинации экстремальных мер: $P^* = \sum_j y_j R^j$. Отсюда задача (1)

трансформируется в задачу

$$\sum_i Q_i f(\omega_i) x_i \rightarrow \max_x, \sum_i R_i^j f(\omega_i) x_i \leq C, x_i \in [0, 1] \quad (2)$$

Введём обозначения: $L_i = Q_i f(\omega_i)$, $M_i^j = R_i^j f(\omega_i)$, где R_i^j – матрица всех возможных вероятностей. В них задача (2) примет вид

$$\sum_i L_i x_i \rightarrow \max_x, \sum_i M_i^j x_i \leq C, x_i \in [0, 1] \quad (3)$$

Поскольку целевая функция ограничена сверху и множество допустимых решений непусто, задача (3) имеет решение. Поэтому и двойственная задача

$$\min_{\lambda \geq 0} F(\lambda) = \min_{\lambda \geq 0} \max_{0 \leq x \leq 1} \left[(L - \sum_j \lambda_j M^j, x) + C \sum_j \lambda_j \right] \quad (4)$$

также имеет решение. Анализ задачи (4) позволяет определить структуру решения внутренней задачи:

$$\begin{aligned} x_i(\lambda) &= \begin{cases} 1, & t_i > 0, \\ 0, & t_i < 0, \\ \text{любое число из } [0, 1], & t_i = 0, \end{cases} \\ t_i &= L_i - \sum_j \lambda_j M_i^j. \end{aligned}$$

В (4) $F(\lambda)$ – выпуклая недифференцируемая функция. Её минимум можно найти с помощью метода обобщённого градиентного спуска [4].

Определим экстремальные мартингалы меры. Любая мартингальная мера является продактом мерой: $P = P^{(1)} \times \dots \times P^{(N)}$. Отсюда мартингалы меры получаются из неотрицательных решений системы линейных уравнений:

$$\sum_i a_i y_i^j = 0 \text{ для всех } j, \sum_i y_i^j = 1. \quad (5)$$

Допустимые базисные решения (5) имеют следующую структуру:

$$y_i(r_j, s_j) = \begin{cases} 0, & i \neq r_j, i \neq s_j \\ \frac{a_{s_j}}{a_{s_j} - a_{r_j}}, & i = r_j \\ \frac{-a_{r_j}}{a_{s_j} - a_{r_j}}, & i = s_j \end{cases}$$

для всех r_j и s_j , удовлетворяющих условию $a_{r_j} < 0 < a_{s_j}$. В связи с этим множество экстремальных мер $U^l = \{P : P^{(j)}(a_i) = y_i(r_j, s_j)\}$ [5].

Пример. Триномиальная модель

Не нарушая общности, будем считать, что $B_n \equiv 1$ для любого момента времени n ; N – финальный момент времени; S_N – стоимость рискованного актива в финальный момент времени. Пусть $N=3$; $f = (S_N - K)^+$ – европейский опцион call; K – контрактная цена.

Стоимость $S_N = S_0(1+a_1)^{k_1}(1+a_2)^{k_2}(1+a_3)^{k_3}$, $k_1 + k_2 + k_3 = 3$.

Рассмотрим два типа экстремальных мартингалов мер P^1 и P^2 , которые порождают все экстремальные мартингаловые меры в количестве 8 элементов. Зададим вероятности:

$$P^1(\rho_1 = a_1) = \frac{a_2}{a_2 - a_1} = p_1,$$

$$P^1(\rho_1 = a_2) = -\frac{a_1}{a_2 - a_1} = q_1,$$

$$P^1(\rho_1 = a_3) = 0, \quad P^2(\rho_2 = a_1) = \frac{a_3}{a_3 - a_1} = p_2,$$

$$P^2(\rho_2 = a_2) = 0, \quad P^2(\rho_2 = a_3) = -\frac{a_1}{a_3 - a_1} = q_2.$$

Под траекторией обхода дерева будем понимать тройку (k_1, K_2, K_3) . Возможные траектории обхода дерева:

$$\begin{aligned} \omega_1 - (0,1,2) &\Rightarrow S_N = S_0(1+a_2)(1+a_3)^2, \\ \omega_2 - (0,2,1) &\Rightarrow S_N = S_0(1+a_2)^2(1+a_3), \\ \omega_3 - (1,1,1) &\Rightarrow S_N = S_0(1+a_1)(1+a_2)(1+a_3), \\ \omega_4 - (1,2,0) &\Rightarrow S_N = S_0(1+a_1)(1+a_2)^2, \\ \omega_5 - (1,0,2) &\Rightarrow S_N = S_0(1+a_1)(1+a_3)^2, \\ \omega_6 - (2,1,0) &\Rightarrow S_N = S_0(1+a_1)^2(1+a_2), \\ \omega_7 - (2,0,1) &\Rightarrow S_N = S_0(1+a_1)^2(1+a_3), \\ \omega_8 - (3,0,0) &\Rightarrow S_N = S_0(1+a_1)^3, \\ \omega_9 - (0,3,0) &\Rightarrow S_N = S_0(1+a_2)^3, \\ \omega_{10} - (0,0,3) &\Rightarrow S_N = S_0(1+a_3)^3. \end{aligned}$$

Обозначим комбинации мартингаловых мер через $P^i(i_1, i_2, i_3)$, $i = 1 \dots 8$, $i_1 \in \{1, 2\}$, $i_2 \in \{1, 2\}$, $i_3 \in \{1, 2\}$, где i_1, i_2, i_3 – номер применяемой мартингаловой меры на первом, втором и третьем шаге соответственно. Всего их $2^3=8$.

1. $P^1(1,1,1)$.

Удовлетворяющие траектории и соответствующие им вероятности:

$\omega_4 - (1,2,0)$.

Событие	Вероятность
(a_1, a_2, a_2)	$p_1 q_1^2$
(a_2, a_1, a_2)	$p_1 q_1^2$
(a_2, a_2, a_1)	$p_1 q_1^2$

$\omega_6 - (2,1,0)$.

Событие	Вероятность
(a_2, a_1, a_1)	$p_1^2 q_1$
(a_1, a_2, a_1)	$p_1^2 q_1$
(a_2, a_1, a_1)	$p_1^2 q_1$

$\omega_8 - (3,0,0)$.

Событие	Вероятность
(a_1, a_1, a_1)	p_1^3

$\omega_9 - (0,3,0)$.

Событие	Вероятность
(a_2, a_2, a_2)	q_1^3

2. $P^2(1,1,2)$.

Удовлетворяющие траектории и соответствующие им вероятности:

$\omega_3 - (1,1,1)$.

Событие	Вероятность
(a_1, a_2, a_3)	$p_1 q_1 q_2$
(a_1, a_3, a_2)	$p_1 q_1 q_2$
(a_2, a_1, a_3)	$p_1 q_1 q_2$
(a_2, a_3, a_1)	$p_1 q_1 q_2$
(a_3, a_1, a_2)	$p_1 q_1 q_2$
(a_3, a_2, a_1)	$p_1 q_1 q_2$

3. $P^3(1,2,1)$.

Удовлетворяющие траектории и соответствующие им вероятности:

$\omega_8 - (3,0,0)$.

Событие	Вероятность
(a_1, a_1, a_1)	p_1^3

4. $P^4(1,2,2)$.

Удовлетворяющие траектории и соответствующие им вероятности:

$\omega_5 - (1,0,2)$.

Событие	Вероятность
(a_1, a_3, a_3)	$p_1 q_2^2$
(a_3, a_1, a_3)	$p_1 q_2^2$
(a_3, a_3, a_1)	$p_1 q_2^2$

$\omega_7 - (2,0,1)$.

Событие	Вероятность
(a_3, a_1, a_1)	$p_1^2 q_2$
(a_1, a_3, a_1)	$p_1^2 q_2$
(a_1, a_1, a_3)	$p_1^2 q_2$

$\omega_8 - (3,0,0)$.

Событие	Вероятность
(a_1, a_1, a_1)	p_1^3

$\omega_{10} - (0,0,3)$.

Событие	Вероятность
(a_3, a_3, a_3)	q_2^3

5. $P^5(2,1,1)$.

Удовлетворяющие траектории и соответствующие им вероятности:

$\omega_4 - (1,2,0)$.

Событие	Вероятность
(a_1, a_2, a_2)	$p_2 q_1^2$
(a_2, a_1, a_2)	$p_2 q_1^2$
(a_2, a_2, a_1)	$p_2 q_1^2$

$\omega_6 - (2,1,0)$.

Событие	Вероятность
(a_2, a_1, a_1)	$p_2^2 q_1$
(a_1, a_2, a_1)	$p_2^2 q_1$
(a_2, a_1, a_1)	$p_2^2 q_1$

$\omega_8 - (3,0,0)$.

Событие	Вероятность
(a_1, a_1, a_1)	p_2^3

$\omega_9 - (0,3,0)$.

Событие	Вероятность
(a_2, a_2, a_2)	q_1^3

6. $P^6(2,1,2)$.

Удовлетворяющие траектории и соответствующие им вероятности:

$\omega_3 - (1,1,1)$.

Событие	Вероятность
(a_1, a_2, a_3)	$p_2 q_1 q_2$
(a_1, a_3, a_2)	$p_2 q_1 q_2$
(a_2, a_1, a_3)	$p_2 q_1 q_2$
(a_2, a_3, a_1)	$p_2 q_1 q_2$
(a_3, a_1, a_2)	$p_2 q_1 q_2$
(a_3, a_2, a_1)	$p_2 q_1 q_2$

7. $P^7(2,2,1)$.

Удовлетворяющие траектории и соответствующие им вероятности:

$\omega_8 - (3,0,0)$.

Событие	Вероятность
(a_1, a_1, a_1)	p_2^3

8. $P^8(2,2,2)$.

Удовлетворяющие траектории и соответствующие им вероятности:

$\omega_5 - (1,0,2)$.

Событие	Вероятность
(a_1, a_3, a_3)	$p_2 q_2^2$
(a_3, a_1, a_3)	$p_2 q_2^2$
(a_3, a_3, a_1)	$p_2 q_2^2$

$\omega_7 - (2,0,1)$.

Событие	Вероятность
(a_3, a_1, a_1)	$p_2^2 q_2$
(a_1, a_3, a_1)	$p_2^2 q_2$
(a_1, a_1, a_3)	$p_2^2 q_2$

$\omega_8 - (3,0,0)$.

Событие	Вероятность
(a_1, a_1, a_1)	p_2^3

$\omega_{10} - (0,0,3)$.

Событие	Вероятность
(a_3, a_3, a_3)	q_2^3

Для каждой траектории ω_i находим значения опциона в финальный момент времени:
 $f(\omega_i) = (S_N(\omega_i) - K)^+$.

Выбираем произвольную рыночную меру Q . Рассчитываем вероятности обхода дерева этой произвольной рыночной меры.

Находим $L_i = Q_i f(\omega_i)$, $M_i^j = R_i^j f(\omega_i)$.

Будем решать двойственную задачу (4) с помощью метода обобщённого градиентного спуска. Координаты обобщённого градиента имеют вид

$$\left. \frac{\partial F}{\partial \lambda_k} \right|_{\lambda=\lambda^*} = -\sum_i M_i^k x_i^* + C.$$

С помощью итерационного метода [6] вычисляем λ^t : задаём значения вектора λ^0 , решаем внутреннюю задачу и находим $x_i(\lambda^0)$. Все остальные λ^t определяются по формуле: $\lambda^t = \lambda^{t-1} - h \nabla F$, где h – шаг. При этом учитываем условие $\lambda_i^t \geq 0$.

Шаг h_t удовлетворяет условиям: $\sum h_t = \infty, \sum h_t^2 < \infty$. Алгоритм продолжаем до тех пор, пока значения λ_i^t и λ_i^{t+1} будут мало отличаться друг от друга $\forall i$. В итоге получаем искомым вектор λ^t и находим решение задачи – вектор x^* .

Зная вектор x^* , можем построить вектор значений капитала в конечный момент времени. Он будет иметь вид $X_N^\pi = f(\omega_i) x^*$.

Зная значение капитала портфеля в конечный момент времени, можно восстановить значения капитала и для предыдущих моментов времени.

Пусть A, B, C – значения на атомах в момент времени N , x – в момент времени $N-1$. Найдём значение x , решив минимаксную задачу:

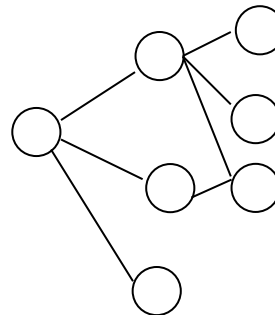
$x = \min \max \{A - \gamma \Delta S_A, B - \gamma \Delta S_B, C - \gamma \Delta S_C\}$, где $\Delta S_A, \Delta S_B, \Delta S_C$ – приращения стоимости акций соответственно на атомах A, B, C ; γ – коэффициент. Для его нахождения переходим от поставленной выше задачи на минимакс к двойственной к ней задаче

$$\begin{cases} P_A + P_B + P_C = 1, \\ P_A \Delta S_A + P_B \Delta S_B + P_C \Delta S_C = 0, \end{cases} \text{ где } P_A, P_B, P_C -$$

вероятности попадания в атомы A, B, C соответственно, $P_A \geq 0, P_B \geq 0, P_C \geq 0$.

Таким образом, найдены значения портфеля в $(N-1)$ -й момент времени. Аналогично находим значения вплоть до X_0 – корня дерева.

Рассмотрим особенность триномиальной модели – некоторые ветви деревьев приводят к одним и тем же результатам на данном шаге. Схематически это можно показать на рисунке.



Особенность триномиальной модели
/ Trinomial model feature

В дальнейшем это приведёт к получению нескольких одинаковых значений стоимости акций и капитала в i -й день. Будем сортировать значения, полученные на i -м шаге, начиная с корня дерева, чтобы избежать таких повторений. При рассмотрении вычислительного примера выясняется, что значения на одной ветке для стоимости акций и капитала становятся равными нулю уже с момента времени $i=1$.

Поэтому можно сделать предположение, что в задаче квантильного хеджирования для неполного рынка рассмотрение триномиальной модели излишне – вместо неё можно рассматривать биномиальную модель.

Вычислительный эксперимент

Пусть $N = 3$; $S_0 = 5$ – начальное значение стоимости акции; $K = 5$ – контрактная цена; $C = 6$ – премия. Доля изменения атома при переходе в следующий слой:

a: $[-0,3; 0,5; 0,8]$;
p: $[0,625; 0,375; 0]$;
q: $[0,727; 0,273]$;
r: $[0; 0,454; 0,546]$.

Стоимость акций во все моменты времени (отсортированные значения – повторения были убраны):

0: 5;
1: 3,5; 7,5; 9,0;
2: 2,45; 5,25; 6,3; 11,25; 13,5; 16,2;
3: 1,715; 3,675; 4,41; 7,875; 9,45; 11,34; 16,875; 20,25; 24,3; 29,16.

Множество значений опциона в финальный момент времени $f(\omega_i)$ (отсортированные значения):

0,0; 1,675; 2,41; 5,875; 7,45; 9,34; 14,875; 18,25; 22,3; 27,16.

Матрица всех возможных вероятностей обхода (R):

0,244	0,438	0,0	0,264	0,0	0,0	0,053	0,0	0,0	0
0,244	0,438	0,321	0,264	0,384	0,141	0,053	0,114	0,084	0,02
0,244	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0
0,244	0,0	0,321	0,0	0,0	0,141	0	0,0	0,0	0,02
0,384	0,594	0,0	0,306	0,0	0,0	0,053	0,0	0,0	0
0,384	0,594	0,432	0,306	0,444	0,162	0,053	0,114	0,084	0,02
0,384	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0
0,384	0,432	0,432	0,162	0,324	0,162	0,02	0,06	0,06	0,02

Вероятности обхода для произвольной рыночной меры (Q):

0,037; 0,028; 0,046; 0,021; 0,035; 0,058; 0,016; 0,026; 0,043; 0,073.

step = 401

lambda1:

0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,3687228863809219; 0,0; 0,0.

lambda2:

0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,36373535520885203; 0,0; 0,0.

На шаге с номером 401 получили, что разница между lambda меньше заданного ε . Формируем массив:

tstar list:

0,0; -0,32; -0,273; -0,539; -0,959; -0,016; -0,053; -0,293; 0,268; 1,782.

По указанной выше формуле вычисляем решение внутренней задачи (x^*):

0,5; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 1,0; 1,0.

Находим капитал в конечный момент времени:

0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 22,3; 27,16.

Исходя из этих значений (они отсортированные), восстановим полную картину для значений капитала. Для этого сначала рассчитаем прирост стоимости акции ΔS . Разница между текущим значением стоимости акции и значением в предыдущий день (deltaS):

0; 0;

1: -1,5; 2,5; 4,0;

2: -1,05; 1,75; 2,8; -2,25; 3,75; 6,0; -2,7; 4,5; 7,2;

3: -0,735; 1,225; 1,96; -1,575; 2,625; 4,2; -1,89; 3,15; 5,04;

-1,575; 2,625; 4,2; -3,375; 5,625; 9,0; -4,05; 6,75; 10,8; -1,89; 3,15; 5,04; -4,05; 6,75; 10,8; -4,86; 8,1; 12,96.

Стоимость портфеля в последний день:

0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 22,3; 27,16.

Значения портфеля (XP) (полный вариант):

0: 10,878;

1: 0,0; 15,145; 26,563;

2: 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 24,656; 0,0; 0,0; 36,037;

3: 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0;

0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 22,3;

0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 27,16.

Таким образом, явно видим, что одна ветвь дерева полностью обнулена и нет смысла её рассматривать, т.е. триномиальная модель сводится к биномиальной.

Заключение

Рассмотрена задача квантильного хеджирования для неполного рынка. Получено её решение с применением теории двойственности. В качестве примера эта задача решена для триномиальной модели. Приведены результаты вычислительного эксперимента.

Дальнейшие исследования будут направлены на применение полученного решения при рассмотрении других моделей.

Литература

1. Rudloff B. A generalized Neyman-Pearson lemma for hedge problems in incomplete markets // Workshop "Stochastische Analysis", 27.09.2004–29.09.2004, P. 241–249.
2. Ширяев А.Н. Основы стохастической финансовой математики. М.: Фазис, 1998. Т. 1. 489 с.
3. Follmer H., Leukert P. Quantile Hedging // Finance and Stochastics. 1999. Vol. 3, № 3. P. 251–273.
4. Калиткин Н.Н. Численные методы. М.: Наука, 1978. 512 с.
5. Белявский Г.И., Данилова Н.В. Квантильное хеджирование на мультиномиальном рынке // Обозрение прикладной и промышленной математики. 2013. Т. 20. URL: <http://www.tvp.ru/conferen/vsppm14/org003.pdf> (дата обращения: 03.04.2019).
6. Пирумов У.Г. Численные методы: учеб. пособие. М.: МАИ, 1998. 544 с.

References

1. Rudloff B. A generalized Neyman-Pearson lemma for hedge problems in incomplete markets. *Workshop "Stochastische Analysis"*, 27.09.2004–29.09.2004, pp. 241–249.
2. Shiryaev A.N. *Osnovy stokhasticheskoi finansovoi matematiki* [Fundamentals of stochastic financial mathematics]. Moscow: Fazis, 1998, vol. 1, 489 p.
3. Follmer H., Leukert P. Quantile Hedging. *Finance and Stochastics*. 1999, vol. 3, No. 3, pp. 251–273.
4. Kalitkin N.N. *Chislennyye metody* [Numerical methods]. Moscow: Nauka, 1978, 512 p.
5. Belyavskii G.I., Danilova N.V. Kvantil'noe khedzhirovanie na mul'tinomial'nom rynke [Quantile hedging in the multinomial market]. *Obozrenie prikladnoi i promyshlennoi matematiki*. 2013, vol. 20. Available at: <http://www.tvp.ru/conferen/vsppm14/org003.pdf> (accessed 03.04.2019).
6. Pirumov U.G. *Chislennyye metody* [Numerical methods]. Tutorial. Moscow: MAI, 1998, 544 p.

УДК 517.91

DOI 10.23683/0321-3005-2019-2-10-14

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КОШИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ТРЁХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С ПРОИЗВОДНОЙ ДРОБНОГО ПОРЯДКА

© 2019 г. Т.И. Ибавов¹

¹Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

THE SOLUTION OF CAUCHY PROBLEM FOR SYSTEM OF THREE DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH FRACTIONAL DERIVATIVE CAPUTO

T.I. Ibavov¹

¹Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Ибавов Темирлан Ильмутдинович – аспирант, кафедра прикладной математики, факультет математики и компьютерных наук, Дагестанский государственный университет, ул. Гаджиева, 43а, г. Махачкала, Республика Дагестан, 367000, Россия, e-mail: ibavov94@mail.ru

Temirlan I. Ibavov - Postgraduate, Department of Applied Mathematics, Faculty of Mathematics and Computer Science, Dagestan State University, Gadzhieva St., 43a, Makhachkala, Republic Dagestan, 367000, Russia, e-mail: ibavov94@mail.ru

Рассматривается задача Коши для системы трёх дифференциальных уравнений с производными дробного порядка Капуто. Исследуются вопрос существования и единственности решения рассматриваемой задачи и способ его отыскания. Для упрощения задачи осуществляется переход к дробным производным Римана – Лиувилля. Путём применения преобразования Лапласа к каждому уравнению системы дифференциальных уравнений она сводится к системе линейных алгебраических уравнений относительно образов Лапласа. На основе метода Крамера для решения систем линейных алгебраических уравнений найдено решение данной системы трёх дифференциальных уравнений с производной дробного порядка Капуто в образах Лапласа. Для получения решения рассматриваемой задачи в функциональном виде найденные в образах Лапласа решения раскладываются на сумму простых дробей с помощью характеристической функции и осуществляется переход к функции Миттаг-Леффлера. Получены некоторые соотношения для функции Миттаг-Леффлера, позволяющие упростить решение.

Ключевые слова: дробная производная, дифференциальные уравнения, преобразование Лапласа, функция Миттаг-Леффлера, метод Крамера, характеристическая функция.

The article analyzes the Cauchy problem for system of three differential equation with fractional derivative Caputo. The question of the existence and uniqueness of the solution of the problem and the method of its determination are investigated. To simplify the problem proposed a transition to fractional Riemann-Liouville derivatives. By applying the Laplace transform to each equation of a system of differential equations, this system reduces to a system of linear algebraic equations with Laplace transforms. Using the Cramer method for solving systems of linear algebraic equations, a solution of this system of three differential equations with the fractional derivative Caputo in Laplace images is found. For finding the solution of the problem, the image of solution have decomposed into simple fractions by dint of the roots of characteristic equation and the transition to the Mittag-Leffler function is carried. Some relations for Mittag-Leffler function that allow to simplify the solution are obtained.

Keywords: fractional derivative, differential equations, Laplace transform, Mittag-Leffler function, Cramer's rule, characteristic function.

Введение

Операция дифференцирования дробного порядка, представляя определенное сочетание операций дифференцирования и интегрирования, открывает новый подход к теории нелокальных дифференциальных уравнений, вносит более высокий уровень понимания динамики соотношения обратимых и

необратимых процессов, когда существен учет нелокальных свойств системы.

Как известно, исследование математических моделей, описываемых нелинейными дифференциальными уравнениями, затруднительно. Поэтому очень часто нелинейные модели заменяют линейными так, чтобы получаемая при этом линейная модель приближенно отражала свойства ис-

ходной системы при выполнении некоторых условий.

В работе исследуется решение системы трех линейных дифференциальных уравнений с производными дробного порядка.

Решению задач типа Коши для дифференциального уравнения дробного порядка посвящены работы [1–8]. В монографии [1] приведены решения задачи Коши для осцилляторных уравнений с производными дробного порядка Римана – Лиувилля и Caputo. В [2] исследована начальная задача для фрактального осциллятора, в [3] – задача Коши для системы двух линейных дифференциальных уравнений дробного порядка. Работа [4] посвящена исследованию решения задачи Коши для обобщенного уравнения Эйри. В [5–8] рассматриваются нелинейные динамические системы, описываемые дифференциальными уравнениями с производными дробного порядка.

В данной работе исследована начальная задача для линейной системы трех дифференциальных уравнений дробного порядка.

Ниже нами используются следующие обозначения:

$AC(\Omega)$ – класс функций, абсолютно непрерывных на отрезке Ω .

$AC^n(\Omega)$ – класс функций $u(t)$, непрерывно дифференцируемых на отрезке Ω до порядка $n-1$, причём $u^{(n-1)}(t) \in AC(\Omega)$.

$$\partial_{0t}^\alpha u(t) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \int_0^t \frac{u'(s)}{(t-s)^\alpha} ds - \text{дробная производная Caputo, } 0 < \alpha < 1.$$

водная Caputo, $0 < \alpha < 1$.

$$D_{0t}^\alpha u(t) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \frac{d}{dt} \int_0^t \frac{u(s)}{(t-s)^\alpha} ds - \text{дробная}$$

производная Римана – Лиувилля, $0 < \alpha < 1$.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty e^{-t} t^{\alpha-1} dt - \text{интеграл Эйлера второго}$$

рода (гамма-функция).

$E_{\alpha,\beta}(z)$, где $\alpha, \beta > 0$ – функция Миттаг-Леффлера.

Задача Коши для системы трех дифференциальных уравнений с производной дробного порядка Caputo

Рассмотрим на отрезке $[0, T]$ систему трех дифференциальных уравнений с производными дробного порядка вида

$$\begin{cases} \partial_{0t}^\alpha x = a_{11}x + a_{12}y + a_{13}z, \\ \partial_{0t}^\alpha y = a_{21}x + a_{22}y + a_{23}z, \\ \partial_{0t}^\alpha z = a_{31}x + a_{32}y + a_{33}z, \end{cases} \quad (1)$$

где $0 < \alpha < 1$, $a_{i,j}$, $i = \overline{1,3}$, $j = \overline{1,3}$ – некоторые числовые коэффициенты; ∂_{0t}^α – оператор дробного дифференцирования Caputo.

Обозначим через $\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}$ матрицу

коэффициентов в правой части системы (1). Будем предполагать, что $\det \mathbf{A} \neq 0$.

Задача. Найти решение $x(t), y(t), z(t) \in AC^2[0, T]$ системы уравнений (1), удовлетворяющее начальным условиям $x(0) = x_0$, $y(0) = y_0$, $z(0) = z_0$.

Приведем ниже достаточное условие существования дробной производной Римана – Лиувилля [9].

Пусть функция $u(t)$ непрерывна на $[0, T]$ вместе со своими производными до порядка $m-1$ включительно, причём $u^{(m)}(x) \in AC(\Omega)$. Тогда для любого $\alpha \in (0; m]$ производная $D_{0t}^\alpha u(t)$ существует. Кроме того, если $\alpha \in (n-1; n]$, то почти всюду на $[0, T]$ имеет место представление

$$\begin{aligned} D_{0t}^\alpha u(t) &= \frac{1}{\Gamma(n-\alpha)} \int_0^t \frac{u^{(n)}(s)}{(t-s)^\alpha} ds + \sum_{k=0}^{n-1} \frac{u^{(k)}(0)}{\Gamma(n-\alpha)t^\alpha} = \\ &= \partial_{0t}^\alpha u(t) + \sum_{k=0}^{n-1} \frac{u^{(k)}(0)}{\Gamma(n-\alpha)t^\alpha}. \end{aligned}$$

При $n = 1$

$$\begin{aligned} D_{0t}^\alpha u(t) &= \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \int_0^t \frac{u'(s)}{(t-s)^\alpha} ds + \frac{u(0)}{\Gamma(1-\alpha)t^\alpha} = \\ &= \partial_{0t}^\alpha u(t) + \frac{u(0)}{\Gamma(1-\alpha)t^\alpha}. \end{aligned} \quad (2)$$

Пусть $x(t), y(t), z(t) \in AC^2[0, T]$. Воспользовавшись равенством (2), систему (1) можно переписать в виде

$$\begin{cases} D_{0t}^\alpha x = a_{11}x + a_{12}y + a_{13}z + \frac{x(0)}{\Gamma(1-\alpha)t^\alpha}, \\ D_{0t}^\alpha y = a_{21}x + a_{22}y + a_{23}z + \frac{y(0)}{\Gamma(1-\alpha)t^\alpha}, \\ D_{0t}^\alpha z = a_{31}x + a_{32}y + a_{33}z + \frac{z(0)}{\Gamma(1-\alpha)t^\alpha}, \end{cases} \quad (3)$$

где D_{0t}^α – оператор дробного дифференцирования Римана – Лиувилля.

Пусть $x(t), y(t), z(t) \in AC^2[0, T]$ – решение системы (3). Применяя преобразование Лапласа к системе (3), получим

$$\begin{cases} (p^\alpha - a_{11})x(p) - a_{12}y(p) - a_{13}z(p) = x(0)p^{\alpha-1}, \\ -a_{21}x(p) + (p^\alpha - a_{22})y(p) - a_{23}z(p) = y(0)p^{\alpha-1}, \\ -a_{31}x(p) - a_{32}y(p) + (p^\alpha - a_{33})z(p) = z(0)p^{\alpha-1}. \end{cases} \quad (4)$$

Обозначим через $\mathbf{B}$ матрицу, составленную из коэффициентов в левой части системы (4), т.е.

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} p^\alpha - a_{11} & -a_{12} & -a_{13} \\ -a_{21} & p^\alpha - a_{22} & -a_{23} \\ -a_{31} & -a_{32} & p^\alpha - a_{33} \end{pmatrix}.$$

Как видно, $\det \mathbf{B} \neq 0$. Следовательно, система (4) имеет единственное решение, которое будет иметь вид

$$\begin{cases} x(p) = \frac{x_0 p^{2\alpha} - p^\alpha (x_0(a_{33} + a_{22}) - z_0 a_{13} - y_0 a_{12}) + \tilde{a}_3}{p^{1-\alpha} (p^{3\alpha} - p^{2\alpha} (a_{33} + a_{22} + a_{11}) + p^\alpha \tilde{a}_1 + \tilde{a}_2)}, \\ y(p) = \frac{y_0 p^{2\alpha} - p^\alpha (y_0(a_{33} + a_{11}) + a_{32} a_{23} - a_{21} x_0) + \tilde{a}_4}{p^{1-\alpha} (p^{3\alpha} - p^{2\alpha} (a_{33} + a_{22} + a_{11}) + p^\alpha \tilde{a}_1 + \tilde{a}_2)}, \\ z(p) = \frac{z_0 p^{2\alpha} - p^\alpha (z_0(a_{22} + a_{11}) - a_{31} x_0 - y_0 a_{32}) + \tilde{a}_5}{p^{1-\alpha} (p^{3\alpha} - p^{2\alpha} (a_{33} + a_{22} + a_{11}) + p^\alpha \tilde{a}_1 + \tilde{a}_2)}, \end{cases} \quad (5)$$

где $\tilde{a}_1 = a_{22} a_{33} + a_{11} a_{33} + a_{11} a_{22} - a_{31} a_{13} - a_{32} a_{23} - a_{21} a_{12}$,

$$\tilde{a}_2 = a_{11} a_{22} a_{33} - a_{12} a_{23} a_{31} - a_{13} a_{21} a_{32} +$$

$$+ a_{31} a_{13} a_{22} + a_{32} a_{23} a_{11} + a_{33} a_{21} a_{12},$$

$$\tilde{a}_3 = a_{22} a_{33} x_0 + a_{12} a_{23} z_0 + a_{13} a_{32} y_0 -$$

$$- a_{22} a_{13} z_0 - a_{32} a_{23} x_0 - a_{33} a_{12} y_0,$$

$$\tilde{a}_4 = a_{11} a_{33} y_0 + a_{23} a_{31} x_0 - a_{13} a_{21} a_{32} -$$

$$- a_{13} a_{31} y_0 + a_{32} a_{23} a_{11} - a_{33} a_{21} x_0,$$

$$\tilde{a}_5 = z_0 a_{11} a_{22} + y_0 a_{12} a_{31} + x_0 a_{21} a_{32} -$$

$$- x_0 a_{22} a_{31} - z_0 a_{21} a_{12} - a_{11} y_0 a_{32}.$$

Решение (5) можно представить в виде

$$\begin{aligned} x(p) &= \frac{1}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)} \times \\ &\times \left[\frac{x_0}{p^{1-2\alpha}} \left(\frac{1}{1 - \lambda_1 p^{-\alpha}} - \frac{1}{1 - \lambda_2 p^{-\alpha}} + \frac{1}{1 - \lambda_3 p^{-\alpha}} \right) - \right. \\ &- \frac{x_0(a_{33} + a_{22}) - z_0 a_{13} - y_0 a_{12}}{p^{1-\alpha}} \times \\ &\times \left(\frac{1}{1 - \lambda_1 p^{-\alpha}} - \frac{1}{1 - \lambda_2 p^{-\alpha}} + \frac{1}{1 - \lambda_3 p^{-\alpha}} \right) + \\ &\left. + \frac{\tilde{a}_3}{p} \left(\frac{1}{1 - \lambda_1 p^{-\alpha}} - \frac{1}{1 - \lambda_2 p^{-\alpha}} + \frac{1}{1 - \lambda_3 p^{-\alpha}} \right) \right], \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y(p) &= \frac{1}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)} \times \\ &\times \left[\frac{y_0}{p^{1-2\alpha}} \left(\frac{1}{1 - \lambda_1 p^{-\alpha}} - \frac{1}{1 - \lambda_2 p^{-\alpha}} + \frac{1}{1 - \lambda_3 p^{-\alpha}} \right) - \right. \\ &- \frac{y_0(a_{33} + a_{11}) + a_{32} a_{23} - a_{21} x_0}{p^{1-\alpha}} \times \\ &\times \left(\frac{1}{1 - \lambda_1 p^{-\alpha}} - \frac{1}{1 - \lambda_2 p^{-\alpha}} + \frac{1}{1 - \lambda_3 p^{-\alpha}} \right) + \\ &\left. + \frac{\tilde{a}_4}{p} \left(\frac{1}{1 - \lambda_1 p^{-\alpha}} - \frac{1}{1 - \lambda_2 p^{-\alpha}} + \frac{1}{1 - \lambda_3 p^{-\alpha}} \right) \right], \\ z(p) &= \frac{1}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)} \times \\ &\times \left[\frac{z_0}{p^{1-2\alpha}} \left(\frac{1}{1 - \lambda_1 p^{-\alpha}} - \frac{1}{1 - \lambda_2 p^{-\alpha}} + \frac{1}{1 - \lambda_3 p^{-\alpha}} \right) - \right. \\ &- \frac{z_0(a_{22} + a_{11}) - a_{31} x_0 - y_0 a_{32}}{p^{1-\alpha}} \times \\ &\times \left(\frac{1}{1 - \lambda_1 p^{-\alpha}} - \frac{1}{1 - \lambda_2 p^{-\alpha}} + \frac{1}{1 - \lambda_3 p^{-\alpha}} \right) + \\ &\left. + \frac{\tilde{a}_5}{p} \left(\frac{1}{1 - \lambda_1 p^{-\alpha}} - \frac{1}{1 - \lambda_2 p^{-\alpha}} + \frac{1}{1 - \lambda_3 p^{-\alpha}} \right) \right], \end{aligned} \quad (6)$$

где $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – корни характеристического уравнения,

$$\lambda_1 = \sqrt[3]{-\beta + \sqrt{\beta^2 + \gamma^3}} + \sqrt[3]{-\beta - \sqrt{\beta^2 + \gamma^3}} - \frac{q}{3},$$

$$\lambda_2 = \varepsilon_1 \sqrt[3]{-\beta + \sqrt{\beta^2 + \gamma^3}} + \varepsilon_2 \sqrt[3]{-\beta - \sqrt{\beta^2 + \gamma^3}} - \frac{q}{3},$$

$$\lambda_3 = \varepsilon_2 \sqrt[3]{-\beta + \sqrt{\beta^2 + \gamma^3}} + \varepsilon_1 \sqrt[3]{-\beta - \sqrt{\beta^2 + \gamma^3}} - \frac{q}{3},$$

$$\text{где } \beta = \frac{q}{3} \tilde{a}_1 - \tilde{a}_2 - \frac{2}{27} q^3, \quad \gamma = \frac{\tilde{a}_1 - \frac{1}{3} q^2}{27},$$

$$\varepsilon_1, \varepsilon_2 = -\frac{1}{2} \pm \frac{\sqrt{3}}{2} i, \quad q = \frac{x_0(a_{33} + a_{22} + a_{11})}{3}.$$

Определение. Функция, которая задается в виде

$$\text{ряда } E_\alpha(z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^k}{\Gamma(\alpha k + 1)}, \quad \alpha > 0, \text{ или в виде бо-}$$

$$\text{лее общего ряда } E_{\alpha, \beta}(z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^k}{\Gamma(\alpha k + \beta)}, \quad \alpha > 0,$$

$\beta > 0$, называется функцией Миттаг-Леффлера.

Если $\operatorname{Re} p > 1$, имеют место следующие соотношения [1]:

$$\int_0^{\infty} e^{-t} t^{\beta-1} E_{\alpha, \beta}(t^{\alpha} z) dt = \frac{1}{1-z}, \quad |z| < 1,$$

$$\frac{1}{p(1-\lambda \cdot p^{-\alpha})} = \int_0^{\infty} e^{-pt} E_{\alpha, 1}(\lambda t^{\alpha}) dt, \quad \operatorname{Re} p > 1, \quad (7)$$

$$\frac{1}{p^{1-\alpha}(1-\lambda \cdot p^{-\alpha})} =$$

$$= \int_0^{\infty} e^{-pt} t^{-\alpha} E_{\alpha, 1-\alpha}(\lambda t^{\alpha}) dt, \quad \operatorname{Re} p > 1.$$

Лемма 1. Для $\alpha > 0$ имеет место равенство

$$t^{-\alpha} E_{\alpha, 1-\alpha}(t^{\alpha}) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)t^{\alpha}} + E_{\alpha, 1}(t^{\alpha}). \quad (8)$$

Доказательство. Согласно определению функции Миттаг-Леффлера, имеем

$$t^{-\alpha} E_{\alpha, 1-\alpha}(t^{\alpha}) =$$

$$= t^{-\alpha} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{t^{\alpha n}}{\Gamma(\alpha n + 1 - \alpha)}, \quad \alpha > 0. \quad (9)$$

В правой части равенства (9), заменяя n на $n' + 1$, получим

$$t^{-\alpha} \sum_{n'=-1}^{\infty} \frac{t^{\alpha n' + \alpha}}{\Gamma(\alpha n' + \alpha + 1 - \alpha)} = \sum_{n'=-1}^{\infty} \frac{t^{\alpha n'}}{\Gamma(\alpha n' + 1)} =$$

$$= \frac{t^{-\alpha}}{\Gamma(1-\alpha)} + \sum_{n'=0}^{\infty} \frac{t^{\alpha n'}}{\Gamma(\alpha n' + 1)} = \frac{t^{-\alpha}}{\Gamma(1-\alpha)} + E_{\alpha, 1}(t^{\alpha}).$$

Лемма 2. Для $\alpha > 0$ имеет место равенство

$$t^{-2\alpha} E_{\alpha, 1-2\alpha}(t^{\alpha}) =$$

$$= \frac{1}{\Gamma(1-2\alpha)t^{2\alpha}} + \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)t^{\alpha}} + E_{\alpha, 1}(t^{\alpha}). \quad (10)$$

Доказательство. Согласно определению функции Миттаг-Леффлера,

$$t^{-2\alpha} E_{\alpha, 1-2\alpha}(t^{\alpha}) = t^{-2\alpha} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{t^{\alpha n}}{\Gamma(\alpha n + 1 - 2\alpha)}, \quad \alpha > 0. \quad (11)$$

В правой части равенства (11), заменяя n на $n' + 2$, получим

$$t^{-2\alpha} \sum_{n'=-1}^{\infty} \frac{t^{\alpha n' + 2\alpha}}{\Gamma(\alpha n' + 2\alpha + 1 - 2\alpha)} = \sum_{n'=-1}^{\infty} \frac{t^{\alpha n'}}{\Gamma(\alpha n' + 1)} =$$

$$= \frac{t^{-2\alpha}}{\Gamma(1-2\alpha)} + \frac{t^{-\alpha}}{\Gamma(1-\alpha)} + \sum_{n'=0}^{\infty} \frac{t^{\alpha n'}}{\Gamma(\alpha n' + 1)} =$$

$$= \frac{t^{-2\alpha}}{\Gamma(1-2\alpha)} + \frac{t^{-\alpha}}{\Gamma(1-\alpha)} + E_{\alpha, 1}(t^{\alpha}).$$

Из равенств (6), воспользовавшись соотношениями (7), (8), (10), получим выражения для оригиналов функций $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$:

$$x(t) = \frac{1}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)} \times$$

$$\times [(\lambda_2 - \lambda_3) E_{\alpha, 1}(\lambda_1 t^{\alpha}) - (\lambda_1 - \lambda_3) E_{\alpha, 1}(\lambda_2 t^{\alpha}) +$$

$$+ (\lambda_1 - \lambda_2) E_{\alpha, 1}(\lambda_3 t^{\alpha})] \times$$

$$\times (x_0(1 - a_{22} - a_{33}) + y_0 a_{12} + z_0 a_{13} + \tilde{a}_3),$$

$$y(t) = \frac{1}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)} \times$$

$$\times [(\lambda_2 - \lambda_3) E_{\alpha, 1}(\lambda_1 t^{\alpha}) - (\lambda_1 - \lambda_3) E_{\alpha, 1}(\lambda_2 t^{\alpha}) +$$

$$+ (\lambda_1 - \lambda_2) E_{\alpha, 1}(\lambda_3 t^{\alpha})] \times$$

$$\times (y_0(1 - a_{33} - a_{11}) - x_0 a_{21} - a_{32} a_{23} + \tilde{a}_4), \quad (12)$$

$$z(t) = \frac{1}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_1 - \lambda_3)(\lambda_2 - \lambda_3)} \times$$

$$\times [(\lambda_2 - \lambda_3) E_{\alpha, 1}(\lambda_1 t^{\alpha}) - (\lambda_1 - \lambda_3) E_{\alpha, 1}(\lambda_2 t^{\alpha}) +$$

$$+ (\lambda_1 - \lambda_2) E_{\alpha, 1}(\lambda_3 t^{\alpha})] \times$$

$$\times (z_0(1 - a_{11} - a_{22}) + x_0 a_{31} + a_{32} y_0 + \tilde{a}_5).$$

Имеет место

Теорема. Функции $x(t)$, $y(t)$, $z(t) \in AC^2[0, T]$ будут решениями задачи Коши для системы (1), если они представимы в виде (12).

Литература

1. Мейланов Р.П., Бейбалаев В.Д., Шахбанова М.Р. Прикладные аспекты дробного исчисления. Palmarium Academic Publishing, 2012. 135 с.
2. Бейбалаев В.Д. Решение начальной задачи для дифференциального уравнения «фрактального» осциллятора // Вестн. Самарского гос. техн. ун-та. Физ.-мат. науки. 2009. Т. 1 (19).
3. Назаралиев М.А., Бейбалаев В.Д. Динамические системы, описываемые двумя дифференциальными уравнениями с производными дробного порядка // Владикавказ. мат. журн. 2013. Т. 15, № 1. С. 30–40.
4. Паровик Р.И. Задача Коши для обобщенного уравнения Эйри // Докл. АМАН. 2014. Т. 16, № 3. С. 64–69.
5. Бейбалаев В.Д., Мейланов Р.П., Назаралиев М.А., Шахбанова М.Р. Особенности фазовой траектории «фрактального» брусслетора // Математическое мо-

делирование и краевые задачи : сб. материалов седьмой Всерос. конф. Самара, 2010.

6. Назаралиев М.А., Бейбалаев В.Д. Нелинейные колебания в средах с фрактальной структурой // Сб. трудов Междунар. Российско-Болгарского симпозиума, КБР, г. Нальчик, КЧР, а. Хабез, 2010.

7. Бейбалаев В.Д. Моделирование хаотического поведения динамических систем с фрактальной структурой // Математическое моделирование и краевые задачи : сб. материалов восьмой Всерос. конф. с междунар. участием. Самара, 2011. С. 27–31.

8. Тренькин А.А., Карелин В.И., Алисултанов З.З., Бейбалаев В.Д., Рагимханов Г.Б. Динамика электронов в ветвящихся системах газоразрядных каналов со спадающей концентрацией газа // Нелинейный мир. 2017. Т. 15, № 3. С. 24–31.

9. Нахушев А.М. Дробное исчисление и его применение. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 272 с.

References

1. Meilanov R.P., Beibalaev V.D., Shakhbanova M.R. *Prikladnye aspekty drobnogo ischisleniya* [Applied aspects of fractional calculus]. Palmarium Academic Publishing, 2012, 135 p.

2. Beibalaev V.D. Reshenie nachal'noi zadachi dlya differentsial'nogo uravneniya «fraktal'nogo» ostsillyatora [Solution of the initial problem for the differential equation of the “fractal” oscillator]. *Vestn. Samarskogo gos. tekhn. un-ta. Fiz.-mat. nauki.* 2009, vol. 1 (19).

3. Nazaraliev M.A., Beibalaev V.D. Dinamicheskie sistemy, opisyvaemye dvumya differentsial'nymi uravneniyami s proizvodnymi drobnogo poryadka [Dy-

namical systems described by two differential equations with fractional order derivatives]. *Vladikavk. mat. zhurn.* 2013, vol. 15, No. 1, pp. 30–40.

4. Parovik R.I. Zadacha Koshi dlya obobshchennogo uravneniya Eiri [Cauchy problem for the generalized Airy equation]. *Dokl. AMAN.* 2014, vol. 16, No. 3, pp. 64–69.

5. Beibalaev V.D., Meilanov R.P., Nazaraliev M.A., Shakhbanova M.R. [Features of the phase trajectory of the “fractal” Brusselator]. *Matematicheskoe modelirovanie i kraevye zadachi* [Mathematical modeling and boundary value problems]. Proceedings of the 7th All-Russian Conference. Samara, 2010.

6. Nazaraliev M.A., Beibalaev V.D. [Nonlinear oscillations in media with fractal structure]. *Sb. trudov Mezhdunar. Rossiisko-Bolgarskogo simpoziuma* [Proceedings of the International Russian-Bulgarian Symposium]. KBR, Nalchik, KCR, Habez, 2010.

7. Beibalaev V.D. [Simulation of chaotic behavior of dynamic systems with a fractal structure]. *Matematicheskoe modelirovanie i kraevye zadachi* [Mathematical modeling and boundary value problems]. Proceedings of the 8th All-Russian Conference with International Participation. Samara, 2011, pp. 27–31.

8. Tren'kin A.A., Karelin V.I., Alisultanov Z.Z., Beibalaev V.D., Ragimkhanov G.B. Dinamika elektronov v vetvyashchikhsya sistemakh gazorazryadnykh kanalov so spadayushchei kontsentratsiei gaza [Electron dynamics in branching systems of gas-discharge channels with decreasing gas concentration]. *Nelineinyi mir.* 2017, vol. 15, No. 3, pp. 24–31.

9. Nakhushiev A.M. *Drobnoe ischislenie i ego primeneniye* [Fractional calculus and its application]. Moscow: FIZMATLIT, 2003, 272 p.

УДК 514.76

DOI 10.23683/0321-3005-2019-2-15-19

ГЕОМЕТРИЯ ТЕНЗОРА НЕЙЕНХЕЙСА SPCs-МНОГООБРАЗИЙ

© 2019 г. А.Р. Рустанов¹, Т.Л. Мелехина², А.И. Юдин³

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия,

²Финансовый университет при Правительстве РФ, Москва, Россия,

³Институт мировых цивилизаций, Москва, Россия

GEOMETRY OF THE NIJENHUIS TENSOR OF SPCs-MANIFOLDS

A.R. Rustanov¹, T.L. Melekhina², A.I. Yudin³

¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,

²Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia,

³Institute of World Civilizations, Moscow, Russia

Рустанов Алигаджи Рабаданович – кандидат физико-математических наук, кафедра прикладной математики, Институт фундаментального образования, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Ярославское шоссе, 26, г. Москва, 129337, Россия, e-mail: aligadzhi@yandex.ru

Aligadzhi R. Rustanov - Candidate of Physics and Mathematics, Department of Applied Mathematics, Institute of Fundamental Education, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavl Highway, 26, Moscow, 129337, Russia, e-mail: aligadzhi@yandex.ru.

Мелехина Татьяна Леонидовна – кандидат физико-математических наук, доцент, департамент анализа данных, принятия решений и финансовых технологий, Финансовый университет при Правительстве РФ, пр. Ленинградский, 49, г. Москва, 125167, Россия, e-mail: TMelekhina@fa.ru

Tatyana L. Melekhina - Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Department of Data Analysis, Decision Making and Financial Technologies, Financial University under the Government of the Russian Federation, Leningradsky Ave., 49, Moscow, 125167, Russia, e-mail: TMelekhina@fa.ru

Юдин Алексей Иванович – кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра теоретической и прикладной информатики, Институт мировых цивилизаций, Ленинский пр., 1/2, корп. 1, г. Москва, 119049, Россия, e-mail: udinad@gmail.com.

Aleksey I. Yudin - Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Department of Theoretical and Applied Informatics Institute of World Civilizations, Leninsky Ave., 1/2, bld. 1, Moscow, 119049, Russia, e-mail: yudinad@gmail.com

Рассматриваются некоторые свойства почти контактных метрических многообразий класса C_9 . Получены несколько полезных тождеств, которым удовлетворяют структурные тензоры C_9 -многообразий. Доказано, что C_9 -структура является квазикосимплектической, а также строго псевдокосимплектической. Получены условия, при которых SPCs-структура – интегрируема. Интегрируемая и нормальная SPCs-структуры – косимплектические. Условия интегрируемости, нормальности и косимплектичности для SPCs-структуры эквивалентны. На пространстве присоединенной G-структуры подсчитаны компоненты тензора Нейенхейса. Его задание равносильно заданию четырех тензоров $N^{(1)}, N^{(2)}, N^{(3)}, N^{(4)}$. Рассмотрен геометрический смысл обращения в нуль этих тензоров. Доказано, что на SPCs-многообразии $N^{(2)}$ и $N^{(4)}$ равны нулю; обращение в нуль тензоров $N^{(1)}$ и $N^{(3)}$ равносильно косимплектичности SPCs-многообразия.

Ключевые слова: почти контактное метрическое многообразие, косимплектическое многообразие, тензор Нейенхейса, тензор римановой кривизны, C_9 -многообразие.

In this paper, we consider some properties of almost contact metric manifolds of class C_9 . Several useful identities are obtained, which are satisfied by the structure tensors of C_9 -manifolds. We prove that the C_9 -structure is a quasi-cosymplectic structure, as well as a strictly pseudo-cosymplectic structure. Conditions are obtained when the SPCs-structure is integrable. It is proved that an integrable SPCs-structure is a cosymplectic structure. It is proved that the normal SPCs-structure is cosymplectic. It is proved that the conditions of integrability, normality and cosymplecticity for SPCs-structures are equivalent. The components of the Nijenhuis tensor are calculated on the space of the adjoint G-structure. Setting the Nijenhuis tensor is equivalent to specifying four tensors $N^{(1)}, N^{(2)}, N^{(3)}, N^{(4)}$. The geometric meaning of the vanishing of these tensors is consid-

ered. It is proved that on the SPCs-manifolds $N^{(2)}$ and $N^{(4)}$ are zero. It is proved that the vanishing of the tensors $N^{(1)}$ and $N^{(3)}$ is equivalent to the cosymplecticity of SPCs-manifolds.

Keywords: almost contact metric manifold, cosymplectic manifold, Nijenhuis tensor, Riemann curvature tensor, C_9 -manifold.

Введение

Почти контактные метрические структуры дают один из наиболее содержательных примеров дифференциально-геометрических структур. Интенсивному изучению подвергались специальные классы почти контактных метрических структур, в частности косимплектические. Они являются своеобразным аналогом келеровых структур в почти эрмитовой геометрии. Такие структуры индуцируются, например, на вполне геодезических гиперповерхностях келеровых многообразий [1, 2]. В работах [3, 4] доказано, что на ориентируемой 1-гиперповерхности келерова многообразия индуцируется исключительно косимплектическая структура.

Одним из наиболее интересных обобщений класса косимплектических многообразий является класс почти контактных метрических многообразий в классификации Чинья и Гонзалеса [5], называемый классом C_9 . В данной работе мы продолжаем его изучение, начатое в работе [6]. Почти контактные метрические многообразия класса C_9 называются строго псевдокосимплектическими и обозначаются как SPCs-многообразия [7].

Изучение взаимосвязи между классами почти контактных метрических и почти эрмитовых структур позволяет выделить новые классы почти контактных метрических структур. Так, например, Оубинья (Oubinya J.A.) в 1981 г. в своем докладе «A classification for almost contact structures» на конференции «VIII Jornadas Luso-Espanholas de Matematica» (Коимбра, Португалия) выделил новый класс почти контактных метрических структур, которые назвал квази-К-косимплектическими. Он определил этот класс как линейное расширение квазикелеровых структур. Более того, он доказал, что если M – почти эрмитово многообразие, то многообразие $M \times R$ будет квази-К-косимплектическим тогда и только тогда, когда M является квазикелеровым. Оубинья также доказал, что этот класс структур характеризуется тождеством $\nabla_X(\Phi)Y + \nabla_{\Phi X}(\Phi)\Phi Y = \eta(Y)\nabla_{\Phi X}\xi$, $\forall X, Y \in \mathcal{X}(M)$, которое позднее возьмут за определение Чинья [8] и Капурси [9]. Капурси назвал этот класс почти контактных метрических структур квазикосимплектическими структурами.

В [7] вводятся в рассмотрение псевдокосимплектические (короче, PCs-) многообразия как квазикосимплектические, удовлетворяющие тождествам: 1) $d\eta = 0$; 2) $\Phi\nabla_{\Phi X}(\Phi)(\Phi Y) + \Phi\nabla_{\Phi Y}(\Phi)(\Phi X) = 0$,

$X, Y \in \mathcal{X}$; доказывается, что если M – приближенно келерово многообразие, то структура, индуцированная на квазикосимплектической гиперповерхности, является псевдокосимплектической.

Там же вводится определение строго псевдокосимплектических (короче, SPCs-) многообразий как квазикосимплектических, удовлетворяющих соотношениям: 1) $d\eta = 0$; 2) $\Phi\nabla_{\Phi X}(\Phi)(\Phi Y) = 0$, $X, Y \in \mathcal{X}$. Из определения легко видеть, что класс SPCs-многообразий является подклассом класса PCs-многообразий. В [7] доказано, что структура, индуцированная на квазикосимплектической гиперповерхности келерова многообразия, является строго псевдокосимплектической.

В дальнейшем изучение квазикосимплектических многообразий вышло из поля зрения геометров. В печати не появлялись работы, связанные с изучением этих многообразий и их подклассов. Данная статья посвящена изучению геометрии тензора Нейенхейса, одного из подклассов квазикосимплектических многообразий, точнее, SPCs-многообразий. Статья организована следующим образом. Дается некоторый обзор работ по данной тематике; вводится определение SPCs-многообразия и доказываются некоторые свойства; исследуются нормальные, интегрируемые SPCs-многообразия и некоторые тензоры SPCs-многообразий, связанные с тензором Нейенхейса.

Определение и свойства SPCs-многообразия

Напомним, что в [5] вводится класс почти контактных метрических структур, обозначенный как класс C_9 . Характеристическим тождеством данного класса многообразий является следующее:

$$\nabla_X(\Omega)(Y, Z) = \eta(Z)\nabla_Y(\eta)(\Phi X) - \eta(Y)\nabla_{\Phi X}(\eta)Z; \\ X, Y, Z \in \mathcal{X}(M). \quad (1)$$

Используя равенства $\nabla_X(\Omega)(Y, Z) = -\langle \nabla_X(\Phi)Y, Z \rangle, \nabla_X(\eta)Y = \langle Y, \nabla_X\xi \rangle$ и $\eta(X) = \langle \xi, X \rangle$, тождество (1) можно записать в виде

$$\nabla_X(\Phi)Y = \eta(Y)\nabla_{\Phi X}\xi - \langle \Phi X, \nabla_Y\xi \rangle\xi; X, Y \in \mathcal{X}(M). \quad (2)$$

В данной работе мы придерживаемся терминологии и обозначений, принятых в монографии [10]. В дальнейшем почти контактное метрическое многообразие класса C_9 будем обозначать как C_9 -многообразие.

Теорема 1. Интегральные кривые характеристического векторного поля ξ C_9 -структуры являются геодезическими.

Доказательство. Положим в (2) $X = \xi$. Тогда

$$\nabla_{\xi}(\Phi)Y = 0; X, Y \in \mathcal{X}(M). \quad (3)$$

В частности,

$$\nabla_{\xi}(\Phi)\xi = 0. \quad (4)$$

Дифференцируя ковариантно равенство $\Phi(\xi) = 0$, получим $\nabla_X(\Phi)\xi + \Phi \circ \nabla_X\xi = 0; X \in \mathcal{X}(M)$.

Дифференцируя ковариантно тождество

$$\Phi^2 = -I + \eta \otimes \xi, \text{ получим } \nabla_X(\Phi)FY + \Phi \circ \nabla_X(\Phi)Y = \nabla_X(\eta)(Y)\xi + \eta(Y)\nabla_X\xi.$$

В этом равенстве сделаем замену $Y = \xi$. Учитывая тождество $\nabla_X(\eta)\xi = 0$, приведём равенство к виду

$$\Phi \circ \nabla_X(\Phi)\xi = \nabla_X\xi; X \in \mathcal{X}(M). \quad (5)$$

В тождестве (5) сделаем замену $X \rightarrow \Phi X$. Тогда

$$\Phi \circ \nabla_{\Phi X}(\Phi)\xi = \nabla_{\Phi X}\xi; X \in \mathcal{X}(M). \quad (6)$$

В тождестве (2) сделаем замену $Y = \xi$. Тогда

$$\nabla_X(\Phi)\xi = \nabla_{\Phi X}\xi - \langle \Phi X, \nabla_{\xi}\xi \rangle \xi; X \in \mathcal{X}(M). \quad (7)$$

В (7) сделаем замену $X \rightarrow \xi$. Тогда с учетом (4) получим $\langle \Phi X, \nabla_{\xi}\xi \rangle \xi = 0$, т.е. $\nabla_{\xi}\xi = 0$, а значит,

$$\begin{aligned} (\mathcal{L}_{\xi}\eta)(X) &= \xi g(X, \xi) - g(\nabla_{\xi}X - \nabla_X\xi, \xi) = \\ &= g(X, \nabla_{\xi}\xi) = 0, \text{ где } \mathcal{L}_{\xi} - \text{производная Ли в направ-} \\ &\text{лении вектора } \xi, \text{ т.е. интегральные кривые вектор-} \\ &\text{ного поля } \xi \text{ являются геодезическими.} \quad \square \end{aligned}$$

Теорема 2. Для C_9 -структуры справедливы тождества:

- 1) $\nabla_{\xi}(\Phi)X = 0$; 2) $\nabla_X(\Phi)\xi = \nabla_{\Phi X}\xi$;
- 3) $\nabla_X(\Phi)\xi = \Phi \circ \nabla_{\Phi X}(\Phi)\xi$;
- 4) $\Phi \circ \nabla_{\Phi X}\xi = \nabla_X\xi$; 5) $\Phi \circ \nabla_{\Phi X}(\Phi)FY = 0$;
- 6) $\nabla_{\Phi^2 X}(\Phi)\Phi^2 Y + \nabla_{\Phi X}(\Phi)FY = 0$;
- 7) $\nabla_X(\eta)Y = \nabla_Y(\eta)X$; $X, Y \in \mathcal{X}(M)$.

Доказательство. Тождество 1) доказано выше (см. (3)). Тождество (7) с учетом равенства $\langle \Phi X, \nabla_{\xi}\xi \rangle \xi = 0$ примет вид $\nabla_X(\Phi)\xi = \nabla_{\Phi X}\xi$; $X \in \mathcal{X}(M)$, т.е. тождество 2) доказано.

Поддействуем оператором Φ на обе части тождества 2). Приходим к равенству

$$\Phi \circ \nabla_X(\Phi)\xi = \Phi \circ \nabla_{\Phi X}(\Phi)\xi; X \in \mathcal{X}(M).$$

Сравнивая его с (5), получим тождество 4), т.е. $\Phi \circ \nabla_{\Phi X}\xi = \nabla_X\xi$; $X \in \mathcal{X}(M)$. Сравнивая (6) и тождество 2), получим $\Phi \circ \nabla_{\Phi X}(\Phi)\xi = \nabla_X(\Phi)\xi$;

$X \in \mathcal{X}(M)$. Тождество 3) доказано.

Сделаем в (2) замену $X \rightarrow \Phi X, Y \rightarrow FY$. Тогда $\nabla_{\Phi X}(\Phi)FY = -\langle \Phi^2 X, \nabla_{FY}\xi \rangle \xi$; $X, Y \in \mathcal{X}(M)$. Отсюда $\Phi \circ \nabla_{\Phi X}(\Phi)FY = 0$; $X, Y \in \mathcal{X}(M)$. Тождество 5) доказано.

Для доказательства тождества 6) преобразуем его левую часть $\nabla_{\Phi^2 X}(\Phi)\Phi^2 Y + \nabla_{\Phi X}(\Phi)FY$ с учетом (2). $\nabla_{\Phi^2 X}(\Phi)\Phi^2 Y + \nabla_{\Phi X}(\Phi)FY = \eta(\Phi^2 Y)\nabla_{\Phi^3 X}\xi - \langle \Phi^3 X, \nabla_{\Phi^2 Y}\xi \rangle \xi - \eta(\Phi Y)\nabla_{\Phi^2 X}\xi + \langle \Phi^2 X, \nabla_{FY}\xi \rangle \xi = -\langle \Phi X, \nabla_Y\xi \rangle \xi - \langle X, \nabla_{FY}\xi \rangle \xi.$

Из (2) с учетом (6) имеем

$$\begin{aligned} 1) \Phi \circ \nabla_X(\Phi)Y &= \eta(Y)\Phi \circ \nabla_{\Phi X}\xi = \\ &= \eta(Y)\nabla_X\xi; 2) \nabla_X(\Phi)(FY) = -\langle \Phi X, \nabla_{FY}\xi \rangle \xi = \\ &= \langle X, \Phi \circ \nabla_{FY}\xi \rangle \xi = \langle X, \nabla_Y\xi \rangle \xi = \nabla_Y(\eta)(X)\xi; \\ &X, Y \in \mathcal{X}(M). \end{aligned} \quad (8)$$

С учетом (8) получаем $\nabla_{\Phi^2 X}(\Phi)\Phi^2 Y + \nabla_{\Phi X}(\Phi)FY = 0$. Таким образом тождество 6) доказано.

Докажем тождество 7). Продифференцировав ковариантно тождество $\Phi^2 = -id + \eta \otimes \xi$, получим

$$\nabla_X(\Phi)(FY) + \Phi \circ \nabla_X(\Phi)Y = \nabla_X(\eta)(Y)\xi + \eta(Y)\nabla_X\xi; \forall X, Y \in \mathcal{X}(M). \quad (9)$$

Подставляя (8) в (9), получим $\nabla_Y(\eta)(X)\xi + \eta(Y)\nabla_X\xi = \nabla_X(\eta)(Y)\xi + \eta(Y)\nabla_X\xi$; $\forall X, Y \in \mathcal{X}(M)$, т.е. $\nabla_Y(\eta)(X) = \nabla_X(\eta)(Y)$; $\forall X, Y \in \mathcal{X}(M)$. Доказательство теоремы завершено. $\square$

Теорема 3. Почти контактная метрическая структура класса C_9 является квазикосимплектической.

Доказательство. Пусть $S = \{\Phi, \xi, \eta, g\} - C_9$ -структура. Тогда с учетом (2) и (6) сумма

$$\begin{aligned} \nabla_X(\Phi)Y + \nabla_{\Phi X}(\Phi)FY &= \eta(Y)\nabla_{\Phi X}\xi - \\ &- \langle \Phi X, \nabla_Y\xi \rangle \xi + \langle \Phi^2 X, \nabla_{FY}\xi \rangle \xi = \eta(Y)\nabla_{\Phi X}\xi, \\ &\forall X, Y \in \mathcal{X}(M), \text{ т.е. } \nabla_X(\Phi)Y + \nabla_{\Phi X}(\Phi)FY = \\ &= \eta(Y)\nabla_{\Phi X}\xi, \forall X, Y \in \mathcal{X}(M). \end{aligned}$$

Структура $S = \{\Phi, \xi, \eta, g\}$ является квазикосимплектической.

Более того, из тождеств 5) и 7) теоремы 2 следует, что C_9 -структура является SPCs-структурой, введенной в рассмотрение Р.Р. Валеевым в [7]. Поэтому в дальнейшем почти контактные метрические многообразия класса C_9 будем обозначать как SPCs-многообразия.

Тензор Нейенхейса SPCs-многообразия

Тензором (или оператором) Нейенхейса эндоморфизма Φ называется тензор типа (1,2), определенный формулой из [10]:

$$\begin{aligned} N(X, Y) &= \Phi^2[X, Y] + [\Phi X, FY] - \Phi[\Phi X, Y] - \\ &- \Phi[X, FY], X, Y \in \mathcal{X}(M). \end{aligned}$$

Его обращение в нуль равносильно интегрируемости почти контактной метрической структуры [5, 10]. Прямой подсчет с учетом тождества $[X, Y] = \nabla_X Y - \nabla_Y X$ показывает, что $N(X, Y) = \frac{1}{4}\{\nabla_{\Phi X}(\Phi)Y - \Phi \nabla_X(\Phi)Y - \nabla_{FY}(\Phi)X + \Phi \nabla_Y(\Phi)X\}.$

С учетом полученных выше тождеств легко показать, что тензор Нейенхейса эндоморфизма Φ SPCs-структуры можно записать в виде

$$N(X, Y) = \frac{1}{2}\{\eta(X)\nabla_Y\xi - \eta(Y)\nabla_X\xi\}; \forall X, Y \in \mathcal{X}(M). \quad (10)$$

Теорема 4. SPCs-структура интегрируема тогда и только тогда, когда $\mathcal{F}(X) = \nabla_X\xi = 0$.

Доказательство. Из тождества (10) непосредственно следует, что $N(X, Y) = 0 \Leftrightarrow \nabla_X \xi = 0$, т.е. $N(X, Y) = 0 \Leftrightarrow \mathcal{F}(X) = \nabla_X \xi = 0$. $\square$

Этот же результат можно получить следующим образом. На пространстве присоединенной G -структуры компоненты тензора N эндоморфизма Φ $SPCs$ -структуры определяются тождествами:

$$\begin{aligned} 1) N_{\hat{b}0}^a &= -N_{0\hat{b}}^a = \frac{1}{2}F^{ab}; \\ 2) N_{b0}^{\hat{a}} &= -N_{0b}^{\hat{a}} = \frac{1}{2}F_{ab}. \end{aligned} \quad (11)$$

Остальные компоненты тензора Нейенхейса тождественно равны нулю.

Теорема 5. $SPCs$ -структура интегрируема тогда и только тогда, когда на пространстве присоединенной G -структуры $F_{ab} = F^{ab} = 0$.

Доказательство. Из (11) следует, что $SPCs$ -структура интегрируема тогда и только тогда, когда $N_{\hat{b}0}^a = -N_{0\hat{b}}^a = N_{b0}^{\hat{a}} = -N_{0b}^{\hat{a}} = N_{\hat{b}c}^a = N_{bc}^{\hat{a}} = 0$, т.е. $F_{ab} = F^{ab} = 0$. $\square$

Почти контактная метрическая структура называется нормальной, если $N + 2d\eta \otimes \xi = 0$. Понятие нормальности было введено Сасаки и Хатакемой в 1961 г. [11] и является одним из наиболее фундаментальных понятий почти контактной геометрии, тесно связанных с интегрируемостью структуры.

Напомним, что полная группа структурных уравнений $SPCs$ -многообразий на пространстве присоединенной G -структуры имеет вид [6]:

$$\begin{aligned} 1) d\omega &= 0; 2) d\omega^a = -\theta_b^a \wedge \omega^b + F^{ab} \omega_b \wedge \omega; \\ 3) d\omega_a &= \theta_b^a \wedge \omega_b + F_{ab} \omega^b \wedge \omega; \\ 4) d\theta_b^a + \theta_c^a \wedge \theta_b^c &= A_{bc}^{ad} \omega^c \wedge \omega_d - F_{bc}^a \omega^c \wedge \omega + \\ &+ F_{bc}^a \omega_c \wedge \omega; \\ 5) dF^{ab} + F^{cb} \theta_c^a + F^{ac} \theta_c^b &= F^{abc} \omega_c + F^{ab} \omega^c \wedge \omega + \\ &+ F^{ab0} \omega; \\ 6) dF_{ab} - F_{cb} \theta_a^c - F_{ac} \theta_b^c &= F_{abc} \omega^c + F_{ab}^c \omega_c + \\ &+ F_{ab0} \omega, \end{aligned} \quad (12)$$

где $F^{ab} = \sqrt{-1}\Phi_{a,\hat{b}}^0$, $F_{ab} = -\sqrt{-1}\Phi_{a,b}^0$,

$F^{[ab]} = F_{[ab]} = 0$, $\overline{F^{ab}} = F_{ab}$,

$A_{[bc]}^{ad} = A_{bc}^{[ad]} = 0$; $F^{a[bc]} = F_{a[bc]} = 0$.

Как следствие из полной группы структурных уравнений вытекает

Предложение 1 [6]. $SPCs$ -многообразие является косимплектическим тогда и только тогда, когда на пространстве присоединенной G -структуры $F^{ab} = F_{ab} = 0$.

Пусть M – $SPCs$ -многообразие. Учитывая, что $\omega = \pi^*(\eta)$, π – естественная проекция пространства присоединенной G -структуры на многообразие M , согласно (12:1) получаем, что $d\omega = d\eta = 0$, а значит, $d\eta \otimes \xi = 0$.

Следовательно, $SPCs$ -структура является нормальной тогда и только тогда, когда $N = 0$.

С учетом этих соотношений и (12) получим, что на пространстве присоединенной G -структуры тензор $N^{(1)}(X, Y) = N(X, Y) + 2d\eta(X, Y)\xi = N(X, Y)$ имеет следующие компоненты:

$$\begin{aligned} 1) (N^{(1)})_{0\hat{b}}^a &= -(N^{(1)})_{\hat{b}0}^a = -\frac{1}{2}F^{ab}; \\ 2) (N^{(1)})_{ob}^{\hat{a}} &= -(N^{(1)})_{b0}^{\hat{a}} = -\frac{1}{2}F_{ab}. \end{aligned} \quad \text{Остальные}$$

компоненты равны нулю.

Из последних соотношений следует, что условие нормальности равносильно соотношениям $F^{ab} = F_{ab} = 0$.

Таким образом, $SPCs$ -структура нормальна тогда и только тогда, когда $F^{ab} = F_{ab} = 0$, т.е. доказана

Теорема 6. Пусть $S = (\Phi, \xi, \eta, g)$ – $SPCs$ -структура. Тогда следующие утверждения эквивалентны:

- 1) $S = (\Phi, \xi, \eta, g)$ интегрируема;
- 2) $S = (\Phi, \xi, \eta, g)$ нормальна;
- 3) $S = (\Phi, \xi, \eta, g)$ является косимплектической структурой.

Согласно полученной теореме, косимплектическую структуру можно определить как нормальную $SPCs$ -структуру.

Известно [1, 11], что задание тензора Нейенхейса равносильно заданию четырёх тензоров $N^{(1)}, N^{(2)}, N^{(3)}, N^{(4)}$, а именно:

$$\begin{aligned} N^{(1)}(X, Y) &= N(X, Y) + 2d\eta(X, Y)\xi; \quad N^{(2)}(X, Y) = \\ &= (\mathcal{L}_{\Phi X} \eta)(Y) - (\mathcal{L}_{\Phi Y} \eta)(X); \\ N^{(3)}(X) &= (\mathcal{L}_{\xi} \Phi)(X); \quad N^{(4)}(X) = (\mathcal{L}_{\xi} \eta)(X); \end{aligned}$$

$X, Y \in \mathcal{X}(M)$. Рассмотрим геометрический смысл обращения в нуль этих тензоров.

В работе [12] подсчитаны компоненты этих тензоров на пространстве присоединенной G -структуры. Компоненты тензора $N^{(1)}(X, Y)$ $SPCs$ -многообразия вычислены выше.

Теорема 7. На $SPCs$ -многообразии $N^{(2)}(X, Y) = 0$.

Доказательство. Тензор $N^{(2)}(X, Y) = (\mathcal{L}_{\Phi X} \eta)(Y) - (\mathcal{L}_{\Phi Y} \eta)(X) = \nabla_{\Phi X}(\eta)Y + \eta\{\nabla_Y(\Phi)X\} - \nabla_{\Phi Y}(\eta)X - \eta\{\nabla_X(\Phi)Y\} = \langle Y, \nabla_{\Phi X} \xi \rangle + \langle X, \Phi \nabla_Y \xi \rangle - \langle X, \nabla_{\Phi Y} \xi \rangle - \langle Y, \Phi \nabla_X \xi \rangle$, где $\mathcal{L}_X$ – производная Ли в направлении векторного поля X . Поскольку для $SPCs$ -структуры имеют место тождества $\nabla_{\Phi X} \xi = \Phi \nabla_X \xi$; $\eta\{\nabla_X(\Phi)Y\} = \langle X, \Phi \nabla_Y \xi \rangle$, то $N^{(2)}(X, Y) = \langle Y, \nabla_{\Phi X} \xi - \Phi \nabla_X \xi \rangle + \langle X, \Phi \nabla_Y \xi - \nabla_{\Phi Y} \xi \rangle = 0$.

Теорема 8. На $SPCs$ -многообразии $N^{(3)}(X) = 0$ тогда и только тогда, когда $\mathcal{F}(X) = 0$, т.е. когда многообразие является косимплектическим.

Доказательство. Тензор $N^{(3)}(X) = (\mathcal{L}_{\xi} \Phi)(X)$,

$$\begin{aligned} \forall X \in \mathcal{X}(M) \text{ можно записать в виде } N^{(3)}(X) &= \\ &= \mathcal{L}_{\xi}(\Phi)(X) = \mathcal{L}_{\xi}(\Phi X) - \Phi \mathcal{L}_{\xi} X = [\xi, \Phi X] - \\ &- \Phi[\xi, X] = \nabla_{\xi}(\Phi X) - \nabla_{\Phi X} \xi - \Phi(\nabla_{\xi} X - \nabla_X \xi) = \\ &= \nabla_{\xi}(\Phi)X + \Phi \nabla_{\xi} X - \nabla_{\Phi X} \xi - \Phi \nabla_{\xi} X + \Phi \nabla_X \xi. \end{aligned}$$

Поскольку на $SPCs$ -многообразии $\nabla_{\xi}(\Phi)X = 0$, то $N^{(3)}(X) = -\nabla_{\Phi X}\xi + \Phi\nabla_X\xi = 2\Phi\nabla_X\xi = 2\Phi \circ \mathcal{F}(X)$, $\forall X \in \mathcal{X}(M)$. Поэтому $N^{(3)}(X) = 0 \Leftrightarrow \mathcal{F}(X) = 0$. $\square$

Теорема 9. На $SPCs$ -многообразии $N^{(4)}(X) = 0$.
Доказательство. Поскольку на $SPCs$ -многообразии $\nabla_{\xi}(\eta)X = 0$ и $\eta(\nabla_X\xi) = 0$, то для тензора $N^{(4)}(X) = (\mathcal{L}_{\xi}\eta)(X)$; $\forall X \in \mathcal{X}(M)$ справедливо равенство $N^{(4)}(X) = \nabla_{\xi}(\eta)X + \eta(\nabla_X\xi) = 0$, $\forall X \in \mathcal{X}(M)$. $\square$

Заметим, что теоремы 7–9 можно доказать так же, как и теорему 4, методом присоединенной G -структуры.

Литература

1. Blair D.E. Contact manifolds in Riemannian geometry // *Lect. Notes Math.* 1976. Vol. 509. 146 p.
2. Goldberg S., Yano K. Integrability of almost cosymplectic structures // *Pacific J. Math.* 1969. Vol. 31, № 2. P. 373–382.
3. Банару М.Б. О почти контактных метрических 1-гиперповерхностях келеровых многообразий // *Сиб. мат. журн.* 2014. Т. 55, № 4. С. 719–723.
4. Банару М.Б. Почти контактные метрические гиперповерхности с типовым числом 1 или 0 в приближенно келеровых многообразиях // *Вестн. Московского ун-та. Сер. 1: Математика. Механика.* 2014. № 3. С. 60–62.
5. Chinea D., Gonzalez C. Classification of almost contact metric structures // *Annali di Matematica pura ed applicata (IV)*. 1990. Vol. CLVI. P. 15–36.
6. Рустанов А.Р., Юдин А.И., Мелехина Т.Л. Геометрия строго псевдокосимплектических многообразий // *Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки.* 2019. № 1. С. 33–40.
7. Валеев Р.Р. Геометрия квазикосимплектических многообразий : дис. ... канд. физ.-мат. наук. М.: МПГУ, 2004. 79 с.
8. Chinea D. Quasi-K-cosymplectic submersions // *Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo. Serie II.* 1984. Т. XXXIII. P. 319–330.
9. Capursi M. Quasi cosymplectic manifolds // *Rev. Roumane Math. Pures Appl.* 1987. Vol. 32, № 1. P. 27–35.
10. Кириченко В.Ф. Дифференциально-геометрические структуры на многообразиях. Изд. 2-е. Одесса: Печатный дом, 2013. 458 с.
11. Sasaki S., Hatakeyama J. On differentiable manifolds with certain structures which are closely related to almost contact structure II // *Tohoku Math. J.* 1961. Vol. 13, № 2. P. 281–294.

12. Рустанов А.Р. Свойства интегрируемости NC_{10} -многообразий // *Мат. физика и компьютерное моделирование.* 2017. Т. 20. № 5. С. 32–38. URL: <https://doi.org/10.15688/mpcm.jvolsu.2017.5> (дата обращения 11.05.2018).

References

1. Blair D.E. Contact manifolds in Riemannian geometry. *Lect. Notes Math.* 1976, vol. 509, p. 146.
2. Goldberg S., Yano K. Integrability of almost cosymplectic structures. *Pacific J. Math.* 1969, vol. 31, No. 2, pp. 373–382.
3. Banaru M.B. O pochtii kontaktnykh metricheskikh 1-giperpoverkhnostyakh kelerovykh mnogoobrazii [On almost contact metric 1-hypersurfaces of Kahler manifolds]. *Sib. mat. zhurn.* 2014, vol. 55, No. 4, pp. 719–723.
4. Banaru M.B. Pochtii kontaktnye metricheskie giperpoverkhnosti s tipovym chislom 1 ili 0 v priblizhenno kelerovykh mnogoobraziiakh [Almost contact metric hypersurfaces with type number 1 or 0 in approximately Kahler manifolds]. *Vestn. Moskovskogo un-ta. Ser. 1: Matematika. Mekhanika.* 2014, No. 3, pp. 60–62.
5. Chinea D., Gonzalez C. Classification of almost contact metric structures. *Annali di Matematica pura ed applicata (IV)*. 1990, vol. CLVI, pp. 15–36.
6. Rustanov A.R., Yudin A.I., Melekhina T.L. Geometriya strogo psevdokosimplekticheskikh mnogoobrazii [Geometry of strictly pseudo-cosymplectic manifolds]. *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestv. nauki.* 2019, No. 1, pp. 33–40.
7. Valeev R.R. *Geometriya kvazikosimplekticheskikh mnogoobrazii* : dis. ... kand. fiz.-mat. nauk [Geometry of quasicosymplectic manifolds]. Moscow: MPGU, 2004, 79 p.
8. Chinea D. Quasi-K-cosymplectic submersions. *Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo. Serie II.* 1984, vol. XXXIII, pp. 319–330.
9. Capursi M. Quasi-cosymplectic manifolds. *Rev. Roumane Math. Pures Appl.* 1987, vol. 32, No. 1, pp. 27–35.
10. Kirichenko V.F. *Differentsial'no-geometricheskie struktury na mnogoobraziiakh* [Differential-geometric structures on manifolds]. 2nd edition, suppl. Odessa: Pechatnyi dom, 2013, 458 p.
11. Sasaki S., Hatakeyama J. On differentiable manifolds with certain structures which are closely related to almost contact structure II. *Tohoku Math. J.* 1961, vol. 13, No. 2, pp. 281–294.
12. Rustanov A.R. Svoistva integriruemosti NC_{10} -mногоobrazii [Integrability properties of NC_{10} -manifolds]. *Mat. fizika i komp'yuternoe modelirovanie.* 2017, vol. 20, No. 5, pp. 32–38. Available at: <https://doi.org/10.15688/mpcm.jvolsu.2017.5>.

УДК 514.752

DOI 10.23683/0321-3005-2019-2-20-25

ПОВЕРХНОСТИ БЕЗ КРУЧЕНИЯ В МНОГОМЕРНОМ ЕВКЛИДОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

© 2019 г. В.Г. Шармин¹, Д.В. Шармин¹

¹Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

SURFACES WITHOUT TORSION IN A MULTIDIMENSIONAL EUCLIDEAN SPACE

V.G. Sharmin¹, D.V. Sharmin¹

¹Tyumen State University, Tyumen, Russia

Шармин Валентин Геннадьевич – кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра алгебры и математической логики, Институт математики и компьютерных наук, Тюменский государственный университет, ул. Володарского, 6, г. Тюмень, 625003, Россия, e-mail: v.g.sharmin@utmn.ru

Valentin G. Sharmin - Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, Department of Algebra and Mathematical Logic, Institute of Mathematics and Computer Science, Tyumen State University, Volodarskogo St., 6, Tyumen, 625003, Russia, e-mail: v.g.sharmin@utmn.ru.

Шармин Дмитрий Валентинович – кандидат педагогических наук, доцент, кафедра алгебры и математической логики, Институт математики и компьютерных наук, Тюменский государственный университет, ул. Володарского, 6, г. Тюмень, 625003, Россия, e-mail: d.v.sharmin@utmn.ru.

Dmitrii V. Sharmin - Candidate of Pedagogics, Associate Professor, Department of Algebra and Mathematical Logic, Institute of Mathematics and Computer Science, Tyumen State University, Volodarskogo St., 6, Tyumen, 625003, Russia, e-mail: d.v.sharmin@utmn.ru

Для поверхностей в многомерных пространствах вводятся коэффициенты кручения, определенные с помощью гладких полей нормалей. Среди всех базисов нормального пространства поверхности выделяются канонические. Целью работы является изучение свойств поверхностей, у которых в каноническом базисе подпространства, ортогонального касательной плоскости, все коэффициенты кручения (или их часть) равны нулю.

В статье используются методы классической дифференциальной геометрии и методы, разработанные А.И. Фирсовым для исследования поверхностей, имеющих коразмерность, большую единицы, а также теорема о единственности решения задачи Коши для системы эллиптических уравнений.

Для рассматриваемых поверхностей доказаны необходимые условия их принадлежности некоторой k -плоскости. Установлено, что аксиальные точки таких поверхностей являются изолированными. Для исследуемых поверхностей построены ассоциированные и показана их связь с поверхностями класса Бонне.

Ключевые слова: евклидово пространство, двумерная поверхность, коэффициенты кручения поверхности, ассоциированная поверхность, поверхности класса Бонне.

For surfaces in multidimensional spaces, torsion coefficients are introduced, which are determined using smooth normal fields. Among all the bases of the normal space of surface are allocated bases, which are called canonical. The aim of the paper is to study the properties of surfaces in which, in the canonical basis of a subspace orthogonal to the tangent plane, some of the torsion coefficients or all the torsion coefficients are zero.

The article uses the methods of classical differential geometry and the methods by A.I. Firsov for the study of surfaces having codimension greater than one, as well as theorem about uniqueness of the solution of the Cauchy problem for the system of elliptic equations.

For the considered surfaces the necessary conditions of their belonging to a certain k -plane are proved. It is established that the axial points of such surfaces are isolated. Also for such surfaces associated surfaces are constructed and their relationship with Bonnet class surfaces is shown.

Keywords: Euclidean space, two-dimensional surface, surface torsion coefficients, associated surface, Bonnet class surfaces.

Введение

Известно, что равенство нулю кручения кривой трехмерного пространства является необходимым и достаточным условием того, что кривая лежит в пространстве меньшей размерности.

Решению аналогичной задачи для поверхностей четырехмерного евклидова пространства посвящен ряд работ по дифференциальной геометрии поверхностей.

В работе Ю.А. Аминова [1] введено понятие кручения поверхности в E^4 с помощью эллипса нормальной кривизны. Доказано, что если поверхность лежит в некоторой гиперплоскости, то ее кручение равно нулю. Обратное утверждение верно только при условии неравенства нулю гауссовой кривизны поверхности.

В.Т. Фоменко [2] рассмотрел класс поверхностей в E^4 , имеющих нулевое нормальное кручение. Равенство нулю нормального кручения является необходимым, но не достаточным признаком того, что поверхность лежит в некоторой гиперплоскости. Кроме того, получена формула, выражающая нормальное кручение через коэффициенты первой и вторых квадратичных форм поверхности и коэффициенты кручения нормальных полей.

В [3] понятие нормального кручения перенесено в четырехмерное пространство постоянной кривизны. Проведена классификация поверхностей с нулевым нормальным кручением.

В [4] изучены поверхности F^2 в E^4 , имеющие постоянное гауссово кручение $\chi \equiv \text{const} \neq 0$.

В [5] выделяется класс поверхностей без кручения в канонических нормалях и устанавливается связь между ним и классом поверхностей Бонне в E^3 .

В настоящей статье рассматриваются поверхности F^2 в E^{n+2} без кручения или поверхности, оснащенные каноническими нормалями, у которых некоторые коэффициенты кручения равны нулю. Доказаны необходимые условия принадлежности поверхности некоторой k -плоскости ($k < n+2$). Изучен вопрос о строении множества аксиальных точек поверхностей без кручения в E^{n+2} .

Основные определения и формулы

Двумерная регулярная поверхность в E^{n+2} задается вектор-функцией

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(u_1, u_2) \in C^2. \quad (1)$$

Пусть $ds^2 = \sum_{i,j=1}^2 (\mathbf{r}_{u_i}, \mathbf{r}_{u_j}) du_i du_j = \sum_{i,j=1}^2 g_{ij} du_i du_j$ и

$$\varphi_k = (\mathbf{r}_{ij}, \mathbf{m}_k) du_i du_j = b_{ij,k} du_i du_j, \quad 1 \leq i, j \leq 2, \quad 1 \leq k \leq n -$$

первая и вторые квадратичные формы поверхности соответственно; $\mathbf{m}_1, \mathbf{m}_2, \dots, \mathbf{m}_n$ — гладкие векторные поля, образующие ортонормированный базис нормальной n -плоскости рассматриваемой поверхности (1) в каждой ее точке.

Определение 1. Величины $\alpha_{ij}^k = (\mathbf{m}_i)_{u_j} \cdot \mathbf{m}_k$ называются коэффициентами кручения поверхности (1) для ортонормированного базиса $\mathbf{m}_1, \mathbf{m}_2, \dots, \mathbf{m}_n$.

Очевидно, что матрицы коэффициентов кручения $((\alpha_{ij}^k))$, $j=1,2$ являются кососимметричными по индексам i и k , при этом $\alpha_{ij}^i = (\mathbf{m}_i)_{u_j} \cdot \mathbf{m}_i \equiv 0$.

Определение 2. Базис нормальной плоскости $\mathbf{m}_1, \mathbf{m}_2, \dots, \mathbf{m}_n$, в котором коэффициенты кручения тождественно равны нулю, называется системой нормалей без кручения [5].

В работе [5] А.И. Фирсовым получены необходимые и достаточные условия каноничности базиса нормальной плоскости:

$$b_{11,i} b_{22,j} - 2b_{12,i} b_{12,j} + b_{22,i} b_{11,j} = 0, \quad i \neq j, \quad i, j=1, \dots, n. \quad (2)$$

Определение 3. Поверхность, у которой система нормалей без кручения является канонической, называется поверхностью без кручения [5].

Определение 4. Точка на поверхности F^2 называется аксиальной, если размерность линейной оболочки векторов $\mathbf{b}_i = (b_{11,i}, b_{12,i}, b_{22,i})$, $i=1, \dots, n$ равна единице [6].

Выпишем для поверхности F^2 систему основных уравнений.

Уравнение Гаусса $\sum_{i=1}^n (l_i n_i - m_i^2) = K$, где K — гауссова кривизна поверхности F^2 .

Из уравнений Петерсона — Кодаци, приведенных в [5] в векторной форме, найдем коэффициенты при векторах $\mathbf{m}_1, \mathbf{m}_2, \dots, \mathbf{m}_n$ левых и правых частей:

$$\begin{aligned} l_{i_{u_2}} - m_{i_{u_1}} &= -\Gamma_{22}^2 l_i + 2\Gamma_{12}^2 m_i - \Gamma_{11}^2 n_i + \\ &+ l_1 \alpha_{12}^i + \dots + l_{i-1} \alpha_{(i-1)2}^i + l_{i+1} \alpha_{(i+1)2}^i + \dots + \\ &+ l_n \alpha_{n2}^i - m_1 \alpha_{11}^i - \dots - m_{i-1} \alpha_{(i-1)1}^i - m_{i+1} \alpha_{(i+1)1}^i - \dots - m_n \alpha_{n1}^i, \\ n_{i_{u_1}} - m_{i_{u_2}} &= -\Gamma_{22}^1 l_i + 2\Gamma_{12}^1 m_i - \Gamma_{11}^1 n_i + \\ &+ n_1 \alpha_{11}^i + \dots + n_{i-1} \alpha_{(i-1)1}^i + n_{i+1} \alpha_{(i+1)1}^i + \\ &+ \dots + n_n \alpha_{n1}^i - m_1 \alpha_{12}^i - \dots - m_{i-1} \alpha_{(i-1)2}^i - \\ &- m_{i+1} \alpha_{(i+1)2}^i - \dots - m_n \alpha_{n2}^i, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{где } l_i = \frac{b_{11,i}}{\sqrt{g_{11}g_{22} - g_{12}^2}}, \quad m_i = \frac{b_{12,i}}{\sqrt{g_{11}g_{22} - g_{12}^2}},$$

$$n_i = \frac{b_{22,i}}{\sqrt{g_{11}g_{22} - g_{12}^2}}, \quad i = 1, \dots, n.$$

Число уравнений Риччи равно $\frac{n(n-1)}{2}$. Они имеют вид

$$(\alpha_{i1}^k)_{u_2} - (\alpha_{i2}^k)_{u_1} = \begin{vmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{22} \\ l_i & m_i & n_i \\ l_k & m_k & n_k \end{vmatrix} + \sum_{\nu=1}^n \begin{vmatrix} \alpha_{i1}^\nu & \alpha_{k1}^\nu \\ \alpha_{i2}^\nu & \alpha_{k2}^\nu \end{vmatrix},$$

где $1 \leq i, k \leq n, i < k$.

Условия принадлежности поверхности k -плоскости

Теорема 1. Если поверхность $F^2 \subset E^{n+2}$ принадлежит некоторой k -плоскости $E^k \subset E^{n+2}$, $k < n+2$, то существует такая система векторных полей $\mathbf{m}_1, \mathbf{m}_2, \dots, \mathbf{m}_n$, в которой количество нулевых коэффициентов кручения равно $(n+k-3)(n-k+2)+n$.

Доказательство теоремы следует из определения коэффициентов кручения и того факта, что для поверхности, удовлетворяющей условиям теоремы, всегда можно найти такие векторные поля $\mathbf{m}_1, \mathbf{m}_2, \dots, \mathbf{m}_n$, среди которых $n-k+2$ постоянны.

Теорема 2. Если для поверхности $F^2 \subset E^{n+2}$ без кручения одна из вторых квадратичных форм является эллиптической, коэффициенты Кристоффеля $\Gamma_{\alpha\beta}^\gamma$ ограничены в области определения параметров, и при этом не существует k -плоскости $E^k \subset E^{n+2}$, $k < n+2$, в которой лежала бы данная поверхность, то аксиальные точки на этой поверхности являются изолированными.

Доказательство. Положим для определенности, что функция φ_1 является эллиптической. Тогда найдется некоторая параметризация поверхности, для которой $l_1 = n_1 \neq 0$, $m_1 = 0$. Очевидно, что при переходе к другой параметризации тождества $\alpha_{ij}^h \equiv 0$ сохраняются. Из равенства (2) следует, что $l_i = -n_i$ для всех вторых квадратичных форм φ_i , $i \neq 1$. Выпишем систему основных уравнений, определяющих поверхность:

$$\begin{cases} l_1^2 + \sum_{i=2}^n (l_i n_i - m_i^2) = K \\ l_{1u_2} = -(\Gamma_{22}^2 + \Gamma_{11}^2)l_1 \\ l_{1u_1} = -(\Gamma_{22}^1 + \Gamma_{11}^1)l_1 \\ l_{i_{u_2}} - m_{i_{u_1}} = (\Gamma_{11}^2 - \Gamma_{22}^2)l_i + 2\Gamma_{12}^2 m_i, \\ l_{i_{u_1}} + m_{i_{u_2}} = (\Gamma_{22}^1 - \Gamma_{11}^1)l_i + 2\Gamma_{12}^1 m_i \\ \begin{vmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{22} \\ l_\alpha & m_\alpha & n_\alpha \\ l_\beta & m_\beta & n_\beta \end{vmatrix} = 0, \end{cases} \quad (4)$$

где $2 \leq i \leq n, 1 \leq \alpha, \beta \leq n, \alpha < \beta$.

Рассмотрим часть уравнений системы (4):

$$\begin{cases} l_{i_{u_2}} - m_{i_{u_1}} = (\Gamma_{11}^2 - \Gamma_{22}^2)l_i + 2\Gamma_{12}^2 m_i \\ l_{i_{u_1}} + m_{i_{u_2}} = (\Gamma_{22}^1 - \Gamma_{11}^1)l_i + 2\Gamma_{12}^1 m_i \end{cases} \quad (5)$$

Пусть точка $A \in F^2$ – аксиальная. В силу того, что F^2 является поверхностью без кручения, для всех φ_i , $i \neq 1$ в точке $A \in F^2$ $l_i = m_i = n_i = 0$. Если бы точка A не была изолированной, то существовала бы содержащая эту точку кривая, все точки которой являлись бы аксиальными.

Нас интересуют такие решения последней системы, для которых в аксиальных точках $l_i = m_i = 0$. По условию теоремы коэффициенты Кристоффеля $\Gamma_{\alpha\beta}^\gamma$ ограничены в области определения параметров. Будем считать, что функции $l_i, m_i \in C^1$. Итак, к уравнениям системы (5) применима теорема Карлемана [7], согласно которой $l_i \equiv m_i \equiv 0$ в области изменения параметров (u_1, u_2) , но это невозможно, поскольку тогда существовала бы некоторая k -плоскость, где $k < n+2$, которой принадлежала бы поверхность F^2 .

Следствие 1. Если поверхность $F^2 \subset E^{n+2}$ без кручения состоит из аксиальных точек и определитель хотя бы одной из ее вторых квадратичных форм отличен от нуля, то найдется 3-плоскость E^3 такая, что $F^2 \subset E^3$.

Следствие 2. Если сколь угодно малая область поверхности $F^2 \subset E^{n+2}$ без кручения, у которой хотя бы одна из вторых квадратичных форм является эллиптической, принадлежит некоторой 3-плоскости E^3 , то и вся поверхность принадлежит этой 3-плоскости.

Теорему 2 можно обобщить.

Теорема 3. Пусть поверхность F^2 удовлетворяет следующим условиям:

1) система нормалей $\mathbf{m}_1, \mathbf{m}_2, \dots, \mathbf{m}_n$ является канонической;

2) элементы некоторых строк матриц коэффициентов кручения $((\alpha_{ij}^k))$, $j=1,2$ обращаются в нуль (для определенности $\alpha_{ij}^k = 0$, $1 \leq i \leq s$, $1 < s \leq n$);

3) существует хотя бы одна вторая квадратичная форма поверхности, являющаяся эллиптической (для определенности φ_1);

4) в области изменения параметров (u_1, u_2) коэффициенты Кристоффеля $\Gamma_{\alpha\beta}^\gamma$ являются ограниченными.

Тогда точки, в которых размерность линейной оболочки векторов $\mathbf{b}_i = (b_{11,i}, b_{12,i}, b_{22,i})$, $i=1, \dots, s$, $1 < s \leq n$ равна единице, являются изолированными.

Доказательство не отличается от доказательства теоремы 2.

Следствие 3. Поверхность F^2 , удовлетворяющая условиям теоремы 3 и состоящая из точек, в которых размерность линейной оболочки векторов $\mathbf{b}_i = (b_{11,i}, b_{12,i}, b_{22,i})$, $i=1, \dots, s$, $s \leq n$ равна единице, принадлежит $(n+3-s)$ -плоскости.

Ассоциированные поверхности

Пусть F^2 – поверхность без кручения. Построим квадратичные формы $\varphi^1 = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n$,

$$\varphi^i = \varphi_1 + \dots + \varphi_{i-1} - \varphi_i + \varphi_{i+1} + \dots + \varphi_n, \quad 2 \leq i \leq n.$$

Теорема 4. Существуют поверхности $\Phi_1^2, \Phi_2^2, \dots, \Phi_k^2$, $2 \leq k \leq n$ трехмерного евклидова пространства E^3 , изометричные поверхности F^2 , вторые квадратичные формы которых равны соответственно $\varphi^1 = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n$,

$$\varphi^i = \varphi_1 + \dots + \varphi_{i-1} - \varphi_i + \varphi_{i+1} + \dots + \varphi_n, \quad 2 \leq i \leq n.$$

Доказательство. Вычислим

$$\begin{aligned} L^{(2)}N^{(2)} - (M^{(2)})^2 &= \\ &= (l_1 - l_2 + l_3 + \dots + l_n)(n_1 - n_2 + n_3 + \dots + n_n) - \\ &- (m_1 - m_2 + m_3 + \dots + m_n)^2 = \\ &= \sum_{i=1}^n (l_i n_i - m_i^2) + \sum_{i,j=1, i \neq j, i,j \leq 2}^n (l_i n_j - 2m_i m_j + l_j n_i) - \\ &- \sum_{i=1, i \neq 2}^n (l_2 n_i - 2m_i m_2 + l_i n_2) = \sum_{i=1}^n (l_i n_i - m_i^2) = K. \end{aligned}$$

Итак, гауссовы кривизны поверхностей F^2 и Φ_2^2 равны. Из равенств (3) следует, что для квадратичной формы φ^2 выполнены уравнения Петерсона – Кодацци. Таким образом, поверхность Φ_2^2 , лежащая в 3-плоскости и изометричная поверхности F^2 , существует.

Определение 5. Если первые квадратичные формы поверхностей $\Phi_1^2, \Phi_2^2, \dots, \Phi_n^2$ трехмерного евклидова пространства и поверхности F^2 совпадают, а вторые квадратичные формы равны соответственно $\varphi^1 = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n$, $\varphi^i = \varphi_1 + \dots + \varphi_{i-1} - \varphi_i + \varphi_{i+1} + \dots + \varphi_n$, $2 \leq i \leq n$, то поверхности $\Phi_1^2, \Phi_2^2, \dots, \Phi_n^2$ будем называть ассоциированными с поверхностью F^2 .

Определение 6. Говорят, что поверхности Φ_1^2 и Φ_2^2 трехмерного евклидова пространства образуют пару Бонне, если существует изометрия одной поверхности на другую такая, что линии кривизны переходят в линии кривизны [5].

Теорема 5. Если ассоциированные с F^2 поверхности $\Phi_1^2, \Phi_2^2, \dots, \Phi_k^2$, $2 \leq k \leq n$ равны между собой, то F^2 принадлежит $(n+3-k)$ -плоскости. При этом, если $k=n-1$ и одна из вторых квадратичных форм является эллиптической (для определенности φ_n), то либо для поверхности F^2 существует 3-плоскость, ее содержащая, либо неравные между собой поверхности образуют пару Бонне.

Доказательство. Для определенности положим, что $\Phi_1^2 = \Phi_2^2 = \Phi_3^2$. Тогда $l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n = l_1 - l_2 + l_3 + \dots + l_n = l_1 + l_2 - l_3 + \dots + l_n$ и т.д. Легко видеть, что $l_i \equiv m_i \equiv n_i \equiv 0$, $2 \leq i \leq 3$. Это означает принадлежность поверхности F^2 некоторой n -плоскости. В общем случае теорема доказывается аналогично.

Приведем квадратичные формы φ_1 и φ_n к такому виду, что $m_1 \equiv m_n \equiv 0$.

Пусть $\Phi_1^2 = \dots = \Phi_{n-1}^2$. Тогда $l_i \equiv m_i \equiv n_i \equiv 0$, $2 \leq i \leq n-1$. В результате получим

$$\varphi^1 = \dots = \varphi^{n-1} = \quad (6)$$

$$= \sqrt{g_{11}g_{22} - g_{12}^2} ((l_1 + l_n)(du^1)^2 + (n_1 + n_n)(du^1)^2),$$

$$\varphi^n = \sqrt{g_{11}g_{22} - g_{12}^2} ((l_1 - l_n)(du^1)^2 + (n_1 - n_n)(du^1)^2).$$

Одно из уравнений Риччи имеет вид

$$\begin{vmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{22} \\ l_1 & 0 & n_1 \\ l_n & 0 & n_n \end{vmatrix} = 0 \text{ или } g_{12}(l_1 n_n - l_n n_1) = 0. \quad (7)$$

Рассмотрим два случая:

1. $l_1 n_n - l_n n_1 \equiv 0$. Так как система нормалей на поверхности F^2 каноническая, то $l_1 n_n \equiv l_n n_1 \equiv 0$. С учетом того, что форма φ_n эллиптическая, получаем $l_1 \equiv n_1 \equiv 0$. Утверждение доказано.

2. Пусть в некоторой точке $l_1 n_n - l_n n_1 \neq 0$. Тогда существует окрестность этой точки, в которой $l_1 n_n - l_n n_1 \neq 0$. Из (6) и (7) получаем, что Φ_1^2 и Φ_n^2 образуют пару Бонне.

Рассмотрим квадратичные формы $\phi_k = b_{ij,k} du_i du_j$, $1 \leq i, j \leq 2$, $1 \leq k \leq n$, для которых выполнено условие (2).

Пусть $\varphi^1 = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n$,

$\varphi^i = \varphi_1 + \dots + \varphi_{i-1} - \varphi_i + \varphi_{i+1} + \dots + \varphi_n$, $2 \leq i \leq n$ – вторые квадратичные формы поверхностей $\Phi_1^2, \Phi_2^2, \dots, \Phi_n^2$, изометричных по равенству параметров.

Для того чтобы поверхности $\Phi_1^2, \Phi_2^2, \dots, \Phi_n^2$ попарно составляли пары Бонне, необходимо и достаточно, чтобы

$$\begin{cases} g_{12} = 0 \\ m_1 + \dots + m_n = 0 \\ m_1 + \dots + m_{i-1} - m_i + m_{i+1} + \dots + m_n = 0, 2 \leq i \leq n \end{cases}. \quad (8)$$

Из (8) получаем

$$m_i = 0, 1 \leq i \leq n. \quad (9)$$

Кроме того, из (2) и (9) следует, что $l_j n_k + l_k n_j \equiv 0$, $1 \leq j, k \leq n$.

Теорема 6. Если поверхности $\Phi_1^2, \Phi_2^2, \dots, \Phi_n^2$ с определенными выше вторыми квадратичными формами попарно составляют пары Бонне, то в E^{n+2} существует поверхность F^2 без кручения, с которой ассоциированы $\Phi_1^2, \Phi_2^2, \dots, \Phi_n^2$.

Доказательство. Предположим, что все $((\alpha_{ij}^k))$, $j=1,2$ тождественно равны нулю. Легко видеть, что выполнено уравнение Риччи

$$\begin{vmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{22} \\ l_\alpha & m_\alpha & n_\alpha \\ l_\beta & m_\beta & n_\beta \end{vmatrix} = 0, 1 \leq \alpha, \beta \leq n, \alpha \leq \beta.$$

Так как поверхности $\Phi_1^2, \Phi_2^2, \dots, \Phi_n^2$ принадлежат некоторой 3-плоскости, то для них справедливы уравнения Петерсона – Кодацци, поэтому для F^2 будут выполняться уравнения (3).

Поскольку поверхности $\Phi_1^2, \Phi_2^2, \dots, \Phi_n^2$ изометричны, то

$$\begin{cases} (l_1 + \dots + l_n)(n_1 + \dots + n_n) = K; \\ (l_1 + \dots + l_{i-1} - l_i + l_{i+1} + \dots + l_n) \times \\ \times (n_1 + \dots + n_{i-1} - n_i + n_{i+1} + \dots + n_n) = K, \\ 2 \leq i \leq n. \end{cases} \quad (10)$$

Сложив равенства (10) и учитывая (2), получим $\sum_{i=1}^n l_i n_i = K$.

Итак, существование поверхности F^2 в E^{n+2} без кручения, для которой поверхности $\Phi_1^2, \Phi_2^2, \dots, \Phi_n^2$ являются ассоциированными, доказано.

Заключение

Таким образом, для поверхностей с нулевыми коэффициентами кручения в канонических нормалях получены необходимые условия их принадлежности некоторой k -плоскости. Установлено, что аксиальные точки таких поверхностей являются изолированными. Для рассматриваемых поверхностей построены ассоциированные поверхности и показана их связь с поверхностями класса Бонне.

Литература

1. Аминов Ю.А. Кручение двумерных поверхностей в евклидовых пространствах // Укр. геометр. сб. Харьков: Вища школа, 1975. Вып. 17. С. 3–14.
2. Фоменко В.Т. Некоторые свойства двумерных поверхностей с нулевым нормальным кручением в E^4 // Мат. сб. 1978. Т. 106 (148), № 4(8). С. 589–603.
3. Фоменко В.Т. Классификация двумерных поверхностей с нулевым нормальным кручением в четырехмерном пространстве постоянной кривизны // Мат. заметки. 2004. Т. 75, № 5. С. 744–756.
4. Бодренко И.И. Характеристический признак поверхностей с постоянным гауссовым кручением в E^4 // Вестн. Волгоградского гос. ун-та. Сер. 1. 2013. № 2. С. 13–17.
5. Фирсов А.И. Канонические нормали поверхностей большой коразмерности // Вестн. МГУ. Механика. Математика. 1976. № 2. С. 37–42.
6. Схоутен И.А., Стройк Д.Я. Введение в новые методы дифференциальной геометрии. М.: ГИИЛ, 1948. Т. 2. 348 с.
7. Мышкис А.Д. Единственность решения задачи Коши // Успехи мат. наук. 1948. Вып. 2. С. 3–46.

References

1. Aminov Yu.A. [Torsion of two-dimensional surfaces in Euclidean spaces]. *Ukr. geometr. sb. [Ukrainian geometric collection]*. Kharkov: Vishcha shkola, 1975, iss. 17. pp. 3–14.

2. Fomenko V.T. Nekotorye svoistva dvumernykh poverkhnostei s nulevym normal'nym krucheniem v E^4 [Some properties of two-dimensional surfaces with zero normal torsion in E^4]. *Mat. sb.* 1978, vol. 106 (148), No. 4 (8), pp. 589-603.

3. Fomenko V.T. Klassifikatsiya dvumernykh poverkhnostei s nulevym normal'nym krucheniem v chetyrekhmernom prostranstve postoyannoi krivizny [Classification of two-dimensional surfaces with zero normal torsion in four-dimensional space of constant curvature]. *Mat. zametki.* 2004, vol. 75, No. 5, pp. 744-756.

4. Bodrenko I.I. Kharakteristicheskii priznak poverkhnostei s postoyannym gaussovim krucheniem v E^4

[Characteristic feature of surfaces with constant Gaussian torsion in E^4]. *Vestn. Volgogradskogo gos. un-ta. Ser. 1.* 2013, No. 2, pp. 13-17.

5. Firsov A.I. Kanonicheskie normali poverkhnosti bol'shoi korazmernosti [Canonical normals of a surface of large codimension]. *Vestn. MGU. Mekhanika. Matematika.* 1976, No. 2, pp. 37-42.

6. Skhouten I.A., Stroik D.Ya. Vvedenie v novye metody differentsial'noi geometrii [Introduction to new methods of differential geometry]. Vol. 2. Moscow: GIIL, 1948, 348 p.

7. Myshkis A.D. Edinstvennost' resheniya zadachi Koshi [Uniqueness of the solution of the Cauchy problem]. *Uspekhi mat. nauk.* 1948, Iss. 2, pp. 3-46.

Поступила в редакцию / Received

4 февраля 2019 г. / February 4, 2019

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

SCIENCES OF EARTH

УДК 364.122.5:91

DOI 10.23683/0321-3005-2019-2-26-33

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И МИГРАЦИЯ НАСЕЛЕНИЯ В ГУБА-ХАЧМАЗСКОМ ЭКОНОМИЧЕСКОМ РАЙОНЕ АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

© 2019 г. Т.Ш. Байрамов¹

¹Институт географии Национальной академии наук Азербайджана, Баку, Азербайджан

THE SOCIO-ECONOMIC SITUATION AND POPULATION MIGRATION IN THE GUBA-KHACHMAZ ECONOMIC REGION, AZERBAIJAN REPUBLIC

T.Sh. Bayramov¹

¹Institute of Geography, National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

Байрамов Турал Шахбаз-оглы – научный сотрудник,
Институт географии, Национальная академия наук
Азербайджана, пр. Г. Джавида, 31, г. Баку, AZ1043,
Азербайджан, e-mail: bayramovtural777@mail.ru

Tural Sh. Bayramov - Researcher, Institute of Geography,
National Academy of Sciences of Azerbaijan, G. Javid
Ave, 31, Baku, AZ1043, Azerbaijan, e-mail: bayramovtu-
ral777@mail.ru

В последние годы были приняты различные меры для решения проблемы миграции в мире. Исследования показывают, что социально-экономические и демографические процессы являются основными причинами увеличения миграции. Поэтому в качестве объекта исследования была выбрана проблема миграции в Губа-Хачмазском районе, одном из экономических районов Азербайджанской Республики. Губа-Хачмазский экономический район, включая пять административных районов (Шабран, Хачмаз, Губа, Гусар и Сиазань), расположен в северо-восточной части Азербайджана.

Экономический регион имеет выгодное географическое положение – нефть, природный газ, сельское хозяйство, плодоводство, овощеводство, зерновые культуры, животноводство и перерабатывающую промышленность. Однако из-за недостатков переходного периода проблемы производства сельскохозяйственной продукции, работы перерабатывающих предприятий и услуг населению повысили интенсивность внутренней миграции населения.

Известно, что социально-экономическое развитие района, наличие достаточного количества рабочих мест, новые рабочие места и услуги в соответствии с потребностями населения создают условия для демографического развития. Однако в связи с трудностями переходного периода в постсоветском пространстве в Губа-Хачмазском экономическом районе возникли серьезные проблемы. Для их решения, начиная с первых лет независимости, экономические реформы проводятся постепенно, чтобы отрегулировать процесс. Так, на основе использования природно-ресурсного потенциала в экономическом районе создана многоотраслевая структура промышленности и сельского хозяйства. Но современный потенциал не обеспечивает растущее население рабочими местами и рост городов, социально-бытовое обслуживание отстает от современных требований. Проведенные экономические реформы дают свои результаты. Но пока еще полностью не восстановлено функционирование объектов легкой и пищевой промышленности. Для обеспечения устойчивого социально-экономического развития необходимы создание новых сетей переработки продуктов сельского хозяйства и повышение уровня обслуживания населения. Эти меры приведут к регулированию демографического развития, в том числе миграции населения.

Ключевые слова: экономический регион, социально-экономическое развитие, переходный период, природно-экономический потенциал, экономические реформы, минерально-сырьевые ресурсы, демографическое развитие, аграрная реформа, промышленный продукт, миграция населения, демографическая политика.

In recent years, various measures have been taken to address the problem of migration in the world. Studies show that socio-economic and demographic processes are the main reasons for the increase in migration. Therefore, the problem of migration in Guba-Khachmaz district, one of the economic regions of the Azerbaijan Republic, was chosen as the object of research.

Guba-Khachmaz economic region including five administrative regions (Shabran, Khachmaz, Guba, Gusar and Siyazan) is located in the north-eastern part of Azerbaijan.

The economic region has a favorable geographical position with oil, natural gas, agriculture, fruit growing, vegetable growing, grain crops, animal husbandry and processing industry. However, due to the shortcomings of the transition period, the problems of agricultural production, the work of processing enterprises and services to the population increased the intensity of internal migration of the population.

It is known that the socio-economic development of the region, the availability of a sufficient number of jobs, the creation of new jobs and services in accordance with the needs of the population create conditions for demographic development. However, due to the difficulties of the transition period in the post-Soviet space in the Guba-Khachmaz economic region, serious problems have arisen. To solve the problems, starting from the first years of independence, economic reforms are carried out gradually to regulate the process. As based on the use of natural resource potential in the economic region, a diversified structure of industry and agriculture has been created. But modern potential does not provide a growing population of jobs and urban growth, social services lags behind modern requirements.

The economic reforms carried out give results. But for the time being, the functioning of objects of the light and food industries has not been fully restored. Ensuring sustainable socio-economic development requires the creation of new networks for processing agricultural products and increasing the level of service to the population. These measures will lead to the regulation of demographic development, including population migration.

Keywords: economic region, socio-economic development, transitional period, natural and economic potential, economic reforms, mineral resources, demographic development, agrarian reform, industrial product, population migration, demographic policy.

Введение

Социально-экономическое развитие регионов имеет большое значение для устойчивого демографического развития. Этот фактор определяет использование природно-экономического потенциала, полезных ископаемых, формирование хозяйственной структуры в регионах, в том числе отдельных городов и поселков.

После получения независимости в начале 90-х гг. XX в. в Азербайджане начались экономические реформы [1]. Использование нефтегазовых месторождений в шельфовой зоне Каспийского моря позволило получить финансовые ресурсы для развития других отраслей хозяйства, реконструкции социально-культурной сферы и развития транспортно-инфраструктурной системы на современном уровне [2, 3].

Вместе с тем за прошедший период ускоренное развитие получают в основном Апшеронский экономический район и хозяйственная структура нефтегазового сектора. Сегодня 93,5 % производства промышленной продукции, 88,3 % промышленно-производственных фондов приходится на долю Апшеронского экономического района. В структуре самого экономического района удельный вес добычи топливно-энергетических ресурсов в производстве промышленных продуктов составляет около 80,5 %, переработка нефтепродуктов – 7,6. Поэтому можно сказать, что нефтегазовый сектор сохраняет свою определяющую роль в структуре хозяйства страны [4, 5].

В результате сложившейся ситуации в социально-экономическом и демографическом развитии региона имеются определённые проблемы в структуре хозяйства, обеспеченности трудовыми ресурсами, регулировании заселения, оказании социально-культурного и бытового обслуживания. Всё

это характерно и для Губа-Хачмазского экономического района, расположенного в северо-западной части страны, на границе с Российской Федерацией.

Цель работы – определение социально-экономических процессов и миграции населения в северо-западных районах Азербайджанской Республики.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования является Губа-Хачмазский экономический район Азербайджанской Республики. Экономический район занимает 6,96 тыс. км², численность населения составляет 544,1 тыс. чел., из которых 180,5 тыс. – городское население, 363,6 тыс. – сельское население, а плотность населения – 78 чел/км². Территория Губа-Хачмазского экономического района составляет 8,04 % страны, здесь проживает 5,5 % населения страны. В его состав входят Губинский, Гусарский, Сиазаньский, Хачмазский и Шабранский административные районы [6].

В экономическом районе производится 2,2 % ВВП страны, в том числе 0,2 % промышленной, 10,1 % сельскохозяйственной продукции. Несмотря на слабую экономическую базу, регион можно считать одним из главных центров производства сельхозпродукции. Это связано с высоким удельным весом сельского населения и его занятостью в этой сфере [7].

На основе исследования научной литературы была изучена территориальная организация промышленности в регионах страны. Статистической базой проведения анализа являются годовые отчеты Госкомстата республики. С использованием этих материалов, с помощью методов изучения истории

территории, сравнительного анализа, статистического и математического методов дана экономико-географическая оценка современного состояния хозяйственной структуры промышленности и сельского хозяйства, оценено их влияние на миграционные процессы населения, определены основные направления регулирования демографического развития региона и роль социально-экономического развития в решении этой проблемы.

Результаты и обсуждение

Экономико-географическая база и социально-демографическая ситуация в Губа-Хачмазском экономическом районе были изучены Ш.Г. Дамиргаяевым [8], З.Т. Имрани [9], А.А. Надировым [10], А.М. Гаджизаде [11, 12], З.Н. Эминовым [3, 5, 13], В.А. Эфендиевым [14], Э.К. Мехралиевым, Н.Г. Эюбовым [2, 3,

15] и др. Для изучения региона были использованы результаты их исследования.

Экономический район не имеет больших запасов полезных ископаемых республиканского значения, кроме нефти и природного газа, которые добываются в Сиазаньском районе. Они добываются с 30–40-х гг. XX в. и отправляются в столичный регион трубопроводами. Часть природного газа удовлетворяет местные потребности населения в городах и селах [5, 12].

В сложившейся ситуации промышленность не имеет большого значения в занятости населения. Так, в 2016 г. в экономике региона были заняты 51,1 тыс. чел., из них 4254 – чел. на промышленных предприятиях. В последнее время экономический кризис не способствует увеличению численности рабочих мест на этих предприятиях. Наряду с открытием новых рабочих мест во многих случаях рабочие и специалисты теряют свои места работы (табл. 1).

Таблица 1

Уровень занятости населения в Губа-Хачмазском экономико-географическом районе
/ Employment rate in Guba-Khachmaz economic-geographical region

Показатель	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017
Количество открытых рабочих мест			9145	5965	4693	9542	8373
Постоянные рабочие места от него			5460	2472	3690	8743	7308
Среднемесячная номинальная заработная плата наемных работников, манатов	379,4	29,8	78,1	231,6	303,5	303,5	317,1
Численность безработных, имеющих статус, чел.	1116	1668	1489	1111	969	1282	1386
Количество строительных организаций, ед.	54	20	28	24	29	26	29
Численность работников, чел.	637	938	543	560	840	1102	1434
Количество действующих предприятий	53	68	76	84	91	95	93
Среднесписочная численность работников всего, чел.	6281	5191	4386	4552	3967	4254	4237
Среднемесячная заработная плата работников, манатов	30,2	52,2	117,5	319,7	446,2	459,1	470,2
Численность занятого населения, тыс. чел.				228,5	247,8	252,5	255,5
Численность работающих по найму, тыс. чел.	71,2	40,0	49,0	49,4	49,1	51,1	51,8
Численность безработных, получающих пособие, чел.		72	62	6	49	134	205

Так, в 2010 г. на промышленных предприятиях были открыты 394 рабочих места, работу потеряли 294 чел. В 2015 г. эти показатели были соответственно 244 места и 264 чел. [4].

Для увеличения роли промышленности в занятости населения необходимы строительство новых объектов и увеличение доли легкой промышленности, которая считается одной из трудоемких отраслей. Для этого требуются восстановление ранее действующих предприятий и строительство новых объектов ковроткачества, текстильной и швейной промышленности. В последние годы уже начала действовать ковроткаческая фабрика в Хачмазском районе, на которой работают около 100 чел. Необходимо восстановление мелких предприятий этой отрасли и в Шабранском районе. Для этого в регионе имеются богатая сырьевая база и трудовые навыки местного населения.

Сельское хозяйство занимает ведущее место в хозяйственной структуре административных районов и в занятости населения. Губа-Хачмазский экономический район специализируется на производстве овоще-бахчевых культур, плодоводстве. Здесь выращивают также зерновые, кормовые культуры, виноград, картофель, население занимается скотоводством, овцеводством, птицеводством.

В 2015 г. в экономическом районе посевные площади занимали 114,2 тыс. га, что составляло 7,2 % общереспубликанского показателя. Социально-экономическое развитие, увеличение потребностей в сельскохозяйственных продуктах требуют расширения сельхозугодий. Поэтому по сравнению с 2000 г. посевные площади в Губа-Хачмазском экономическом районе увеличились на 56,4 тыс. га, или в 2,0 раза, после 2010 г. – на 6,7 тыс. га, или 5,9 % [16].

Основную часть посевных площадей занимают зерновые и зернобобовые культуры. Их посевы в 2015 г. занимали 91,1 тыс. га (79,8 %), в том числе пшеницы – 60,9 тыс. га. Из этих площадей были собраны 237,7 тыс. т продуктов, в том числе пшеницы, 161,0 тыс. т. Удельный вес экономического района по посевной площади составляет 9,6 %, по сбору продукции – 7,9. Их собирают в основном в Хачмазском (108,9 тыс. т) и Губинском (40,2 тыс. т) административном районах [16, 17].

Несмотря на высокую долю занимаемой площади, собранная продукция не удовлетворяет внутренние потребности региона. Поэтому необходимы повышение продуктивности в этой отрасли и применение более высокопродуктивных сортов, соблюдение агротехнических требований, использование минеральных удобрений.

Экономический район специализируется на выращивании плодовоовощных продуктов. В регионе сады занимают 41,2 тыс. га, с них в 2015 г. было собрано 252,2 тыс. т продукции. Основная часть их площадей размещена в Хачмазском и Губинском районах. В Хачмазском административном районе с 16,9 тыс. га фруктовых садов было собрано около 100 тыс. т, в Губинском районе – с площади 14,8 тыс. га 122,3 тыс. т яблок и груш. Как показывают данные, в Губинском районе продуктивность садов более высокая (84,1 ц/га), чем в Хачмазском районе (76,8 ц/га) [16, 17].

Важными отраслями в экономическом районе можно считать картофелеводство, выращивание овоще-бахчевых культур. Их посевы занимают 12,8 тыс. га, в том числе овощные посевы – 8,2 тыс. га, с которых были собраны 164,2 тыс. т продукции [16, 17].

Экономический район является одной из животноводческих баз страны. На долю региона приходится 7,4 % голов крупного рогатого скота, 6,3 % мелкого рогатого скота, 7,5 % птиц. Поэтому регион дает 15,3 % производимого в стране мяса, 7,4 % молока, 4,8 % яйца, около 6 % шерсти.

Одним из важных показателей социально-экономического развития, объема производства сельхозпродукции можно считать занятость населения в отраслях сельского хозяйства. Как и в большинстве экономических районов, в Губа-Хачмазском экономическом районе сельское хозяйство совместно с лесным хозяйством и охотой в занятости населения занимает первое место. Уровень занятости в этой отрасли (58,5 %) выше, чем общереспубликанский показатель (41,0 %). Это связано с высокой долей сельского населения, низким уровнем занятости в промышленности (4,3 %) и социальной сфере (21,9 %) [18].

По итогам переписи населения 2009 г., в экономическом районе в различных отраслях хозяйства

занято 235,4 тыс. чел., из которых 137,8 тыс. чел. приходится на долю сельского хозяйства [18]. В отдельных административных районах они отличаются в абсолютном выражении.

Число занятых в этой сфере связано с численностью всего населения, в том числе сельского, числом сельских населенных пунктов, пригодностью земель для использования посевов, трудовыми навыками населения, а также потребностью населения и промышленности в сельхозпродукциях. Учитывая эти факторы по числу занятых в сельском хозяйстве, ведущее место занимают Губинский (45,4 тыс. чел.) и Хачмазский районы (41,9 тыс. чел.). Они соответственно составляют 64,9 и 54,5 % занятых в структуре экономики. Первое место по удельному весу занятых в сельском хозяйстве принадлежит Гусарскому району (69,6 %). Это отчасти связано с низкой долей занятости в промышленности (1,5 %), строительстве (5,7 %) и социальной сфере.

Губа-Хачмазский экономический район по численности населения занимает одно из последних мест среди регионов страны. В 1989 г. в экономическом районе проживало 364,9 тыс. чел., до 1999 г. оно увеличилось до 441,5 тыс. чел. [19]. По итогам последней переписи, в регионе живет около 488,8 тыс. чел. По темпам прироста особо не отличается – в период с 1999 до 2009 г., численность населения региона увеличилась на 10,7 %, а общереспубликанский прирост составил 12,2 %. Удельный вес численности населения региона в стране постепенно снижается. Если в 1999 г. он составил 5,6 %, то в последние годы снижается до 5,5 % [5, 19].

Коэффициенты естественного прироста по региону постепенно снижаются, и это отрицательно влияет на темпы роста численности населения (табл. 2).

Если в 1990 г. коэффициент естественного прироста на 1000 чел. был отмечен на уровне 23,8, то в 2010 г. он составил 13,0, в 2017 г. снизился до 9,6. В абсолютном выражении в 1990 г. численность населения за счет естественного прироста увеличилась на 9,0 тыс. чел., в 2017 г. – примерно на 5,2 тыс. чел. [5, 6, 17].

В сложившейся социально-экономической ситуации постоянно наблюдался отток населения из района. Слабая экономическая база городов и поселков, имеющиеся проблемы с нехваткой рабочих мест, низкие темпы создания новых рабочих мест по сравнению с ростом численности населения, особенно сельского, являются причинами этих процессов. Часть мигрирующего населения переехала в столичный регион, но в связи с приграничным положением с Российской Федерацией большинство мигрирующего населения, особенно горожане, уезжало в Россию, Украину, Белоруссию, Казахстан и другие

страны ближнего зарубежья, и этот процесс продолжается по сей день.

Так, с 80-х гг. XX в. в экономическом районе шел интенсивный отток населения из городов и сел (рисунк). В период с 1980 по 1990 г. из городских населенных пунктов региона уехали более 32,1 тыс. чел. За этот период сальдо миграции составило –8,6 тыс. чел. [13].

В конце XX в. и начале XXI в. в переходный период тоже наблюдается отток населения из региона. Их основная часть приходится на долю Губинского и Гусарского районов. За десятилетний период (1991–2000) в Губинском районе сальдо миграции

составляло –3,3 тыс. чел., в Гусарском районе – 2,6 тыс. чел. В целом по экономическому району сальдо было на уровне –9,5 тыс. чел., а в последующий 5-летний период –1,5 тыс. чел. [3, 13, 20].

В последние годы проводимые в стране социально-экономические и демографические реформы дают свои результаты (табл. 3). Поэтому в регионах страны не только уменьшается миграция населения, но и наблюдается его приток. В Губа-Хачмазском экономическом районе в 2011 г. сальдо миграции равнялось нулю, за последние 2 года путем механического прироста численность населения ежегодно увеличивается почти на 100 чел.

Таблица 2

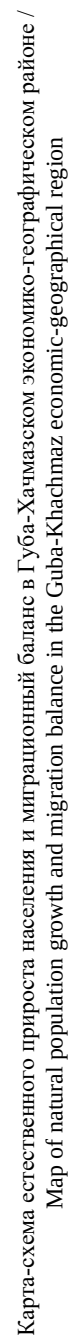
Естественный прирост населения в Губа-Хачмазском экономико-географическом районе, чел.
/ Natural population growth in Guba-Khachmaz economic-geographical area, person

2010			2015			2016			2017		
Рождаемость	Смертность	Естест. прирост	Рождаемость	Смертность	Естест. прирост	Рождаемость	Смертность	Естест. прирост	Рождаемость	Смертность	Естест. прирост
Азербайджанская Республика											
165643	53580	112063	166210	54697	111513	159464	56648	102816	144041	57109	86932
Губа-Хачмазский экономический район											
9841	3411	6430	10111	3322	6789	9381	3419	5962	8620	3431	5189
Гусар											
1706	734	972	1808	680	1128	1644	613	1031	1583	673	910
Хачмаз											
3048	1004	2044	3231	1016	2215	3009	1152	1857	2795	1113	1682
Губа											
3150	1040	2110	3147	1006	2141	2970	1030	1940	2600	1052	1548
Шабран											
1125	351	774	1090	350	740	1064	379	685	974	371	603
Сиазань											
812	282	530	835	270	565	694	245	449	668	222	446

Таблица 3

Основные индустриальные отрасли Губа-Хачмазского экономико-географического района
/ The main industrial branches of Guba-Khachmaz economic-geographical region

Показатель	2000	2005	2010	2015	2016	2017
Количество действующих предприятий	68	76	84	91	95	93
Стоимость промышленной продукции, тыс. манатов		37705	64006	77689	94265	143761
Индекс промышленного производства по сравнению с предыдущим годом	100,3	121,8	102,9	102,0	107,2	133,6
Доля негосударственного сектора в стоимости промышленной продукции, %		50,1	57,1	34,2	44,7	45,2
Основные промышленно-производственные фонды, % к предыдущему году	102,9	105,3	143,1	112,1	102,7	105,2
Горнодобывающая промышленность, тыс. манатов		9718	2861	3071	3171	3676
Добыча продукции горнодобывающей промышленностью, тыс. манатов			418,5	200,9	125,8	381,1
Обрабатывающая промышленность, тыс. манатов		19714	28341	25471	42309	64738
Производство продуктов питания, тыс. манатов			18978	18489	35011	40206
Ткацкая промышленность, тыс. манатов	25,6	109,0	73,9	61,0	34,5	29,4
Производство одежды, тыс. манатов			65,8	208,9	181,5	84,7
Производство строительных материалов, тыс. манатов			936,4	719,0	162,0	186,3
Производство электрооборудования, тыс. манатов			620,8	383,0	418,5	238,1
Производство готовых металлических изделий, тыс. манатов			239,3	188,5	184,4	73,3
Производство, распределение и поставка электроэнергии, газа и пара, тыс. манатов		7883	30451	46439	45224	71620
Утечка воды, очистка и очистка сточных вод, тыс. манатов		390	2353	2708	3561	3728



Выводы

В переходный период снижение уровня жизни, занятости и увеличение миграционной подвижности отрицательно повлияли на рождаемость и темпы роста численности населения Губа-Хачмазского района.

Реализация программных мероприятий, проведение демографической и миграционной политики создают условия для формирования предпосылок ее улучшения в сельской местности. Миграция является одним из ведущих факторов изменения численности населения – как городского, так и сельского, наряду с процессами рождаемости и смертности. Однако в сельской местности они имеют более негативные последствия.

Для обеспечения устойчивого социально-экономического развития необходимы создание новых сетей переработки продуктов сельского хозяйства и повышение уровня обслуживания населения. Эти меры приведут к регулированию демографического развития, в том числе миграции населения.

Литература

1. Народное хозяйство Азербайджанской ССР в 1988 г.: стат. ежегодник. Баку, 1990. 424 с.
2. География Азербайджанской Республики. Баку, 2015. Т. II. 327 с. (на азерб. яз.).
3. Пашаев Н.А., Эюбов Н.Г., Эминов З.Н. Экономическая, социальная и политическая география Азербайджанской Республики (процессы, проблемы, конструктивные аспекты). Баку, 2010. 416 с. (на азерб. яз.).
4. Промышленность Азербайджана 2015. Статистический ежегодник / ГК АР по статистике. Баку, 2016. 344 с.
5. География Азербайджанской Республики. Баку, 2015. Т. III. 400 с. (на азерб. яз.).
6. Демографические показатели Азербайджана 2015: стат. ежегодник / ГК АР по статистике. Баку, 2016. 478 с.
7. Statistical Yearbook of Azerbaijan 2016 / State Statistical Committee of Azerbaijan Republic. Baku, 2017. 824 p.
8. Дамиргаяев Ш.Г. Проблемы географии населения в Губа-Хачмазском экономическом районе Азербайджанской ССР : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Тбилиси, 1971. 24 с.
9. Имрани З.Т. Губа-Хачмазский экономический район. Баку: Элм, 2007. 172 с. (на азерб. яз.).
10. Надиров А.А. Вопросы экономического развития городов Азербайджана. Баку: Элм, 1966. 167 с.

11. Гаджизаде А.М. Природные ресурсы и естественные условия развития промышленности Азербайджанской ССР. Баку: Азернешр, 1983. 173 с.

12. Гаджизаде А.М. Азербайджанский промышленный комплекс. Баку: Азернешр, 1975. 204 с.

13. Эминов З.Н. Население Азербайджана. Баку, 2005. 560 с. (на азерб. яз.).

14. Эфендиев В.А. Урбанизация и городские населенные пункты Азербайджана. Баку, 2002. 397 с. (на азерб. яз.).

15. Мехралиев Э.К., Эюбов Н.Г., Садыгов М.О. Вопросы расселения населения в Азербайджанской ССР. Баку: Элм, 1988. 196 с. (на азерб. яз.).

16. Сельское хозяйство Азербайджана – 2015 : стат. ежегодник / ГК АР по статистике. Баку, 2016. 319 с.

17. Регионы Азербайджана – 2015 / ГК АР по статистике. Баку, 2016. 820 с.

18. Материалы переписи населения Азербайджанской Республики 2009 г. / ГК АР по статистике. Баку, 2010. Т. I. 629 с.

19. Материалы Переписи населения Азербайджанской Республики 1999 г. / ГК АР по статистике. Баку, 2000. Т. I. 565 с.

20. State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan. URL: <http://www.stat.gov.az> (дата обращения: 25.01.2019).

References

1. *Narodnoe khozyaistvo Azerbaidzhanskoi SSR v 1988 g.* [National economy of the Azerbaijan SSR in 1988]. Statistical yearbook. Baku, 1990, 424 p.
2. *Geografiya Azerbaidzhanskoi Respubliki* [Geography of the Republic of Azerbaijan]. Baku, 2015, vol. II, 327 p. (in Azerbaijani).
3. Pashaev N.A., Eyubov N.G., Eminov Z.N. *Ekonomicheskaya, sotsial'naya i politicheskaya geografiya Azerbaidzhanskoi Respubliki (protsessy, problemy, konstruktivnye aspekty)* [Economic, social and political geography of the Azerbaijan Republic (processes, problems, constructive aspects)]. Baku, 2010, 416 p. (in Azerbaijani).
4. *Promyshlennost' Azerbaidzhana 2015* [Industry of Azerbaijan 2015]. Statistical yearbook. State Statistical Committee of Azerbaijan Republic. Baku, 2016, 344 p.
5. *Geografiya Azerbaidzhanskoi Respubliki* [Geography of the Republic of Azerbaijan]. Vol. III. Baku, 2015, 400 p. (in Azerbaijani).
6. *Demograficheskie pokazateli Azerbaidzhana 2015* [Demographic indicators of Azerbaijan 2015]. Statistical yearbook. State Statistical Committee of Azerbaijan Republic. Baku, 2016, 478 p.
7. *Statistical Yearbook of Azerbaijan 2016*. State Statistical Committee of Azerbaijan Republic. Baku, 2017, 824 p.

8. Damirgayaev Sh.G. *Problemy geografii naseleniya v Guba-Khachmazskom ekonomicheskome raione Azerbaidzhanskoi SSR* : avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk [Problems of population geography in Guba-Khachmaz economic region of the Azerbaijan SSR]. Tbilisi, 1971, 24 p.
9. Imrani Z.T. *Guba-Khachmazskii ekonomicheskii raion* [Guba-Khachmaz economic region]. Baku: Elm, 2007, 172 p. (in Azerbaijani).
10. Nadirov A.A. *Voprosy ekonomicheskogo razvitiya gorodov Azerbaidzhana* [Issues of economic development of cities of Azerbaijan]. Baku: Elm, 1966, 167 p.
11. Gadzhizade A.M. *Prirodnye resursy i estestvennye usloviya razvitiya promyshlennosti Azerbaidzhanskoi SSR* [Natural resources and natural conditions of development of the industry of the Azerbaijan SSR]. Baku: Azerneshr, 1983, 173 p.
12. Gadzhizade A.M. *Azerbaidzhanskii promyshlennyi kompleks* [Azerbaijan industrial complex]. Baku: Azerneshr, 1975, 204 p.
13. Eminov Z.N. *Naselenie Azerbaidzhana* [Population of Azerbaijan]. Baku, 2005, 560 p. (in Azerbaijani).
14. Efendiev V.A. *Urbanizatsiya i gorodskie naselennye punkty Azerbaidzhana* [Urbanization and urban settlements of Azerbaijan]. Baku, 2002, 397 p. (in Azerbaijani).
15. Mekhraliev E.K., Eyubov N.G., Sadygov M.O. *Voprosy rasseleniya naseleniya v Azerbaidzhanskoi SSR* [Issues of population resettlement in the Azerbaijan SSR]. Baku: Elm, 1988, 196 p. (in Azerbaijani).
16. *Sel'skoe khozyaistvo Azerbaidzhana – 2015* [Agriculture of Azerbaijan 2015]. Statistical yearbook. State Statistical Committee of Azerbaijan Republic. Baku, 2016, 319 p.
17. *Regiony Azerbaidzhana – 2015* [Regions of Azerbaijan 2015]. State Statistical Committee of Azerbaijan Republic. Baku, 2016, 820 p.
18. *Materialy perepisi naseleniya Azerbaidzhanskoi Respubliki 2009 g.* [Census of the population of the Republic of Azerbaijan 2009]. Vol. I. State Statistical Committee of Azerbaijan Republic. Baku, 2010, 629 p.
19. *Materialy Perepisi naseleniya Azerbaidzhanskoi Respubliki 1999 g.* [Materials of the 1999 Population Census of the Azerbaijan Republic]. Vol. I. State Statistical Committee of Azerbaijan Republic. Baku, 2000, 565 p.
20. State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan. Available at: <http://www.stat.gov.az> (accessed 25.01.2019).

УДК 57.044

DOI 10.23683/0321-3005-2019-2-34-40

ХЛОРОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ В ЭКОСИСТЕМЕ Р. ТЕМЕРНИК (Г. РОСТОВ-НА-ДОНУ)

© 2019 г. Т.О. Барабашин^{1,2}, Т.В. Сиверина¹, Л.И. Короткова¹

¹Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, Ростов-на-Дону, Россия,

²Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

ORGANOCHLORINE COMPOUNDS IN THE ECOSYSTEM OF THE TEMERNIK RIVER (ROSTOV-ON-DON)

T.O. Barabashin^{1,2}, T.V. Siverina¹, L.I. Korotkova¹

¹Azov Scientific Research Institute of Fisheries, Rostov-on-Don, Russia,

²Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Барабашин Тимофей Олегович – кандидат биологических наук, доцент, руководитель управления океанографии природоохранных исследований, Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, ул. Береговая, 21в, г. Ростов-на-Дону, 344002, Россия; доцент, кафедра зоологии, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, пр. Стачки, 194/1, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: timbar@bk.ru

Timofey O. Barabashin - Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Oceanography, Azov Scientific Research Institute of Fisheries, Beregovaya St., 21v, Rostov-on-Don, 344002, Russia; Associate Professor, Department of Zoology, Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Stachki Ave, 194/1, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: timbar@bk.ru

Сиверина Татьяна Валерьевна – ведущий инженер, Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, ул. Береговая, 21в, г. Ростов-на-Дону, 344002, Россия, e-mail: tvsiverina@yandex.ru

Tatiana V. Siverina - Senior Engineer, Azov Scientific Research Institute of Fisheries, Beregovaya St., 21v, Rostov-on-Don, 344002, Russia, e-mail: tvsiverina@yandex.ru

Короткова Лилия Ивановна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, ул. Береговая, 21в, г. Ростов-на-Дону, 344002, Россия, e-mail: oksoft@rambler.ru

Liliya I. Korotkova - Candidate of Chemistry, Senior Researcher, Azov Scientific Research Institute of Fisheries, Beregovaya St., 21v, Rostov-on-Don, 344002, Russia, e-mail: oksoft@rambler.ru

Исследовано содержание стойких органических загрязняющих веществ в реке Темерник. Представлены данные по содержанию хлорорганических пестицидов (ХОП) и полихлорированных бифенилов в воде, донных отложениях и биологическом материале р. Темерник с зимнего периода 2018 г. по зимний период 2019 г. Полученные результаты свидетельствуют о том, что содержание ХОП в донных отложениях в некоторых случаях превышало зарубежные нормы допустимых концентраций ХОП (в России такие нормы отсутствуют). В воде и рыбе ХОП не превышали допустимых значений. Полихлорированные бифенилы в воде, донных отложениях и рыбе не были зафиксированы.

Ключевые слова: река Темерник, хлорорганические пестициды, полихлорированные бифенилы, вода, донные отложения, стойкие органические загрязняющие вещества, биологический материал.

The content of persistent organic pollutants in the Temernik river was investigated. The data on the content of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in water, bottom sediments and biological material of the Temernik river from the winter period of 2018 to the winter periods of 2019 are presented. The results show that the content of organochlorine pesticides in bottom sediments in some cases exceeded the foreign norms of permissible concentrations of organochlorine pesticides (in Russia there are no such norms). In water and fish organochlorine pesticides does not exceed the permissible values. Polychlorinated biphenyls in water, sediments and fish were not detected.

Keywords: Temernik river, organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls, water, bottom sediments, persistent organic pollutants, biological material.

Одним из важных условий охраны водных объектов и их биологических ресурсов от загрязнения является полная и адекватная информация о качественном и количественном составе загрязнителей в основных элементах водных экосистем, их распределении в среде обитания и водных организмах.

Особое внимание при изучении загрязнения следует уделить такой группе загрязняющих веществ, как стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ) – хлорорганические соединения, которые характеризуются высокой токсичностью, мутагенной и канцерогенной активностью, большой биологической активностью, сильной устойчивостью к действиям природных факторов и способностью накапливаться в различных звеньях пищевой цепи. Данные компоненты воздействуют на все составляющие природных экосистем, в том числе и на человека. Среди СОЗ чаще всего встречаются полихлорированные бифенилы (ПХБ) и хлорорганические пестициды (ХОП) – смесь изомеров гексахлорциклогексана (ГХЦГ) и дихлордифенилтрихлорэтана (ДДТ) с его метаболитами [1]. Из распространенных токсикантов, загрязняющих природные воды, ХОП имеют наивысший класс опасности (1-й класс), так как оказывают наиболее сильное влияние на состояние водных биологических ресурсов [2]. При этом даже незначительные концентрации в воде и донных отложениях в водоеме могут повлечь за собой существенное накопление (увеличение в 100 и даже 1000 раз) этих токсикантов в рыбе и беспозвоночных, что может быть очень опасным для человека при употреблении этих животных в пищу [3]. Несмотря на постепенное сокращение применения СОЗ в хозяйственной деятельности, они продолжают загрязнять окружающую среду и в настоящее время присутствуют практически по всему миру, во всех объектах окружающей среды, включая живые организмы.

Материалы и методы

В настоящем сообщении приводятся данные по загрязнению ХОП и ПХБ экосистемы реки Темерник, полученные в результате исследований в 2018 г. и зимой 2019 г. Оценка содержания ХОП в пробах воды, донных отложениях и биологическом материале р. Темерник дана по сумме наиболее распространенных стойких ХОП: изомеров ГХЦГ (α -, γ -, β -ГХЦГ) и метаболитов и изомеров 4,4'-дихлордифенилтрихлорметан (ДДТ): 4,4'-ДДЕ, 2,4'-ДДЕ, 4,4'-ДДД,

2,4'-ДДД, 4,4'-ДДТ, 2,4'-ДДТ. Содержание ПХБ оценивали по сумме конгенов: 2,4,4'-трихлорбифенил, 2,4,5-трихлорбифенил, 2,2',3,5'-тетрахлорбифенил, 2,2',4,4'-тетрахлорбифенил, 2,2',4,5'-тетрахлорбифенил, 2,2',5,5'-тетрахлорбифенил, 2,2',3,4,5'-пентахлорбифенил, 2,2',3',4,6-пентахлорбифенил, 2,2',4,4',5-пентахлорбифенил, 2,2',4,5,5'-пентахлорбифенил, 2,3,3',4,4'-пентахлорбифенил, 2,3,3',4',6-пентахлорбифенил, 2,3',4,4',5-пентахлорбифенил, 2,2',3,4,4',5'-гексахлорбифенил, 2,2',4,4',5,5'-гексахлорбифенил, 2,3,3',4,4',5-гексахлорбифенил, 2,3,3',4,4',5'-гексахлорбифенил, 2,3',4,4',5,5'-гексахлорбифенил, 2,2',3,4,4',5,5'-гептахлорбифенил.

Анализ проб воды, донных отложений и биологического материала на содержание ХОП проводился с использованием метода газожидкостной хроматографии, индивидуальных ПХБ – с использованием хромато-масс-спектрометрической системы, включающей газовый хроматограф (GCMS-2010 Plus фирмы Shimadzu) и масс-спектрометрический детектор высокого разрешения, позволяющий вести регистрацию отдельных ионов с заданными массами. Все применяемые методики разработаны в ФГБНУ «АзНИИРХ» [4] и внесены в федеральный реестр (ФР.1.31.2005.01513, ФР.1.31.2013.16637, ФР.1.31.2007.03207, ФР.1.31.2008.04701, ФР.1.31.2016.22944).

Отбор проб воды и донных отложений проводился в 11 точках на территории г. Ростова-на-Дону: Ростовское море, устье балки Камышевах, район рынка «Темерник», родник Сурб-Хач, Северное водохранилище (3 станции), Змиевская балка, Ботанический сад, район автовокзала и устьевой участок р. Темерник (рис. 1).



Рис. 1. Точки отбора проб воды и донных отложений
/ Fig. 1. Sampling points of water and bottom sediment

Для анализа содержания ХОП и ПХБ в гидробионтах были отобраны пробы следующих видов рыб: серебряного карася (*Carassius gibelio*) и тарани (*Rutilus heckelii*). Была отобрана 21 проба биологического материала осенью 2018 – зимой 2019 г. (4 тарани, 17 карасей). Караси были разделены на 2 группы: 13–16 (1–2 года) и 17–20 см (2–3 года). Отбиралась аликвота из общей перемешанной массы гомогенизированной мышечной ткани и печени нескольких экземпляров рыб одного вида, выловленных в одном районе реки.

Результаты и обсуждение

Согласно полученным данным, в воде и донных отложениях р. Темерник концентрация ПХБ находи-

лась ниже предела обнаружения (<1,0 нг/л в воде и <1,0 мкг/кг сухой массы в донных отложениях).

Концентрация ХОП в воде р. Темерник менялась в пределах от <0,1 до 8,2 нг/л, зимой в среднем составив 0,2 нг/л, весной – 0,4, летом – 1,63, осенью – 0,68, зимой 2019 г. – 0,41 нг/л (табл. 1). Значения, превышающие предельно допустимую концентрацию для рыбохозяйственных водоемов (ПДК), для данной группы пестицидов (10 нг/л) не обнаружены. Наиболее высокие содержания ХОП в зимний период 2018 и 2019 гг. наблюдались в верхней части Северного водохранилища. В весенний период самая большая концентрация наблюдалась в устье реки Темерник, в летний и осенний периоды – в точке рынок «Темерник» (рис. 2).

Таблица 1

Содержание ХОП и ПХБ в воде р. Темерник, нг/л
/ Contents of the organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in the water of the river Temernik, ng/l

Точка отбора	Зима 2018 г.		Весна 2018 г.		Лето 2018 г.		Осень 2018 г.		Зима 2019 г.	
	ХОП	ПХБ	ХОП	ПХБ	ХОП	ПХБ	ХОП	ПХБ	ХОП	ПХБ
Ростовское море	<0,1	<1	<0,1	<1	1,9	<1	0,8	<1	0,3	<1
Б. Камышеваха	<0,1	<1	<0,1	<1	<0,1	<1	<0,1	<1	<0,1	<1
Рынок «Темерник»	0,6	<1	0,2	<1	8,2	<1	1,3	<1	<0,1	<1
Сурб-Хач	0,6	<1	0,4	<1	<0,1	<1	1,1	<1	<0,1	<1
Верхнее водохранилище	0,7	<1	0,3	<1	4,6	<1	1	<1	2,4	<1
Верхнее водохранилище-2	0,3	<1	0,3	<1	1,7	<1	0,9	<1	0,4	<1
Нижнее водохранилище	0,6	<1	<0,1	<1	<0,1	<1	<0,1	<1	<0,1	<1
Змиевская балка	0,2	<1	0,2	<1	1	<1	0,3	<1	<0,1	<1
Ботанический сад	<0,1	<1	1	<1	<0,1	<1	0,6	<1	<0,1	<1
Автовокзал	<0,1	<1	0,7	<1	<0,1	<1	0,3	<1	<0,1	<1
Устье	<0,1	<1	0,8	<1	<0,1	<1	1	<1	0,7	<1

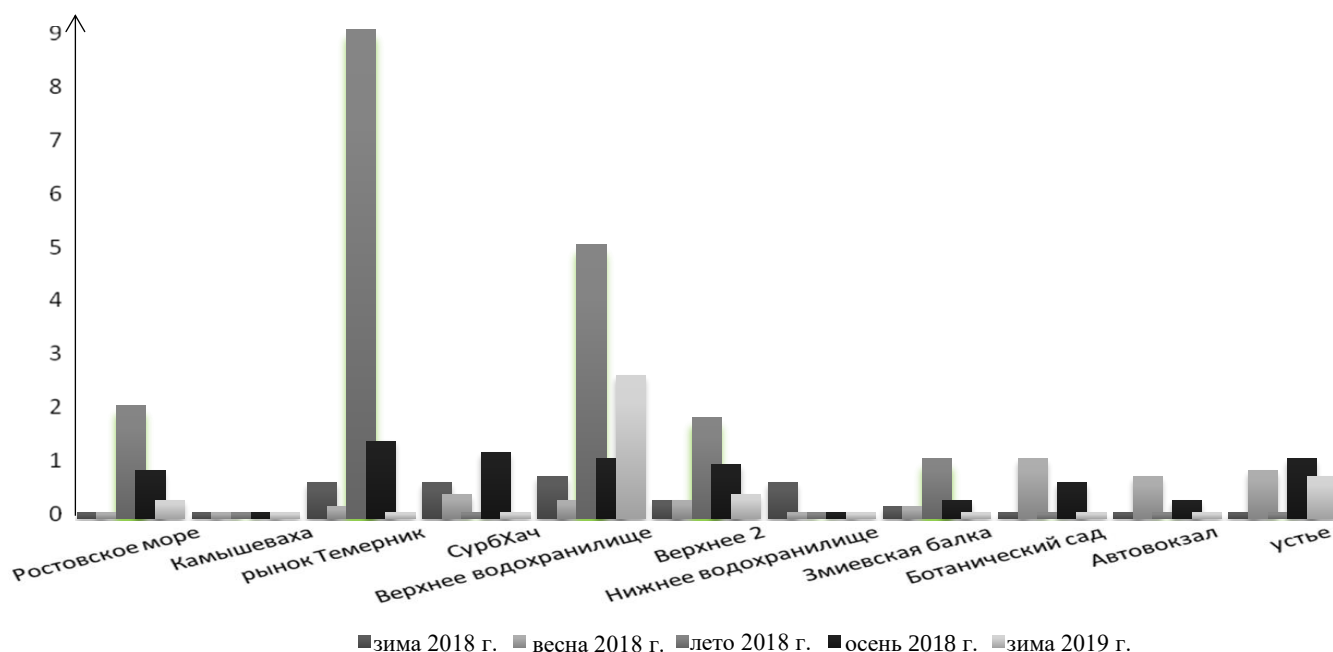


Рис. 2. Содержание ХОП в воде р. Темерник, нг/л / Fig. 2. Content of organochlorine pesticides in water of the Temernik river, ng/l

Согласно полученным данным, распределение ХОП в воде р. Темерник имеет ряд особенностей. Так, зимой 2018 и 2019 гг. максимальные значения ХОП были выявлены в среднем течении, где находятся водохранилища. Для реки бассейна Нижнего Дона характерна так называемая зимняя межень, когда поверхностный сток воды очень мал и река в основном питается подземными водами [5]. В этот период течение незначительно и в водохранилищах концентрируются воды городских стоков, незначительно насыщенные ХОП. Весной максимумы концентраций отмечаются в нижнем течении реки, а средние и максимальные концентрации возрастают. Это связано с активным стоком в бассейн реки, в частности в ее верховья, воды с сельхозугодий за пределами города, а также с относительно интенсивным течением. Летний период характеризуется значительным увеличением содержания пестицидов в верхней части реки. Наибольшая концентрация наблюдается в районе рынка «Темерник», что может быть связано с нахождением данной точки в пределах частных домов, на территории которых располагались сады, где ранее могли использоваться эти пестициды. Вероятнее всего, произошел смыв ХОП с почвы в реку. Осенью ХОП присутствуют практически на всех точках отбора в достаточно равных концентрациях. Динамика распределения загрязнителей в воде в это время может быть обусловлена интенсивностью осадков и временем отбора проб, так как при интенсивных дождях и высокой скорости течения токсиканты могут распределяться по реке, быстро вымываться из нее и попадать в р. Дон.

В донных отложениях р. Темерник концентрации стойких ХОП в 2018 г. менялись в пределах от <0,1 до 16,9 мкг/кг сухой массы. Средняя концентрация пестицидов в донных отложениях зимой 2018 г. составила 0,25 мкг/кг, весной – 1,4, летом – 0,1, осенью – 2,25, зимой 2019 г. – 1,09 мкг/кг сухой массы. Весной – 2,8 мкг/кг (район ручья Камышеваха), осенью (2,25 мкг/кг), зимой (2,9 мкг/кг) – Ростовское море (табл. 2).

На данный момент на территории РФ используются зарубежные нормы допустимых концентраций ХОП в донных отложениях, так называемые голландские листы [6]. Согласно им, содержание ДДТ и его метаболитов в донных отложениях исследуемой акватории превысило допустимые концентрации (2,5 мкг/кг) в разные сезоны в 5 точках: Ботанический сад, район ручья Камышеваха, Ростовское море (зима 2019 г.) – в 2,2 раза, в Змиевской балке – в 1,1, в Ростовском море (осень 2018 г.) – в 6,7 раза (рис. 3). В целом следует отметить высокую мозаичность распределения ХОП в донных отложениях р. Темерник, а также отсутствие выраженных тенденций в сезонных изменениях.

Помимо воды и донных отложений, проводился анализ содержания ХОП и ПХБ в рыбе, отловленной в р. Темерник. Гидробионты играют значительную роль в миграции и накоплении ХОП и ПХБ, в первую очередь это отражается на рыбе, которая занимает высшие звенья кормовых цепей в экосистеме водоемов. Подобное накопление токсикантов может быть опасным для человека, который может употреблять в пищу такую рыбу [7].

Обнаруженные концентрации ХОП и ПХБ в различных органах и тканях рыб приведены в табл. 3.

Таблица 2

Содержание ХОП и ПХБ в донных отложениях р. Темерник, мкг/кг сухой массы
/ Content of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in bottom sediments of Temernik river, mkg/kg of dry weight

Место отбора	Зима 2018 г.		Весна 2018 г.		Лето 2018 г.		Осень 2018 г.		Зима 2019 г.	
	ХОП	ПХБ	ХОП	ПХБ	ХОП	ПХБ	ХОП	ПХБ	ХОП	ПХБ
Ростовское море	<0,1	<1	0,5	<1	0,1	<1	16,7	<1	2,9	<1
Камышеваха	<0,1	<1	2,8	<1	0,3	<1	1,1	<1	0,2	<1
Рынок «Темерник»	0,2	<1	1,5	<1	0,9	<1	0,5	<1	1,2	<1
Сурб-Хач	<0,1	<1	1,3	<1	1,3	<1	1,1	<1	1,5	<1
Верхнее водохранилище	0,4	<1	0,6	<1	2,1	<1	1,3	<1	1,8	<1
Верхнее водохранилище-2	0,2	<1	0,5	<1	0,3	<1	0,4	<1	0,3	<1
Нижнее водохранилище	<0,1	<1	1,9	<1	<0,1	<1	0,1	<1	1,4	<1
Змиевская балка	1,2	<1	1,7	<1	2,8	<1	1,3	<1	1,7	<1
Ботанический сад	<0,1	<1	2,7	<1	0,6	<1	1	<1	0,1	<1
Автовокзал	<0,1	<1	0,3	<1	0,5	<1	<0,1	<1	0,6	<1
Устье	<0,1	<1	1,1	<1	1,1	<1	1,1	<1	0,3	<1

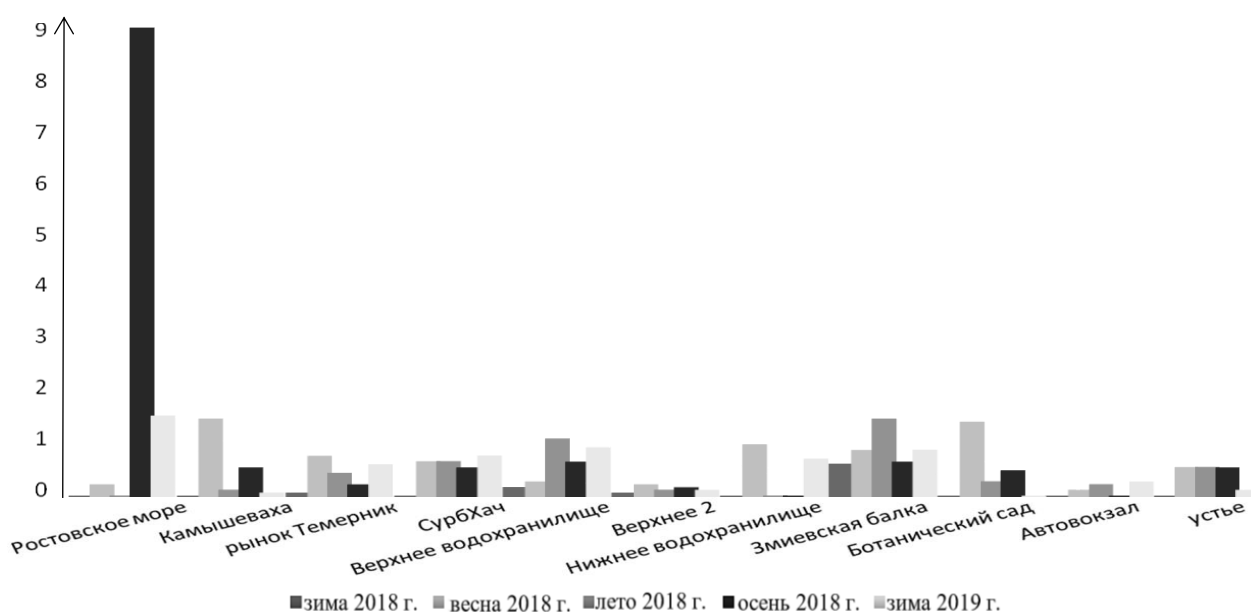


Рис. 3. Содержание ХОП в донных отложениях р. Темерник, мкг/кг сухой массы
/ Fig. 3. Content of organochlorine pesticides in bottom sediments of Temernik river, mkg/kg of dry weight

Таблица 3
Содержание ХОП и ПХБ в пробах биологического материала, мкг/кг сырой массы / Content of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in samples of biological material, mkg/kg of crude mass

Орган	ΣХОП	ΣПХБ
Мышцы карася (13–16 см, 1–2 года)	0,6	<1,0
Мышцы карася (17–20 см, 2–3 года)	1,4	<1,0
Мышцы тарани (3 года)	1,4	<1,0
Печень тарани (3 года)	3,4	<1,0

Согласно полученным данным, уровень содержания персистентных хлорорганических соединений в мышцах рыб намного ниже принятых норм ПДК для пищевых продуктов [8]. Концентрация ПХБ во всех пробах находилась ниже уровня предела обнаружения. Но в низких концентрациях в их тканях и печени обнаруживаются такие метаболиты ДДТ, как 4,4'-ДДЕ и 4,4'-ДДД, имеющие глобальное распространение в природной среде. Концентрация ХОП в мышцах карасей зависит от размера рыб (табл. 3), возраста и массы. Так, в мышцах карася 1–2 лет содержание пестицидов равнялось 0,6 мкг/кг сырой массы, в мышцах карася 2–3 лет и тарани содержание ХОП было равным и находилось в пределах 1,4 мкг/кг. Содержание ХОП в печени тарани значительно выше, чем в мышцах, так как печень яв-

ляется депонирующим органом, где в первую очередь происходит накопление загрязняющих веществ.

Анализ накопления ХОП в исследуемых видах рыб позволяет сделать заключение о том, что современный уровень пестицидного загрязнения акватории р. Темерник не оказывает выраженного негативного влияния и лимитирующего воздействия на верхние, как правило, самые уязвимые звенья трофических цепей. Тем не менее обнаружение этих токсикантов в тканях и печени рыб является сигналом для актуализации мониторинговых наблюдений с целью предотвращения отрицательных влияний на количественные и качественные параметры экосистемы р. Темерник.

Заключение

Анализ проб воды, донных отложений, органов и тканей рыб в р. Темерник на содержание различных конгенов ПХБ на протяжении всех сезонов года показал, что концентрация этих токсикантов находится ниже пределов обнаружения, и можно говорить об их отсутствии в экосистеме реки на момент исследований.

В составе ХОП, обнаруженных в воде, донных отложениях и рыбе р. Темерник, непосредственно ДДТ отмечено не было, но в пробах были идентифи-

цированы метаболиты -4,4'-ДДЕ и 4,4'-ДДД. Остальные изомеры были меньше предела обнаружения. Это означает, что загрязнение воды и донных отложений р. Темерник можно охарактеризовать как хроническое (коэффициент ДДТ/ДДЕ меньше 1), а также то, что, несмотря на многолетний запрет использования ДДТ, его метаболиты, не менее токсичные, чем сам ДДТ, до сих пор циркулируют в природе и попадают в водоемы.

Особенности сезонного и территориального распределения ХОП в воде р. Темерник свидетельствуют о том, что наиболее вероятными путями поступления данных токсикантов в настоящее время являются смывы из почв сельскохозяйственных угодий, где ранее могли применяться ХОП, а не городская застройка. Наиболее высокие концентрации в воде отмечаются в летний период, что может быть обусловлено не только снижением водности реки (летняя межень), но и аккумуляцией загрязненных вод в водохранилищах. Весной и осенью, в период увеличения стока, распределение ХОП по реке более равномерно и несколько выше в устьевой части, где имеется спрямленное русло в виде бетонного желоба, что свидетельствует об интенсивном вымывании токсикантов. Зимой максимальные значения ХОП были выявлены в среднем течении, где находятся водохранилища, что также обусловлено снижением стока реки.

Концентрация ХОП в рыбах Темерника не превышала допустимых норм для пищевых продуктов. Отмечена зависимость увеличения концентрации от возраста рыб (в более старших группах отмечены более высокие значения концентраций ХОП), а также закономерные особенности локализации пестицидов в органах – в печени значения концентрации липофильных пестицидов были выше, чем в мышцах.

Несмотря на отсутствие в пробах воды и донных отложений ПХБ, а также случаев превышений ПДК по содержанию ХОП в воде и допустимых норм концентраций в рыбе, выявлено наличие стойких ХОП как в среде обитания, так и в самих рыбах р. Темерник. Все это указывает на поступление и циркуляцию опасных токсикантов в экосистеме реки и на необходимость дальнейшего мониторинга этих веществ в водных объектах Нижнего Дона и особенно р. Темерник.

Литература

1. Лукьянова О.Н., Бродский Г.М., Чуйко Е.С. Стойкие органические загрязняющие вещества в донных от-

ложениях эстуарных зон трех рек залива Петра Великого (Японское море) // Вестн. Тюменского гос. ун-та. 2012. № 12. С. 119–126.

2. Патин С.А. Эколого-токсикологические аспекты загрязнения морской среды. Проблемы химического загрязнения вод Мирового океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 120 с.

3. Alani R., Drouillard K., Olayinka K., Alo B. Bioaccumulation of organochlorine pesticide residues in fish and invertebrates of Lagos Lagoon, Nigeria // American J. of Scientific and Industrial Research. 2013. № 4 (1). P. 22–30.

4. Практическое руководство по химическому анализу элементов водных экосистем. Приоритетные токсиканты в воде, донных отложениях, гидробионтах / под ред. Т.О. Барабашина. Ростов н/Д.: Мини Тайп, 2018. 436 с.

5. Жукова С.В., Шишкин В.М., Куропаткин А.П., Лутынская Л.А., Фоменко И.Ф., Подмарева Т.И., Стрельченко О.В., Ковтун И.Ф., Корнеев А.А. Малые реки Донского региона : анализ, обзор науч.-исслед. работ АЗНИИРХ, выполненных в 1980–1992 гг. по малым рекам Донского района. Ростов н/Д.: Медиаполис, 2007. 82 с.

6. Качество морских вод по гидрохимическим показателям : ежегодник, 2012 год / Гос. океанографический ин-т им. Н.Н. Зубова. Обнинск: Артефакс, 2013. 199 с.

7. Короткова Л.И. Хлорорганические пестициды в экосистеме Азовского моря // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна : сб. науч. тр. АЗНИИРХа. Ростов н/Д., 2008. С. 323–333.

8. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов : утвержд. главным государственным санитарным врачом Российской Федерации от 31.05.2002 № 18.

References

1. Luk'yanova O. N., Brodskii G.M., Chuiiko E.S. Stoikie organicheskie zagryaznyayushchie veshchestva v donnykh otlozheniyakh estuarnykh zon trekh rek zaliva Petra Velikogo (Yaponskoe more) [Persistent organic pollutants in bottom sediments of estuarine zones of three rivers of Peter the Great Bay (sea of Japan)]. Vestn. Tyumenskogo gos. un-ta. 2012, No. 12, pp. 119-126.

2. Patin S.A. Ekologo-toksilogicheskie aspekty zagryazneniya morskoi sredy. Problemy khimicheskogo zagryazneniya vod Mirovogo okeana [Ecological and toxicological aspects of marine pollution. Problems of chemical pollution of the oceans]. Leningrad: Gidrometioizdat, 1985, 120 p.

3. Alani R., Drouillard K., Olayinka K., Alo B. Bioaccumulation of organochlorine pesticide residues in fish and invertebrates of Lagos Lagoon, Nigeria. *American J. of Scientific and Industrial Research*. 2013, No. 4 (1), pp. 22-30.

4. *Prakticheskoe rukovodstvo po khimicheskomu analizu elementov vodnykh ekosistem. Prioritetnye toksikanty v vode, donnykh otlozheniyakh, gidrobiontakh* [Practical guide to chemical analysis of elements of aquatic ecosystems. Priority toxicants in water, sediments, hydrobionts]. Ed. T.O. Barabashin. Rostov-on-Don: Mini Taip, 2018, 436 p.

5. Zhukova S.V., Shishkin V.M., Kuropatkin A.P., Lutynskaya L.A., Fomenko I.F., Podmareva T.I., Strel'chenko O.V., Kovtun I.F., Korneev A.A. *Malye reki Donskogo regiona* [Small rivers of the Don region]. Analytical review of research works of AZNIIRKH carried out in 1980-1992 on small rivers of the Don

region. Rostov-on-Don: Media-polis, 2007, 82 p.

6. *Kachestvo morskikh vod po gidrokhimicheskim pokazatelyam* [The quality of marine waters according to hydrochemical indicators]. Yearbook 2012. / Zubov State Oceanographic Institute. Obninsk: Artefaks, 2013, 199 p.

7. Korotkova L.I. [Organochlorine pesticides in the ecosystem of the Azov sea]. *Osnovnye problemy rybnogo khozyaistva i okhrany rybokhozyaistvennykh vodoemov Azovo-Chernomorskogo basseina* [The main problems of fishery and protection of fishery reservoirs of the Azov-black sea basin]. Collection of Scientific Works of AZNIIRKH. Rostov-on-Don, 2008, pp. 323-333.

8. SanPiN 2.3.2.1078-01. *Gigienicheskie trebovaniya bezopasnosti i pishchevoi tsennosti pishchevykh produktov* [Hygienic requirements for food safety and nutritional valu]. Approved by the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation from 31.05.2002 No. 18.

Поступила в редакцию / Received

26 апреля 2019 г. / April 26, 2019

УДК 551.21 + 550.4 + 553.98

DOI 10.23683/0321-3005-2019-2-41-46

ГАЗОГЕОХИМИЯ ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ В СВЯЗИ С ПРОГНОЗОМ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЗЕМНЫХ НЕДР

© 2019 г. Д.Д. Бондаренко¹, В.В. Ершов¹

¹Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения РАН, Южно-Сахалинск, Россия

GAS GEOCHEMISTRY OF MUD VOLCANOES AND ITS RELATION WITH OIL AND GAS PROSPECTING

D.D. Bondarenko¹, V.V. Ershov¹

¹Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Бондаренко Дарья Денисовна – младший научный сотрудник, Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения РАН, ул. Науки, 1б, г. Южно-Сахалинск, 693022, Россия, e-mail: bondarenko_dasha@mail.ru

Daria D. Bondarenko – Junior Researcher, Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Nauki St., 1b, Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russia, e-mail: bondarenko_dasha@mail.ru

Ершов Валерий Валерьевич – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения РАН, ул. Науки, 1б, г. Южно-Сахалинск, 693022, Россия, e-mail: valery_ershov@mail.ru

Valery V. Ershov - Candidate of Physics and Mathematics, Leading Researcher, Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Nauki St., 1b, Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russia, e-mail: valery_ershov@mail.ru

Представлены результаты обобщения и анализа общемировых данных об изотопном и химическом составе газов наземных грязевых вулканов. В большинстве случаев в составе грязевулканических газов преобладает метан, средняя концентрация которого составляет около 92,5 об. %. При этом концентрации тяжелых гомологов метана довольно низкие, т.е. грязевулканические газы являются сухими. Почти три четверти всех газовых проб имеют концентрацию этана меньше 0,5 об. %. Для определения генезиса грязевулканических газов были использованы данные об изотопном составе углерода и водорода в метане. В большинстве грязевых вулканов метан имеет термогенное происхождение. Изотопный состав углерода в метане находится главным образом в интервале от –60 до –25 ‰ PDB. При этом газы значительной части грязевых вулканов соответствуют поздним стадиям катагенеза. Полученные нами результаты подтверждают, что грязевой вулканизм можно рассматривать как прямой признак нефтегазоносности земных недр.

Ключевые слова: газогеохимия, грязевые вулканы, нефтегазоносность, стабильные изотопы, генезис, катагенез.

In this paper, we present the results of generalization and analysis of worldwide data on the isotope and chemical composition of gases from terrestrial mud volcanoes. In most cases, methane predominates in mud volcanic gases. The average concentration of methane is about 92.5 vol. %. The concentrations of heavy methane homologues are enough low, i.e. mud volcanic gases are dry. Nearly three-quarters of gas samples show the ethane concentration of less than 0.5 vol. %. We used data on the isotopic composition of carbon and hydrogen in methane to determine the genesis of mud volcanic gases. Methane is thermogenic origin in most mud volcanoes. The carbon isotopic composition of methane shows mainly the range from –60 to –25 ‰ PDB. We also see that the gases of many mud volcanoes correspond to the late stages of catagenesis. The results of our researches verify that mud volcanism is an indicator of the oil and gas prospects.

Keywords: gas geochemistry, mud volcanoes, oil and gas prospecting, stable isotopes, genesis, catagenesis.

Грязевой вулканизм является одним из наиболее ярких проявлений фокусированной разгрузки углеводородных флюидов. Изучение грязевого вулканизма важно для прогноза и поисков месторождений нефти и газа. Известно, что во многих крупных нефтегазоносных бассейнах широко распространены грязевые вулканы [1]. В частности, хорошо известен грязевой вулкан Локбатан (Азербайджан),

располагающийся непосредственно на крупном месторождении нефти и газа, которое было разбурено в 30-х гг. XX в. и эксплуатируется до сих пор. Предполагается, что указанная связь имеет не только пространственный, но и генетический характер. Вероятно, формирование очагов грязевого вулканизма происходит в результате тех же процессов генерации, аккумуляции и миграции газа, которые проду-

цируют и скопления углеводородов. В грязевых вулканах на поверхность выносятся большое количество подземных флюидов, по составу которых можно судить о возможных залежах углеводородов, наличии нефтегазоматеринских горизонтов.

Вопрос о связи грязевого вулканизма и нефтегазоносности подробно рассматривался в работе [2], где отмечается схожесть составов продуктов грязевулканической деятельности и пластовых флюидов месторождений. При этом и месторождения, и грязевые вулканы увязываются с неогеновыми, палеогеновыми и меловыми осадочными толщами. В этой же работе по итогам анализа обширных геолого-геохимических данных, собранных из разных регионов бывшего СССР, сделан вывод о том, что зоны развития грязевых вулканов являются благоприятными в отношении поисков нефти и газа.

Положительная оценка перспектив нефтегазоносности регионов развития грязевых вулканов дана и в работе [3]. Эта оценка основана на эмиссии огромного количества углеводородных газов грязевыми вулканами, приуроченности вулканов к положительным структурным элементам (антиклинальным складкам), наличии нефтегазонасыщенных и сингенетичных битуминозных пород в твердых выбросах. Поскольку грязевые вулканы приурочены к областям длительного и интенсивного погружения в мезозойско-кайнозойское время, то можно прогнозировать нефтегазоносность глубокозалегающих слоев (до глубин 10 км). Отмечается, что, несмотря на существенные различия грязевых вулканов по морфологии и характеру деятельности, в них при извержениях ни разу не наблюдались нефтяные струи. Это свидетельствует об отсутствии связи выводных каналов грязевых вулканов с залежами нефти.

В работе [4] рассмотрен грязевой вулканизм Северо-Западного Кавказа и высказана гипотеза о том, что грязевые вулканы и глинисто-диапировые образования являются здесь одним из важных условий процесса формирования месторождений нефти и газа. Грязевой вулканизм рассматривается как одно из проявлений деформационного процесса, развивающегося под действием тектонических сил. Деформация майкопских отложений, насыщенных органическим веществом, приводит к активации процессов генерации углеводородов, которые затем могут мигрировать по разрывным каналам грязевых вулканов.

Похожие идеи высказываются и в работе [5]. Предполагается, что в условиях быстропогружающегося осадочного бассейна формируются многоэтажные слоистые отложения (по мере заполнения бассейна). При этом накопленные на значительной глубине майкопские глинистые образования с точки зрения механики можно рассматривать как легкую

жидкость, обладающую неньютоновскими свойствами. В результате явления Рэлея – Тейлора (по причине гравитационной неустойчивости) возникает конвективное движение и жидкость формирует интрузии (процесс продолжается и в настоящее время) в вышележащую среду. Эта жидкость, содержащая углеводороды, заполняет пористые зоны газом, нефтью и водой. Процесс продолжается до тех пор, пока давление, нагнетающее жидкость в поровое пространство, остается выше геостатического давления.

Таким образом, грязевые вулканы могут служить индикаторами промышленных месторождений нефти и газа в земных недрах. Они могут либо сопутствовать процессам образования залежей нефти и газа, либо напрямую участвовать в них. Корни грязевых вулканов пересекают мощную толщу осадочных пород, в том числе и все заключенные в ней водоносные, газонасыщенные и нефтеносные горизонты. В подводящий канал вулкана как в естественную область разгрузки поступают пластовые флюиды из этих горизонтов, которые затем поднимаются к земной поверхности. В связи с этим интерес представляют газогеохимические аспекты деятельности грязевых вулканов. Изучение грязевулканических газов позволяет пролить свет на источники и генезис этих газов, пути и способы их миграции, оценить перспективы нефтегазоносности еще не вскрытых бурением отложений.

История газогеохимических исследований грязевых вулканов насчитывает уже много десятков лет, и время от времени предпринимаются попытки обобщения данных. В работе [6] был выполнен анализ данных о химическом составе газов грязевых вулканов Кавказа и Крыма. Были выделены две газонасыщенные провинции: 1) провинция Юго-Восточного Кавказа, в газах которой доминирует метан (в среднем 92,5 об. %), азот преобладает над углекислотой, сравнительно высокое содержание тяжелых углеводородов (в среднем 0,7 об. %); 2) провинция Северо-Западного Кавказа и Крыма, в газах которой содержится меньшее количество метана и тяжелых углеводородов, а углекислота преобладает над азотом.

В работе [7] были обобщены данные об изотопном и химическом составе газов из всех основных грязевулканических областей СССР (126 проб из более 100 вулканов). Отмечается, что большинство грязевых вулканов характеризуется сухими (с низким содержанием тяжелых углеводородов) метановыми газами. По изотопному составу углерода и водорода в метане грязевулканические газы близки к газам нефтяных и газовых месторождений. В то же время для многих вулканов характерна изотопно «ультратяжелая» углекислота – значения $\delta^{13}\text{C}$ от +8

до +20 ‰ PDB. На основании этого сделан вывод о связи газов грязевых вулканов с продуктами глубинной дегазации Земли.

Первое обобщение общемировых газогеохимических данных выполнено в работах [8, 9], где были собраны сведения об около 230 газовых пробах из более 140 наземных грязевых вулканов. Для анализа привлекались также данные по газопроявлениям (сипам) и пластовым газам из разных стран, включая регионы развития грязевого вулканизма.

За прошедшие годы появилось много новых данных об изотопном и химическом составе грязевулканических газов. В связи с этим нами была составлена обновленная база данных, включающая около 700 проб из более 270 наземных грязевых вулканов [10]. Эта база охватывает грязевые вулканы США, Тринидада, Италии, Румынии, Керченского и Таманского полуостровов, Азербайджана, Грузии, Туркменистана, острова Сахалин, Индии, Китая, Японии, Тайваня и Папуа – Новой Гвинеи. Отметим, что полученная база данных существенно неоднородна – выборки для каждого газогеохимического показателя имеют разный объем. Например, измерения концентрации метана имеются для более 650 проб, концентрации этана – для более 330 проб, а концентрации кислорода – только для около 150 проб.

Основными компонентами грязевулканических газов являются метан, углекислый газ и азот. В большинстве случаев в составе газов преобладает метан – почти для 79 % всех проб его содержание составляет от 80 до 100 об. % (рис. 1).

Однако встречаются также грязевые вулканы, в газах которых преобладает углекислый газ (более 50 об. %). К ним относятся некоторые итальянские, тайваньские, калифорнийские, сахалинские и керченские вулканы. Известен также совсем необычный грязевой вулкан Номород (Румыния), в газах которого преобладает азот – содержание 90–93 об. % [11]. Для большинства остальных вулканов концентрация азота не превышает 20 об. %. Содержание тяжелых гомологов метана, как правило, невысокое: около 72 % всех газовых проб имеют концентрацию этана меньше 0,5 об. %, а концентрация этана больше 4 об. % наблюдается только в 8 % всех проб. От-

метим, что у большинства грязевых вулканов доминирует какая-то одна газовая компонента – CH_4 , CO_2 или N_2 . Практически отсутствуют вулканы, где эти газовые компоненты присутствовали бы одновременно в более-менее равных пропорциях.

Важной проблемой является генетическая типизация газов, выделяющихся из грязевых вулканов. Для этого традиционно используются данные о содержании стабильных изотопов в различных компонентах грязевулканических газов. Около 92 % всех газовых проб имеют значения $\delta^{13}\text{C}$ метана от –60 до –25 ‰ PDB. Такой изотопный состав углерода соответствует метану термогенного происхождения. При этом в интервале от –40 до –25 ‰ PDB находится около 25 % проб. Около 3 % всех проб содержат микробиальный метан (от –75 до –60 ‰ PDB). Около 5 % всех проб содержат изотопно тяжелый метан (больше –25 ‰ PDB), который можно трактовать как абиогенный.

Изотопный состав углерода углекислого газа тоже свидетельствует о большом вкладе органического вещества в генерацию грязевулканических газов. Около 34 % всех проб имеют значения $\delta^{13}\text{C}$ больше +5 ‰ PDB, что соответствует углекислому газу, который образуется при анаэробной биодеградации нефти. Около 18 % проб соответствуют процессу декарбоксилирования керогена (от –25

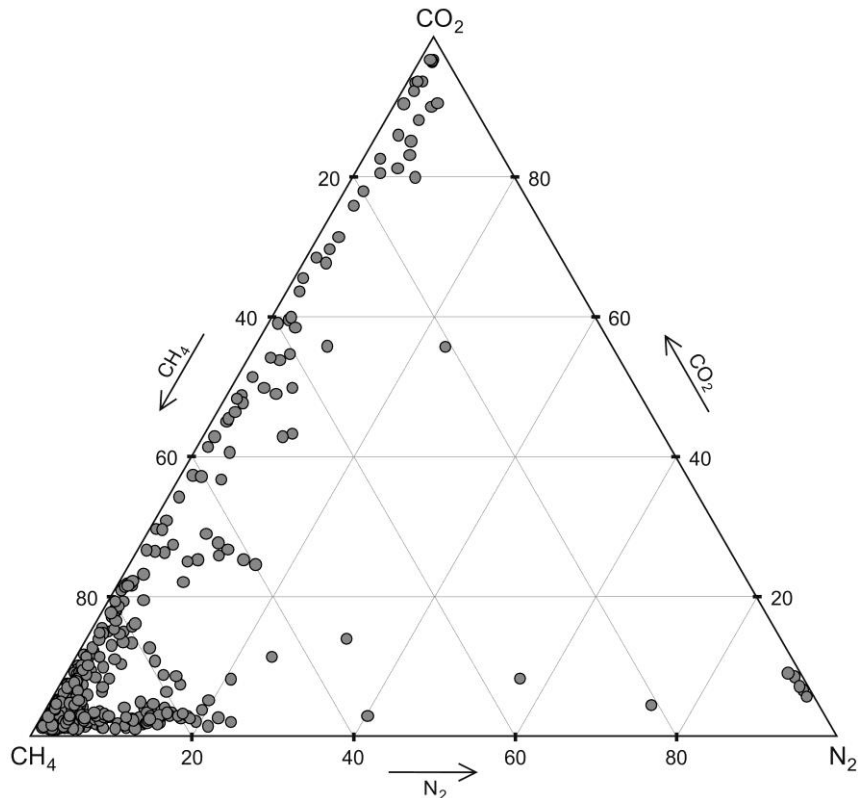


Рис. 1. Химический состав газов грязевых вулканов из разных регионов мира
/ Fig. 1. Chemical composition of gases discharged by mud volcanoes from different regions of the world

до -10‰ PDB). Еще около 7 % проб имеют микробиальный генезис (меньше -25‰ PDB).

Диаграмма Шоэлла, использующая содержание углерода-13 и дейтерия в метане, показывает, что большинство грязевых вулканов попадает в поле термогенных газов или близко к нему (рис. 2). Диаграмма Бернарда использует содержание углерода-13 в метане и отношение концентрации метана к суммарной концентрации его тяжелых гомологов. Видно, что небольшая часть проб (10–15 %) попадает в поле микробиального газа или на линию смешивания микробиального и термогенного газов (рис. 3). Значительная часть проб попадает в поле термогенного газа, в том числе и в области, соответствующие кергену типа 2 и 3.

Отметим, что в работе [12] проводился пиролиз пород – выбросов грязевых вулканов Азербайджана на установке Rock-Eval. Установлено, что органическое вещество пород исследованных вулканов относится к преимущественно смешанному сапропелево-гумусовому типу (кероген типа 2–3). Органическое вещество пород некоторых вулканов относится к гумусовому типу (кероген типа 3), который является главным образом газопродуцирующим. На основе экспериментальных зависимостей между изотопным составом углерода в этане и отражательной способностью витринита (R_0) была сделана оценка глубины залегания очагов углеводородных газов. Рассчитанные значения R_0 варьируют в пределах 1,3–2,47 %, что отвечает поздним стадиям катагенеза, когда генерируется в основном метан, а нефть и тяжелые углеводороды образуются в небольшом количестве. Это соответствует интервалу глубин 7–10 км [12].

Диаграмма Бернарда показывает, что много грязевых вулканов попадает в неоднозначную область, которая лежит выше термогенного поля и справа от микробиального поля (рис. 3). Эта область указывает на вторичные постгенетические процессы: окисление микробиального газа или молекулярное

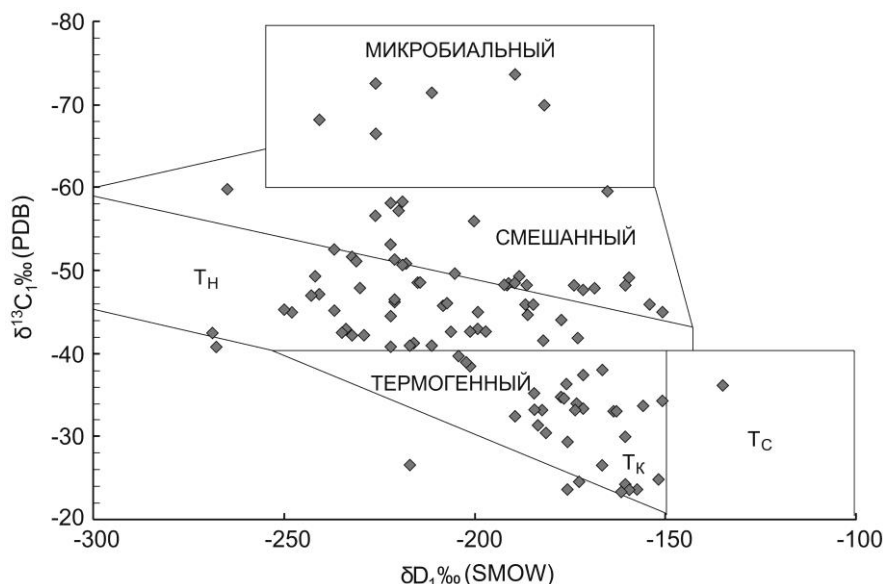


Рис. 2. Газогенетическая диаграмма Шоэлла для грязевых вулканов (из работы [8]): ТН – термогенный газ с нефтью; Тк – термогенный газ с конденсатом; Тс – сухой термогенный газ / Fig. 2. Methane carbon and hydrogen isotope diagram (Schoell plot) for mud volcanoes (from [8]): ТН - thermogenic gas with oil; Тк - thermogenic gas with condensate; Тс - dry thermogenic gas

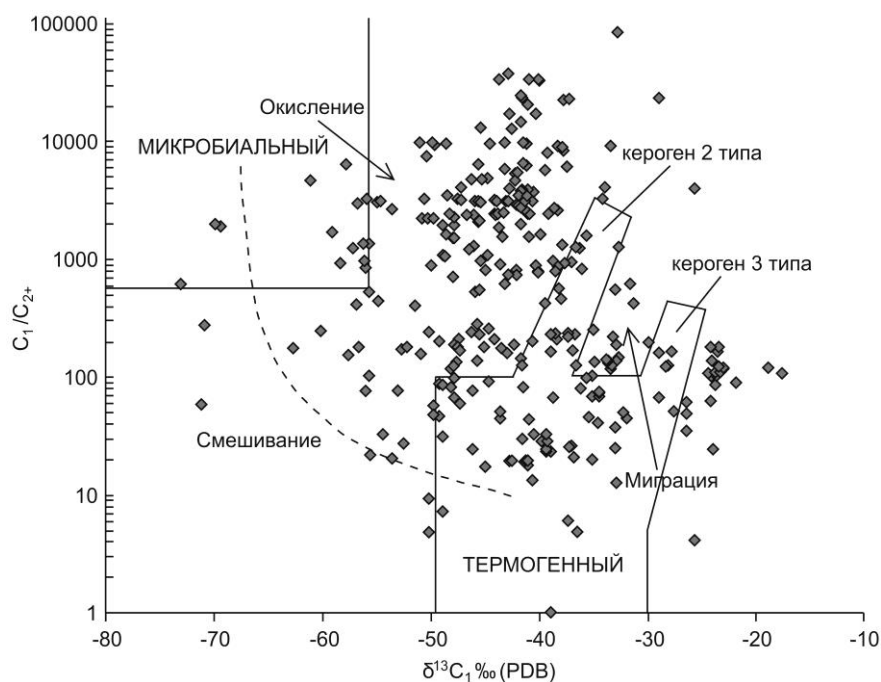


Рис. 3. Газогенетическая диаграмма Бернарда для грязевых вулканов (из работы [8]) / Fig. 3. Methane carbon isotope vs. HC molecular composition diagram (Bernard plot) for mud volcanoes (from [8])

фракционирование во время миграции [8]. В работе [8] было показано, что грязевулканические газы являются более сухими, чем пластовые газы из этих же регионов. Тогда как изотопный состав у них почти одинаковый. Из этого был сделан вывод о наличии эффекта молекулярного фракционирования – дистилляции или дифференциальной сегрегации при взаимодействии с водой легких углеводородных молекул в зависимости от их свойств адсорбции и растворимости. Считается также, что молекулярное фракционирование типично для медленно дегазирующих грязевых вулканов [8]. Соответственно, при интенсивном газовыделении (например, при извержении) грязевулканические газы по молекулярному составу практически идентичны пластовому газу.

Подводя итог нашему исследованию, можно говорить о том, что грязевой вулканизм следует рассматривать как прямой признак нефтегазоносности земных недр. Изучение газогеохимических аспектов деятельности грязевых вулканов полезно для решения некоторых проблемных вопросов нефтяной геологии.

На основе анализа общемировых данных об изотопном и химическом составе мы полагаем, что газы большинства грязевых вулканов имеют термогенное происхождение. При этом газы значительной части грязевых вулканов соответствуют поздним стадиям катагенеза, когда образуется сухой метановый газ. В работе [3] на основании общего хода процессов изменения органического вещества и образования нефти и газа в вертикальном разрезе осадочной толщи выделяют следующие геохимические зоны: биохимическую (0–50 м), переходную (50–1000 м), термокаталитическую (1–6 км) и метановую (ниже 6 км). Соответственно, можно говорить о том, что многие очаги генерации грязевулканических газов попадают в метановую геохимическую зону.

Литература

1. Дадашев Ф.Г., Мамедова П.А., Полетаев А.В. Зональное распределение грязевых вулканов в нефтегазоносных областях // Геология нефти и газа. 2003. № 1. С. 18–20.
2. Якубов А.А., Григорьянц Б.В., Алиев Ад.А., Бабазаде А.Д., Велиев М.М., Гаджиев Я.А., Гусейнзаде И.Г., Кабулова А.Я., Кастрюлин Н.С., Матанов Ф.А., Мустафаев М.Г., Рахманов Р.Р., Сафарова О.Б., Сеидов А.Г. Грязевой вулканизм Советского Союза и его связь с нефтегазоносностью. Баку: Элм, 1980. 167 с.
3. Рахманов Р.Р. Грязевые вулканы и их значение в прогнозировании газонефтеносности недр. М.: Недра, 1987. 174 с.
4. Viginskiy V.A., Golovachev E.M., Levchenko V.T., Poleshchuk A.T., Sheremet'yev V.M. Mud volcanism of

the northwestern Caucasus and the oil and gas prospects // *Rus. J. of Earth Sciences*. 2006. Vol. 8. DOI: 10.2205/2006ES000198.

5. Юсубов Н.П., Гулиев И.С. Роль грязевого вулканизма в образовании нефтяных и газовых месторождений // *Азербайджанское нефтяное хозяйство*. 2018. № 9. С. 9–20.
6. Ронов А.Б. К геохимии газов грязевых вулканов Кавказа и Крыма // *Докл. АН СССР*. 1951. Т. 77, № 6. С. 1063–1066.
7. Валяев Б.М., Гринченко Ю.И., Ерохин В.Е., Прохоров В.С., Титков Г.А. Изотопный облик газов грязевых вулканов // *Литоология и полезные ископаемые*. 1985. № 1. С. 72–87.
8. Etiope G., Feyzullayev A., Baciuc C.L. Terrestrial methane seeps and mud volcanoes: A global perspective of gas origin // *Marine and Petroleum Geology*. 2009. Vol. 26. P. 333–344.
9. Etiope G., Feyzullayev A., Milkov A.V., Waseda A., Mizobe K., Sun C.H. Evidence of subsurface anaerobic biodegradation of hydrocarbons and potential secondary methanogenesis in terrestrial mud volcanoes // *Marine and Petroleum Geology*. 2009. Vol. 26. P. 1692–1703.
10. Бондаренко Д.Д., Мельдер В.М. Геохимическая характеристика газов грязевых вулканов мира // *Геология в развивающемся мире : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых : в 3 т. Пермь: ПГНИУ, 2018. Т. 2. С. 38–41.*
11. Baciuc C., Ionescu A., Etiope G. Hydrocarbon seeps in Romania: Gas origin and release to the atmosphere // *Marine and Petroleum Geology*. 2018. Vol. 89. P. 130–143.
12. Гулиев И.С., Фейзуллаев А.А., Алиев Ад.А., Мовсумова У.А. Состав газов и органического вещества пород – выбросов грязевых вулканов Азербайджана // *Геология нефти и газа*. 2005. № 3. С. 27–31.

References

1. Dadashev F.G., Mamedova P.A., Poletayev A.V. Zonal'noe raspredelenie gryazevykh vulkanov v neftegazonosnykh oblastiakh [Zonal distribution of mud volcanoes in oil and gas-bearing areas]. *Geologiya nefiti i gaza*. 2003, No. 1, pp. 18–20.
2. Yakubov A.A., Grigor'yants B.V., Aliev Ad.A. [i dr.]. *Gryazevoi vulkanizm Sovetskogo Soyuza i ego svyaz's neftegazonosnost'yu* [Mud volcanism of the Soviet Union and its relationship to presence of oil and gas]. Baku: Elm, 1980, 167 p.
3. Rakhmanov R.R. *Gryazeveye vulkany i ikh znachenie v prognozirovanii gazoneftenosnosti neдр* [Mud volcanoes and their value in predicting oil and gas resources]. Moscow: Nedra, 1987, 174 p.
4. Viginskiy V.A., Golovachev E.M., Levchenko V.T., Poleshchuk A.T., Sheremet'yev V.M. Mud volcanism of the northwestern Caucasus and the oil and gas prospects. *Russian Journal of Earth Sciences*. 2006, vol. 8, DOI: 10.2205/2006ES000198.

5. Yusubov N.P., Guliev I.S. Rol' gryazevogo vulkanizma v obrazovanii neftyanykh i gazovykh mestorozhdenii [The role of mud volcanism in the formation of oil and gas fields]. *Azerbaidzhanskoe neftyanoe khozyaistvo*. 2018, No. 9, pp. 9-20.

6. Ronov A.B. K geokhimii gazov gryazevykh vulkanov Kavkaza i Kryma [On the geochemistry of gases of mud volcanoes of the Caucasus and Crimea]. *Dokl. AN SSSR*. 1951, vol. 77, No. 6, pp. 1063-1066.

7. Valyaev B.M., Grinchenko Yu.I., Erokhin V.E., Prokhorov V.S., Titkov G.A. Izotopnyi oblik gazov gryazevykh vulkanov [Isotopic composition of gases from mud volcanoes]. *Litologiya i poleznye iskopaemye*. 1985, No. 1, pp. 72-87.

8. Etiope G., Feyzullayev A., Baciuc C.L. Terrestrial methane seeps and mud volcanoes: A global perspective of gas origin. *Marine and Petroleum Geology*. 2009, vol. 26, pp. 333-344.

9. Etiope G., Feyzullayev A., Milkov A.V., Waseda A., Mizobe K., Sun C.H. Evidence of subsurface anaerobic bi-

odegradation of hydrocarbons and potential secondary methanogenesis in terrestrial mud volcanoes. *Marine and Petroleum Geology*. 2009, vol. 26, pp. 1692-1703.

10. Bondarenko D.D., Mel'der V.M. [Geochemical characteristics of the mud volcanoes gases in the world]. *Geologiya v razvivayushchetsya mire* [Geology in the developing world]. Materials of the 11th International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists: in 3 vol. Perm: PGNIU, 2018, vol. 2, pp. 38-41.

11. Baciuc C., Ionescu A., Etiope G. Hydrocarbon seeps in Romania: Gas origin and release to the atmosphere. *Marine and Petroleum Geology*. 2018, vol. 89, pp. 130-143.

12. Guliev I.S., Feizullaev A.A., Aliev A.D.A., Movsumova U.A. Sostav gazov i organicheskogo veshchestva porod-vybrosov gryazevykh vulkanov Azerbaidzhana [Composition of gases and organic matter of rock-ejections of mud volcanoes of Azerbaidjan]. *Geologiya nefti i gaza*. 2005, No. 3, pp. 27-31.

УДК 504.05

DOI 10.23683/0321-3005-2019-2-47-54

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ РЕЧНЫХ ЭКОСИСТЕМ В БАССЕЙНЕ СЕВЕРСКОГО ДОНЦА (В ПРЕДЕЛАХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

© 2019 г. **Х.А. Васта Ахмед¹, О.С. Решетняк^{1,2}, В.Е. Закруткин¹**

¹ Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия,

² Гидрохимический институт Росгидромета, Ростов-на-Дону, Россия

COMPLEX EVALUATION OF MODERN CONDITION OF RIVER ECOSYSTEMS IN THE BASIN OF THE SEVERSKY DONETS (WITHIN THE ROSTOV REGION)

H.A. Vasta Ahmed¹, O.S. Reshetnyak^{1,2}, V.E. Zakrutkin¹

¹ Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

² Hydrochemical Institute, Roshydromet, Rostov-on-Don, Russia

Васта Ахмед Хемн Абдулла – аспирант, кафедра геоэкологии и прикладной геохимии, Институт наук о Земле, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: hemn.haje84@gmail.com

Hemn A. Vasta Ahmed - Postgraduate, Department of Geoecology and Applied Geochemistry, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: hemn.haje84@gmail.com

Решетняк Ольга Сергеевна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Гидрохимический институт Росгидромета, пр. Стачки, 198, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия; доцент, кафедра геоэкологии и прикладной геохимии, Институт наук о Земле, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: olgare1@mail.ru

Olga S. Reshetnyak - Candidate of Geography, Senior Researcher, Hydrochemical Institute, Roshydromet, Stachki Ave, 198, Rostov-on-Don, 344090, Russia; 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@mail.ru

Закруткин Владимир Евгеньевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой геоэкологии и прикладной геохимии, Институт наук о Земле, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов н/Д, 344090, Россия, 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

Представлены результаты комплексных исследований качества воды и состояния водных экосистем в бассейне Северского Донца. Установлено, что в последние годы качество речных вод остается достаточно низким (4-й класс – грязная, 5-й класс качества – экстремально грязная), поверхностные воды обогащены широким спектром макро- и микрокомпонентов. При этом состояние фитопланктона характеризуется как антропогенное напряжение с элементами экологического регресса. Токсическое свойство речных вод в бассейне Северского Донца проявляется в большинстве створов рек, особенно в местах ниже выхода шахтных вод.

В целом комплексная оценка показала неудовлетворительное качество вод по биологическим и гидрохимическим показателям. Однако состояние гидробионтов не находится в угнетающем состоянии, что свидетельствует о некоторой адаптации к сформировавшемуся уровню загрязнения среды их обитания. Полученные данные могут быть использованы не только при оценке современного состояния экосистем в бассейне р. Северский Донец, но и в дальнейшем – для прогнозирования гидроэкологической ситуации в регионе.

Ключевые слова: *качество воды, речные воды, бассейн Северского Донца, состояние экосистем, токсичность воды.*

The results of a comprehensive study of water quality and the aquatic ecosystem status of in the Seversky Donets river basin are presented in the article. It has been established that in recent years the river water quality has remained fairly low (the 4th quality class is dirty and 5th quality class is extremely dirty). The surface waters contain a wide range of macro- and micro-components in high concentrations. At the same time, the phytoplankton state is characterized as anthropogenic stress with

elements of ecological regress. There is toxic property of river water in the Seversky Donets basin in most river sections, especially in places below the mine water outlet.

In general, a comprehensive assessment showed unsatisfactory water quality by biological and hydrochemical parameters. However, the state of hydrobionts is not characterized as depressing state. It indicates some adaptation to the formed pollution level of their environment. The obtained data can be used not only in assessing the current state of ecosystems in the Seversky Donets river basin, but also in the future in predicting the hydro-ecological situation in the region.

Keywords: water quality, river water, Seversky Donets river basin, ecosystem state, water toxicity.

Введение

Среди экологических проблем в Ростовской области по-прежнему особое внимание занимает состояние поверхностных и подземных вод. Необходимость проведения исследований, направленных на оценку изменения качества воды и состояния речных экосистем, обусловлена, с одной стороны, осложнением экологической ситуации на всех этапах разработки угольных месторождений на обширной территории, усиливающейся в период реструктуризации и закрытия нерентабельных шахт [1, 2]. С другой стороны, осложнению гидроэкологической обстановки в регионе способствует высокая антропогенная нагрузка со стороны сельскохозяйственного, коммунального и промышленного производства на водные объекты.

Северский Донец – один из крупных притоков реки Дон, является трансграничным водным объектом, воды которого интенсивно используются в хозяйственно-бытовых целях, для промышленности и в сельском хозяйстве. Основные экологические проблемы в бассейне реки хорошо известны. Это и ухудшение качества поверхностных и подземных вод (в ряде случаев до уровня, делающего их непригодными для хозяйственно-питьевого, а иногда и технического водоснабжения), и уменьшение водности притоков при ограниченности водных ресурсов и безвозвратном изъятии водного стока в регионе (до 20 % стока). Последствием высокой антропогенной нагрузки также является нарушение экологического состояния водных экосистем в бассейне, проявляющееся в изменчивости уровня развития гидробиоценозов, в изменении видового разнообразия, выходе на доминирующее положение отдельных видов водных организмов, чаще всего представителей загрязненных вод [3, 4]. Такая структурная трансформация состояния биоты способствует усилению процессов антропогенного экологического регресса или антропогенного эвтрофирования («цветение» воды).

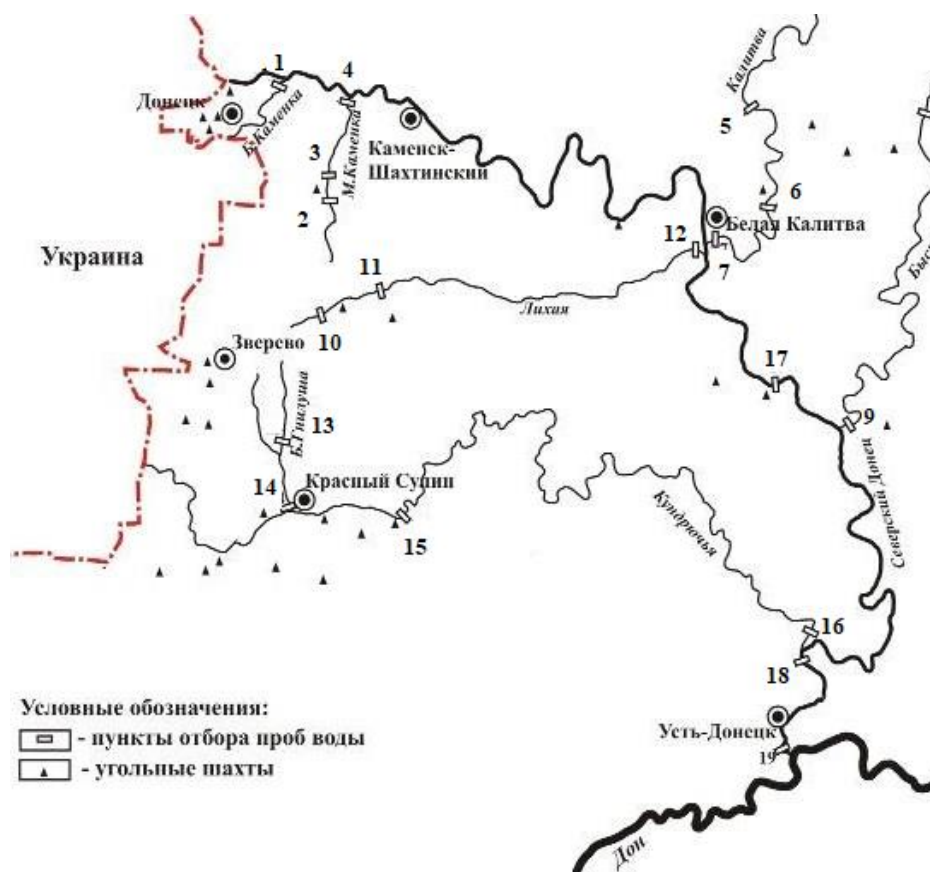
Основные притоки Северского Донца – реки Кундрючья, Лихая, Калитва, Большая Каменка и др. – отличаются большой извилистостью русла, непостоянной глубиной и шириной и асимметрич-

ными берегами. Большинство рек характеризуется малой водностью, за исключением рек Калитва, Быстрая и Кундрючья [1]. Наиболее интенсивную техногенную и антропогенную нагрузку в бассейне реки Северский Донец испытывают именно малые реки, что подтверждено многолетней гидроэкологической информацией. Более того, остаётся нерешенным ряд концептуальных задач и вопросов. Среди них – исследование динамики и тенденций состояния поверхностных вод в пределах угледобывающих территорий на основе комплексных показателей, а также разработка предупредительных мер по защите водной среды на сопредельных (приграничных) территориях, предполагающих выработку «действенных экологических мер и стратегий по защите окружающей среды» [1].

Объектами исследования выбраны малые и средние реки бассейна Северского Донца (Калитва, Кундрючья, Быстрая, Лихая, Большая Гнилуша, Большая и Малая Каменка). Места отбора проб представлены на рисунке. Стоит отметить, что отбор проб воды проводили в верховьях рек или на их участках выше влияния объектов угольной промышленности и других источников загрязнения, в нижних течениях рек, выше и ниже влияния объектов угледобывающей отрасли (действующие и ликвидированные шахты, места сброса шахтных вод, выходы техногенных шахтных вод из-под горных отвалов, илошламонакопители и т.п.).

Цель настоящего исследования – оценка современного состояния речных экосистем в бассейне Северского Донца по комплексу показателей (гидрохимические, гидробиологические и экотоксикологические) в створах наблюдений в пределах Ростовской области.

Анализ гидрохимической, гидробиологической и экотоксикологической информации за период с 2014 по 2018 г. позволил нам получить наиболее объективную оценку современной гидроэкологической ситуации в бассейне реки Северский Донец. Исследования проведены совместно сотрудниками кафедры геоэкологии и прикладной геохимии Института наук о Земле ЮФУ, Института водных проблем РАН и Гидрохимического института.



Расположение створов отбора проб воды в пределах бассейна Северского Донца
/ Location of the water sampling sections within the Seversky Donets basin

Результаты и их обсуждение

Химический состав речных вод. Река Северский Донец принимает воды средних и малых рек Ростовской области (Кундрючья, Большой Несветай, Калитва и др.), подверженных влиянию техногенных шахтных вод. Высокоминерализованные шахтные воды (минерализация может достигать значений до 61,6 г/дм³) характеризуются аномально высоким содержанием таких компонентов, как сульфаты (12–259 ПДК), железо (3–3370 ПДК), марганец (до 64 ПДК), алюминий, медь, стронций и др. [1, 5–7]. Именно эти приоритетные загрязняющие вещества, попадая в реки, не только ухудшают качество воды, но и повышают риск деградации речных экосистем.

Ранее нами было показано [1], что одним из негативных последствий воздействия техногенных шахтных вод на речные воды является засоление. Оно проявляется в увеличении минерализации речной воды во времени и возрастании содержания солеобразующих компонентов, в первую очередь сульфатов, ионов Na^+ и Mg^{2+} . В ионном составе воды на участках рек, подверженных влиянию угледобывающей про-

мышленности, превышение ПДК с различной частотой наблюдается по всем макрокомпонентам. В последние несколько лет для исследуемых водотоков в бассейне Северского Донца отмечается 100%-я частота повторяемости превышений ПДК по сульфатам, 70–100 % – по содержанию ионов Na^+ и Mg^{2+} [1, 5].

Достаточно высокая повторяемость превышений ПДК (более 50 %) в речных водах в бассейне наблюдается по отдельным металлам, в первую очередь по Fe, Mn, Sr, Cu и Al. Концентрации соединений этих металлов характеризуются очень высокой кратностью превышения ПДК, установленных для водоемов рыбохозяйственного назначения (10–50 ПДК). Таким образом, загрязнение

вод бассейна соединениями тяжелых металлов и Al представляет наибольшую опасность, так как носит устойчивый характер [1, 8].

Качество речных вод. Оценка современного качества речных вод бассейна Северского Донца (по данным 2014–2015 гг.) основана на расчете значений удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ) с учетом критических показателей загрязненности (КПЗ). Расчет УКИЗВ выполнялся по обязательному перечню показателей с включением широкого перечня металлов (Cd, Sr, Li, Be, Pb и др.) [1]. Результаты расчета значений УКИЗВ и оценки качества воды на различных участках рек в бассейне Северского Донца представлены в табл. 1.

В целом по результатам комплексной оценки степень загрязненности воды рек в бассейне меняется от градации «грязная» и «очень грязная» (4-й класс качества) до «экстремально грязная» (5-й класс). Выявлены участки рек, вода которых оценивается наибольшим уровнем загрязнения – это реки Большая Каменка, Кундрючья и Большая Гнилуша – и наименьшим – реки Малая Каменка, Быстрая (верховья рек) и Северский Донец [1, 9].

Таблица 1

**Характеристики качества речных вод в бассейне Северского Донца (2014–2015 гг.) [1]
/ The river water quality in the Seversky Donets basin (2014-2015) [1]**

Река	Номер створа	УКИЗВ	КПЗ	Степень загрязненности воды (класс качества)
Большая Каменка	1	5,32	4	Очень грязная (4 «в»)
Большая Гнилуша	13	6,72	8	Экстремально грязная (5)
	14	6,20	5	Экстремально грязная (5)
Быстрая	8	4,06	2	Грязная (4 «а»)
	9	5,14	3	Грязная (4 «б»)
Калитва	5	3,82	1	Грязная (4 «а»)
	6	4,04	3	Грязная (4 «а»)
	7	4,39	4	Очень грязная (4 «в»)
Кундрючья	15	6,56	7	Экстремально грязная (5)
	16	6,06	5	Экстремально грязная (5)
Лихая	10	5,45	6	Экстремально грязная (5)
	11	5,32	5	Очень грязная (4 «г»)
	12	5,91	5	Экстремально грязная (5)
Малая Каменка	2	6,03	6	Экстремально грязная (5)
	3	5,55	5	Экстремально грязная (5)
	4	4,76	6	Экстремально грязная (5)
Северский Донец	17	4,39	5	Очень грязная (4 «в»)
	18	4,15	5	Очень грязная (4 «в»)
	19	4,54	5	Очень грязная (4 «в»)

В динамике наблюдается стабилизация качества воды рек в бассейне Северского Донца для половины исследуемых участков рек Большая Гнилуша, Кундрючья и Лихая, где качество воды остается стабильно низким (5-й класс) [1, 9]. Незначительное улучшение качества воды отмечено во всех створах реки Калитва, на нижних участках рек Большая Каменка и Лихая, где качество воды меняется с 5-го на 4-й класс.

Для большинства рек в перечне КПЗ чаще всего оказывались такие ингредиенты, как ионы SO_4^{2-} , Fe, Al, Mn, Cu, Sr, в половине случаев – Be и в единичных случаях ионы Na^+ и Mg^{2+} . Высокие концентрации именно этих веществ ухудшают качество речной воды в бассейне Северского Донца.

Состояние речных экосистем. Состояние водной экосистемы можно оценить как по гидрохимическим, так и по гидробиологическим показателям. С экологической точки зрения более объективным будет результат биологической оценки, отражающий отклик сообществ гидробионтов на состояние и качество водной среды.

По интегральным гидрохимическим показателям (БПК₅ и азот аммонийный) состояние экосистемы р. Северский Донец характеризуется как равновесное, при этом состояние водных экосистем по пока-

зателям развития фито- и зоопланктона на различных участках реки оценивается как антропогенное экологическое напряжение (по данным за 2000–2010 гг.) [3].

В начале нового тысячелетия степень загрязненности воды в бассейне р. Северский Донец по гидробиологическим показателям оценивалась как умеренно загрязненная, что соответствует III классу качества (индекс сапробности менялся от 2,01 до 2,56). В таких условиях состояние экосистем на различных участках водотоков существенно не менялось и характеризовалось как антропогенное экологическое напряжение [4].

На основе статистической обработки многолетней гидробиологической информации выявлен эффект антропогенного воздействия на речные экосистемы Северского Донца. На различных участках реки экосистемы находятся в состоянии антропогенного напряжения с элементами экологического регресса, а в устье реки проявляется эвтрофирующий эффект антропогенного воздействия [4].

Малые и средние реки в бассейне Северского Донца загрязняются не только техногенными шахтными водами, но и сточными водами предприятий, хозяйственно-бытовыми и сельскохозяйственными стоками. В целом отмечается ухудшение гидроэкологической обстановки в регионе [1, 2], что и обу-

словливает необходимость постоянного мониторинга качества речных вод в бассейне Северского Донца по гидрохимическим и гидробиологическим показателям.

Результаты наших исследований 2014–2015 гг. [10] позволили оценить изменчивость состояния фитопланктона исследуемых рек в зоне возможного влияния объектов угольной отрасли. По таксономическому составу фитопланктонное сообщество бедное. Высокая изменчивость общей численности фитопланктона говорит о его неустойчивом состоянии, однако эффекта угнетения сообщества на участках ниже выхода шахтных вод в речную сеть не выявлено. Напротив, отмечаются отсутствие явного влияния объектов угольной отрасли или незначительный рост показателей развития фитопланктона на отдельных участках рек Лихая, Малая Каменка и Калитва.

При этом в большинстве створов в бассейне Северского Донца доминировали диатомовые или зелёные водоросли, реже содоминантами являлись сине-зелёные водоросли, и это наблюдалось только на участках рек, расположенных ниже мест сброса сточных вод угольных шахт [10].

Токсичность речных вод. В современных условиях на обширных техногенно загрязнённых территориях «токсичность представляет собой одну из наиболее опасных характеристик качества поверхностных вод». Наиболее объективную характеристику токсичности вод получают приемами биотестирования [1].

Оценку токсичности речных вод в бассейне р. Северский Донец проводили набором биотестов согласно общепринятым методикам по тест-объектам различных трофических уровней и систематической принадлежности [11]. По результатам биотестирования 2014–2015 гг. (табл. 2) в реках бассейна Северского Донца четко выявлено острое токсическое действие в устьях рек и в местах выхода шахтных вод [1, 12]. Для проведения сравнительного анализа и оценки современного состояния уровня токсичности в отдельных районах весной 2018 г. провели биотестовый анализ в створах на реках Кундрючья и Большая Гнилуша (створы 15 и 14 соответственно).

Негативный эффект фиксировался в динамике значений коэффициента прироста микроводорослей с первых суток биотестового анализа. При этом изменение в отклонении коэффициента прироста микроводорослей составило от 50,9 % в 2014 г. до 68,7 % в 2018 г. в створе 15 ниже выхода шахтных вод (р. Кундрючья, хут. Прохоровка), в створе 14 (р. Большая Гнилуша) – от 55,7 (2014 г.) до 73,2 % (2018 г.) [13].

В 2014–2015 гг. и 2018 г. речные воды характеризовались отсутствием фитотоксичности, тем самым отмечено небольшое стимулирующее действие на все тест-показатели. В 2018 г. степень токсичности вод в створах ниже выхода шахтных вод (створ 15) по-прежнему была наиболее высока, преобладали пробы с острым токсическим действием (ОТД) и подострым токсическим действием (П/ОТД), диапазон уровней токсичности был более широк, отмечено 66 % (2015 г.), 72 % (2018 г.) проб воды, оказывающих ОТД, что позволяет оценить воды исследуемых участков как оказывающие ОТД [13].

Таблица 2

Токсичность речных вод в бассейне Северского Донца по результатам биотестирования на трех тест-объектах, 2014–2015 гг. [1] / Toxicity of river waters in the Seversky Donets basin based on the results of biotesting at three test, 2014-2015 [1]

Река	Номер створа	Токсичность воды в створе	Доля проб с ОТД, % (для реки)
Большая Каменка	1	ОТД	50
Малая Каменка	13	ОТД	50
	14	ОТД	
	8	П/ОТД	
Лихая	9	П/ОТД	50
	5	ОТД	
	6	ОТД	
Калитва	7	Нет ТД	67
	15	ОТД	
	16	ОТД	
Быстрая	10	ОТД	75
	11	ОТД	
Большая Гнилуша	12	ТД	25
	2	ОТД	
Кундрючья	3	ОТД	75
	4	ОТД	
Северский Донец	17	ОТД	50
	18	ОТД	
	19	П/ОТД	

Итоговая токсичность вод обследованных створов в 2014–2018 гг. рек Кундрючья и Большая Гнилуша комплексом биотестов была различной и оценивалась по наиболее худшему отклику тест-объекта. К примеру, действие тестируемых вод проявлялось и в угнетении, и в стимуляции развития *Raphanus sativus* (2018 г.) [13], также биотестовый анализ с микроводорослями (*Scenedesmus obliquus*) выявил угнетающее действие вод исследуемых створов на развитие микроводорослей [12]. Воды в створе 15 на реке Кундрючьей ниже выхода шахтных вод характери-

зовались более тяжелой токсикологической ситуацией. Во все годы, кроме 2015-го, здесь отмечена наиболее высокая степень токсичности – острое токсическое действие, «вероятнее всего, связано с негативным воздействием загрязнения, поступающего с сопредельных территорий» [12].

Обобщенные данные за исследуемый период о токсичности поверхностных вод рек бассейна Северского Донца, полученные по набору биотестов, и степени загрязненности вод по гидрохимическим показателям представлены в табл. 3.

Таблица 3

Степень токсичности и загрязненности речных вод по гидрохимическим показателям в бассейне Северского Донца (2014–2015 гг.) [1]
/ The degree of toxicity and the contamination degree of river waters by hydrochemical indicators of the Seversky Donets river basin (2014-2015) [1]

Река	Степень токсичности речных вод	Степень загрязненности воды (класс качества)
Большая Каменка	ОТД	Очень грязная (4 «в»)
Малая Каменка	ОТД	Экстремально грязная (5)
Лихая	ОТД	Экстремально грязная (5)
Калитва	ОТД	Грязная (4 «а»)
Быстрая	ОТД	Грязная (4 «а», «б»)
Большая Гнилуша	ОТД	Экстремально грязная (5)
Кундрючья	ОТД	Экстремально грязная (5)
Северский Донец	ОТД	Очень грязная (4 «в»)

Таким образом, выявленное неудовлетворительное качество вод по биологическим показателям токсичности согласуется с аналитическими данными. Расчет УКИЗВ основан на данных о концентрации тяжелых металлов, способных оказывать негативное действие на рост и развитие сине-зеленых микроводорослей, использованных при проведении биотестирования в качестве тест-объектов. При этом высокие значения УКИЗВ подтверждаются откликом микроводорослевых тест-объектов, регулярно во все годы исследований показывающих токсическое действие вод.

Заключение

Результаты проведенных комплексных исследований позволили получить обобщенную характеристику современного состояния и качества воды в бассейне Северского Донца, которая заключается в следующем:

1. Качество речных вод в бассейне остается достаточно низким (4-й и 5-й класс качества), поверхностные воды обогащены широким спектром макро- и микрокомпонентов.

2. Состояние фитопланктона характеризуется как антропогенное напряжение с элементами экологического регресса, водные экосистемы по гидробиологическим показателям оцениваются как умеренно загрязненные (III класс качества вод).

3. Токсическое действие речных вод в бассейне Северского Донца проявляется повсеместно. Створы, расположенные ниже выхода шахтных вод, как правило, характеризуются более высокой степенью токсичности.

4. Неудовлетворительное качество вод по биологическим показателям токсичности согласуется с качеством вод по гидрохимическим показателям. Однако состояние гидробионтов не находится в угнетающем состоянии, что свидетельствует о некоторой адаптации к сформировавшемуся уровню загрязнения среды их обитания.

Анализ и систематизация гидрохимической информации в пространственно-временном аспекте, применение комплексных методов оценки качества поверхностных вод по гидрохимическим, экотоксикологическим и гидробиологическим показателям позволяют не только оценить современное состояние речной экосистемы р. Северский Донец и ее притоков, но в дальнейшем будут способствовать прогнозированию гидроэкологической ситуации в регионе.

Литература

1. Закруткин В.Е., Скляренко Г.Ю., Бакаева Е.Н., Решетняк О.С., Гибков Е.В., Фоменко Н.Е. Подземные и поверхностные воды в пределах техногенно нарушенных геосистем Восточного Донбасса: формирование химического состава и оценка качества. Ростов н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2016. 172 с.
2. Закруткин В.Е., Гибков Е.В., Скляренко Г.Ю., Решетняк О.С. Геоэкологические проблемы углепромышленных территорий // Проблемы безопасности окружающей среды : сб. ст. / отв. ред. А.К. Сагателян. Ереван: Гитутюн, НАН РА, 2016. С. 85–92.
3. Решетняк О.С., Лаврищев А.С. Оценка изменчивости экологического состояния реки Северский Донец (в пределах Ростовской области) // Эколого-биологические проблемы вод и биоресурсов: пути решения : сб. науч. тр. заоч. Всерос. конф. с междунар. участием. Ульяновск, 2012. С. 109–111.
4. Решетняк О.С. Пространственно-временная изменчивость состояния фитопланктона реки Северский Донец // Живые и биокосные системы. 2013. № 4.
5. Reshetnyak O.S., Nikanorov A.M., Zakrutkin V.Ye., Gibkov Ye.V. The chemical composition of surface waters

of techno-genically affected geo-systems in the Eastern Donbas region // *European Researcher. Series A*. 2014. Vol. 86, № 11–1. P. 1978–1992.

6. Решетняк О.С., Никаноров А.М., Закруткин В.Е. Современный химический состав речных вод на территории Восточного Донбасса // *Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод : материалы науч. конф. с междунар. участием. Ростов н/Д., 8–10 сентября 2015 г.* Ростов н/Д.: ГХИ, 2015. Ч. 2. С. 263–267.

7. Закруткин В.Е., Гибков Е.В., Скляренко Г.Ю., Решетняк О.С. Сравнительная оценка качества поверхностных и подземных вод Восточного Донбасса по гидрохимическим показателям // *Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки*. 2016. № 2. С. 91–99.

8. Решетняк О.С., Закруткин В.Е., Гибков Е.В. Микроэлементы в речных водах Восточного Донбасса // *Геоэкологические проблемы углепромышленных территорий : сб. тр. науч. конф. с междунар. участием, Ростов н/Д., 21–23 октября 2015 г.* Ростов н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2015. С. 283–295.

9. Zakrutkin V.E., Gibkov E.V., Reshetnyak O.S., Sklyarenko G.Y. Changing hydrochemical indicators of the rivers of East Donbassin a consequence the liquidation of the unprofitable coal mines // *15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management*. Albena, Bulgaria, June 18–24, 2015. Sofia: STEF92 Technology Ltd., 2015. Vol. 1, book 3. P. 113–120.

10. Сазонов А.Д., Комаров Р.С., Решетняк О.С. Характеристика фитопланктона малых и средних рек Восточного Донбасса в зоне влияния объектов угольной промышленности // *Актуальные вопросы рыболовства, рыбоводства (аквакультуры) и экологического мониторинга водных экосистем : материалы междунар. науч.-практ. конф., посвященной 90-летию Азовского научно-исследовательского института рыбного хозяйства. Ростов н/Д., 11–12 декабря 2018 г., Ростов н/Д.: Изд-во АзНИИРХ, 2018. С. 344–348.*

11. Р 52.24.741-2010. Оценка токсичности поверхностных вод суши в условиях чрезвычайных ситуаций методом экспрессного биотестирования. Ростов н/Д.: Росгидромет, 2011. 30 с.

12. Бакаева Е.Н., Тарадайко М.Н. Экоотоксичность поверхностных вод бассейна р. Северский Донец (Ростовская область) по результатам набора биотестов // *Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки*. 2016. № 4. С. 57–61.

13. Васта Ахмед Х.А. Изменчивость качества воды и степени загрязненности реки Северский Донец (в пределах Ростовской области) // *Сб. статей XVIII Международной НПК. М.: Актуальность. РФ, 2018. С. 89–91.*

References

1. Zakrutkin V.E., Sklyarenko G.Yu., Bakaeva E.N., Reshetnyak O.S., Gibkov E.V., Fomenko N.E. *Podzemnye*

i poverkhnostnye vody v predelakh tekhnogenno narushennykh geosistem Vostochnogo Donbassa: formirovanie khimicheskogo sostava i otsenka kachestva [Underground and surface water within the technogenically disturbed geosystems of Eastern Donbass: formation of chemical composition and quality assessment]. Rostov-on-Don: Izd-vo YuFU, 2016, 172 p.

2. Zakrutkin V.E., Gibkov E.V., Sklyarenko G.Yu., Reshetnyak O.S. [Geoecological problems of coal-mining areas]. *Problemy bezopasnosti okruzhayushchei sredy* [Environmental safety issues]. Collection of Articles. Ed. A.K. Sagatelyan. Erevan: Gitutyun, NAN RA, 2016, pp. 85–92.

3. Reshetnyak O.S., Lavrishchev A.S. [Assessment of variability of the ecological state of the river Seversky Donets (the Rostov region)]. *Ekologo-biologicheskie problemy vod i bioresursov: puti resheniya* [Ecological-biological problems of water and bio-resources: solutions]. Collection of Scientific Papers of the Correspondence All-Russian Conference with International Participation. Ulyanovsk, 2012, pp. 109–111.

4. Reshetnyak O.S. Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' sostoyaniya fitoplanktona reki Severskii Donets [Spatial and temporal variability of the state of the phytoplankton of the river Seversky Donets]. *Zhivye i biosnyye sistemy*. 2013, No. 4.

5. Reshetnyak O.S., Nikanorov A.M., Zakrutkin V.E., Gibkov Ye.V. The chemical composition of surface waters of techno-genically affected geo-systems in the Eastern Donbas region. *European Researcher. Series A*. 2014, vol. 86, No. 11-1, pp. 1978–1992.

6. Reshetnyak O.S., Nikanorov A.M., Zakrutkin V.E. [Modern chemical composition of river waters on the territory of Eastern Donbass]. *Sovremennye problemy gidrokhimii i monitoringa kachestva poverkhnostnykh vod* [Modern problems of hydrochemistry and monitoring of surface water quality]. Proceedings of the Scientific Conference with International Participation. Rostov-on-Don, September 8–10, 2015. Rostov-on-Don: GKHI, 2015, ch. 2, pp. 263–267.

7. Zakrutkin V.E., Gibkov E.V., Sklyarenko G.Yu., Reshetnyak O.S. Sravnitel'naya otsenka kachestva poverkhnostnykh i podzemnykh vod Vostochnogo Donbassa po gidrokhimicheskim pokazatelyam [Comparative assessment of the quality of surface and underground waters of the Eastern Donbass on hydrochemical indicators]. *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestv. nauki*. 2016, No. 2, pp. 91–99.

8. Reshetnyak O.S., Zakrutkin V.E., Gibkov E.V. [Trace elements in the river waters of the Eastern Donbass]. *Geoekologicheskie problemy uglepromyshlennykh territorii* [Geoecological problems of coal-producing areas]. Proceedings of the Scientific Conference with International Participation, Rostov-on-Don, October 21–23, 2015. Rostov-on-Don: Izd-vo YuFU, 2015, pp. 283–295.

9. Zakrutkin V.E., Gibkov E.V., Reshetnyak O.S., Sklyarenko G.Y. Changing hydrochemical indicators of the rivers of East Donbassin a consequence the liquidation

of the unprofitable coal mines. *15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management*. Albena, Bulgaria, June 18-24, 2015. Sofia: STEF92 Technology Ltd., 2015, vol. 1, book 3, pp. 113-120.

10. Sazonov A.D., Komarov R.S., Reshetnyak O.S. [Characteristics of phytoplankton of small and medium-sized rivers of Eastern Donbass in the zone of influence of the coal industry]. *Aktual'nye voprosy rybolovstva, rybovodstva (akvakul'tury) i ekologicheskogo monitoringa vodnykh ekosistem* [Topical issues of fisheries, fish farming (aquaculture) and environmental monitoring of aquatic ecosystems]. Materials of the International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 90th Anniversary of the Azov Research Institute of Fisheries. Rostov-on-Don, December 11-12, 2018. Rostov-on-Don: Izd-vo Az-NIIRKh, 2018, pp. 344-348.

11. R 52.24.741-2010. *Otsenka toksichnosti poverkhnostnykh vod sushi v usloviyakh chrezvychainykh situatsii metodom ekspressnogo biotestirovaniya* [Evaluation of the toxicity of surface waters in emergency situations and rapid method of biotesting]. Rostov-on-Don: Rosgidromet, 2011, 30 p.

12. Bakaeva E.N., Taradaiko M.N. Ekotoksichnost' poverkhnostnykh vod basseina r. Severskii Donets (Rostovskaya oblast') po rezul'tatam nabora biotestov [Ecotoxicity of surface waters of the Seversky Donets river basin (Rostov region) by results of a set of biotests]. *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestv. nauki*. 2016, No. 4, pp. 57-61.

13. Vasta Akhmed Kh.A. [Variability of water quality and degree of pollution of the Seversky Donets river (within the Rostov region)]. *Sb. statei XVIII Mezhdunarodnoi NPK* [A collection of articles 18th International SPC]. Moscow: Aktual'nost'. RF, 2018, pp. 89-91.

Поступила в редакцию / Received

3 апреля 2019 г. / April 3, 2019

УДК 639.222.2

DOI 10.23683/0321-3005-2019-2-55-59

РОЛЬ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ ПОТОМСТВА ЧЕРНОМОРСКО-АЗОВСКОЙ ПРОХОДНОЙ СЕЛЬДИ*

© 2019 г. И.Д. Кузнецова^{1,2}, Ю.А. Федоров¹

¹Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия,

²Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, Ростов-на-Дону, Россия

THE ROLE OF SOME FACTORS IN THE FORMATION OF THE PROGENY OF THE BLACK SEA-AZOV PASSING HERRING

I.D. Kuznecova^{1,2}, Yu.A. Fedorov¹

¹Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia,

²Azov Scientific Research Institute of Fisheries, Rostov-on-Don, Russia

Кузнецова Инна Дмитриевна – аспирант, кафедра физической географии, экологии и охраны природы, Институт наук о Земле, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия; младший научный сотрудник, лаборатория проходных и полупроходных рыб, Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, ул. Береговая, 21в, г. Ростов-на-Дону, 344002, Россия, e-mail: kuznecovainna1811@yandex.ru

Inna D. Kuznecova - Postgraduate, Department of Physical Geography, Ecology and Environment Protection, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia; Junior Researcher, Laboratory of Pass-Through and Semi-Pass Fish, Azov Scientific Research Institute of Fisheries, Beregovaya St., 21v, Rostov-on-Don, 344002, Russia, e-mail: kuznecovainna1811@yandex.ru

Федоров Юрий Александрович – доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующий кафедрой физической географии, экологии и охраны природы, Институт наук о Земле, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: fedorov@sfedu.ru

Yuriy A. Fedorov - Doctor of Geography, Professor, Main Researcher, Head of the Department of Physical Geography, Ecology and Environment Protection, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: fedorov@sfedu.ru

Для черноморско-азовской проходной сельди *Alosa immaculate* (Bennett, 1835), обладающей высокой восстановительной способностью и широким ареалом нагула, вопрос численности поколения решается на ранних этапах онтогенеза, когда организм еще малоактивен и отличается более узкой, по сравнению с последующими периодами развития, приспособленностью к условиям окружающей среды. Многочисленные исследования, проведенные в этом направлении, свидетельствуют о том, что величина пополнения промыслового стада сельди определяется условиями жизни на первом году, в частности в периоды эмбрионального и личиночного развития. После создания на р. Дон в 1952 г. Цимлянского водохранилища условия для размножения и выживания молоди сельди значительно ухудшились: произошли сезонное перераспределение и снижение величины пресного стока, сокращение объема весенних паводков, увеличение солёности, понижение скорости течения в реке почти в 4 раза. В результате зарегулирование стока р. Дон повлекло за собой сокращение нерестового ареала сельди, низкую эффективность ее естественного воспроизводства и, как следствие, уменьшение величины запаса и уловов. В статье рассматриваются физико-географические факторы среды, определяющие начало хода производителей на нерест и выживаемость икры и личинок, а также оценена степень данного влияния на формирование потомства сельди в условиях зарегулированного стока р. Дон.

Ключевые слова: черноморско-азовская проходная сельдь, формирование потомства, факторы среды, выживаемость икры, величина пресного стока.

For the Black Sea-Azov passing herring migratory *Alosa immaculate* (Bennett, 1836), which has a high reducing capacity and a wide feeding range, the issue of the number of generation is solved in the early stages of ontogenesis, when the body is still inactive and has a narrower, compared to subsequent periods of development, adaptability to environmental conditions. Numerous studies conducted in this direction indicate that the amount of replenishment of commercial herds of herring is determined by living conditions in the first year, and in particular during periods of embryonic and larval development. After

* Работа выполнена при поддержке грантов № ВнГр 5.5795.2017/8.9 и 5.5791.2017/6.7.

creating on the river Don in 1952 of the Tsimlyansk reservoir conditions for breeding and survival of young herring deteriorated significantly: seasonal redistribution of runoff, reduction in spring floods, a decrease in freshwater runoff, an increase in salinity, a decrease in the flow rate in the river by almost 4 times. As a result, flow regulation of the river Don entailed a reduction in the spawning range of herring, the low efficiency of its natural reproduction and, as a result, a decrease in the size of the stock and catches. In this article, the author discusses environmental factors that determine the beginning of the spawning season and the survival rate of caviar and larvae, and also assesses the degree of this influence on the formation of the offspring of herring under conditions of Don regulated flow.

Keywords: Black Sea-Azov passing herring, progeny formation, environmental factors, survival rate of caviar, value of freshwater runoff.

Введение

Черноморско-азовская проходная сельдь является ценным, хотя и малочисленным в настоящее время, объектом промысла. Определяющим фактором при формировании нерестового стада является величина пополнения, которая существенно колеблется в разные годы и зависит от множества биотических и абиотических факторов. Основными из них следует считать: величину весеннего паводка р. Дон, условия зимовки в Черном море, количество производителей достигших мест нереста, скорости течения реки, температура и соленость. В разные годы взаимосвязь всех факторов, влияющих прямо или косвенно на запас сельди, весьма различна. В силу своей промысловой значимости сельдь издавна является объектом научных исследований, нашедших достаточно полное отражение в литературе.

Благодаря работам А.Н. Недошевина и К.М. Книповича было положено начало изучению речного периода жизни черноморско-азовской проходной сельди [1, 2]. Вопросы, касающиеся сроков, продолжительности и интенсивности нерестовой миграции сельди в Дону, рассмотрены в работах [3–5]. Выяснению условий нереста и ската икры и личинок донской сельди посвящены исследования [6, 7]. Большинство исследований современного периода направлено на выяснение тех или иных сторон экологии нереста проходной сельди и определение факторов, влияющих на нерестовую миграцию и выживаемость молоди сельди.

Актуальность работы. Данное исследование может быть использовано для уточнения методики долгосрочного прогнозирования возможных уловов, совершенствования промысла сельди на Дону, осуществления своевременного пропуска производителей к местам нереста в целях более рационального использования запасов этих ценных рыб.

Цель исследования – анализ физико-географических факторов среды, влияющих на формирование потомства черноморско-азовской проходной сельди, и оценка степени их воздействия.

Задачи исследования:

– обозначить факторы, определяющие выживаемость икры и личинок;

– выявить влияние антропогенного изменения стока р. Дон бассейна Азовского моря на обводнение нерестилищ;

– рассмотреть зависимость урожайности сельди от водного стока р. Дон и скорости его течения.

Материалы и методы

В настоящее время применяются две формы учета урожая сельди: в реке (экспедиционные исследования в нижнем течении р. Дон в мае и июне) и море (летняя и осенняя учетные траловые съемки – в июле и октябре).

Данные, касающиеся раннего онтогенеза проходной сельди в реке, получены на основании применения методики многосуточных наблюдений за развитием отдельных ее генераций в период массового размножения в разные по гидрологическому и гидрохимическому режиму годы.

Осуществить в природных условиях подобные наблюдения позволило движение исследовательского судна вниз по реке со скоростью, в среднем равной скорости течения и корректируемой каждые 4 ч. С такой же периодичностью проводились обловы икорной сетью и замеры температуры воды. Продолжительность наблюдений составила 5–7 сут. Время массового нереста определяли по наибольшему проценту в уловах волокушей производителей с текучими половыми продуктами, а в уловах икорной сети – икры на стадиях набухания. Наблюдение за биологическими показателями сеголеток сельди, их распределением и численностью осуществляется в июле и октябре, в период экспедиций по учету запасов пелагических рыб Азовского моря придонным тралом, проводимых ежегодно по стандартной сетке станций [8]. За показатель урожайности сельди принят средний улов сеголеток на одно траление. Полученные данные обработаны в соответствии с общепринятыми методиками [9]. В работе использованы литературные данные, архивные и фондовые материалы ФГБНУ «АзНИИРХ», а также сведения, полученные при непосредственном участии авторов в полевых работах и судовых рейсах 2014–2018 гг.

Результаты и обсуждение

Сопоставление многолетних данных по учету урожайности молоди сельди и величине их вылова в возрасте трехгодовиков (2+) свидетельствует о том, что их промысловый возврат колеблется в соответствии с относительной численностью сеголетков. Чем выше показатели урожайности молоди, тем большие уловы в будущем обеспечивает это поколение; в период вступления в промысел малоурожайных поколений уловы снижаются [3].

Поскольку массовый нерест сельди приходится на май, то водность р. Дон именно в этот период оказывает наиболее существенное влияние на эффективность нереста и величину приплода. Анализ материалов многолетних наблюдений, включая годы до зарегулирования стока р. Дон и после него, позволил выявить между величиной водного стока в мае и урожайностью поколений сельди четкую связь (коэффициент корреляции равен 0,84) (рис. 1). Отметим, что до создания Цимлянского водохранилища эта связь проявлялась несколько слабее, чем в последующие годы, когда водный режим р. Дон был нарушен гидростроительством.

Весенний водный режим реки оказывает большое влияние не только на ход раннего онтогенеза сельди, но и на наиболее поздние периоды развития, в значительной степени определяя характеристику формирующегося поколения. На рис. 2 показана зависимость относительной численности сеголетков от водности Дона в период нереста сельди.

Кроме того, на урожайность сельди оказывают большое влияние скорость течения и температура воды в период нереста, которые зависят от водного стока р. Дон. После строительства Цимлянской плотины скорость течения реки сократилась почти в 4 раза: до 0,5–0,7 м/с против 2,0–2,5 м/с до зарегулирования. При такой скорости возможен лишь пассивный скат икры и личинок в Таганрогский залив.

В результате икра сельди опускается в придонный слой речного потока, где количество мертвой икры в несколько раз больше, чем в вышележащих горизонтах [6].

Низкая скорость течения, наблюдающаяся в маловодные годы в р. Дон с середины мая, вызывает замедление развития эмбрионов, резорбцию очередных порций икры, вымет деформированных нежизнеспособных икринок, обреченных на гибель. В июне-июле отрицательное воздействие слабых течений усугубляется сильным прогревом воды, температура которой в середине июля поднимается до 24–26 °С (благоприятная температура для выклева икринок составляет 18–19 °С, для личинок – 21 °С). Высокий весенний паводок определяет большую скорость течения, повышение уровня выживаемости икры и личинок, увеличивает нагульные площади молоди сельди, обеспечивает более стабильный температурный режим реки [3, 9].

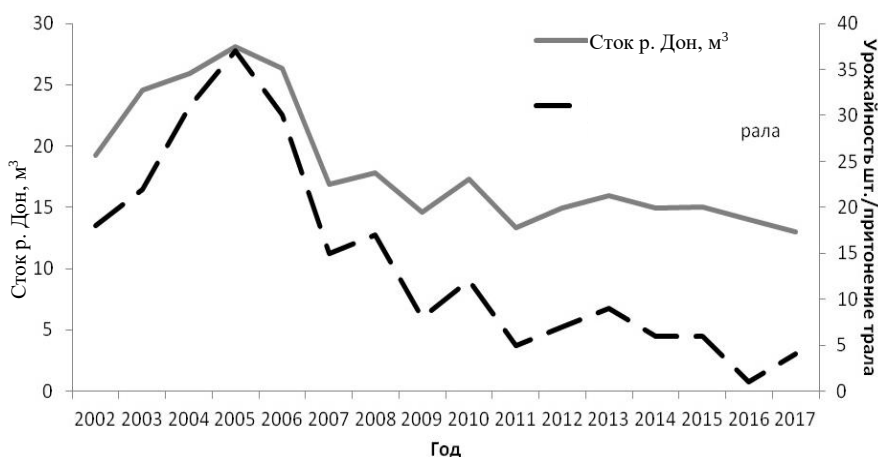


Рис. 1. Сток Дона в мае и урожайность сельди в августе в период с 2002 по 2017 г., шт/притонение траля / Fig. 1. Stock of the Don in May and herring productivity in August from 2002 to 2017, piece / trawl stalling

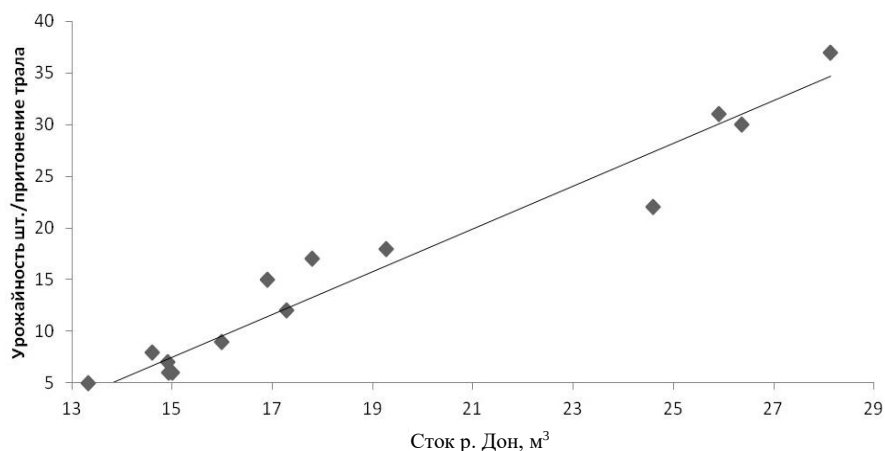


Рис. 2. Зависимость урожайности сельди в августе от стока Дона в мае, шт/притонение траля / Fig. 2. Dependence of herring yield in August on the Don flow in May, piece / trawl stalling

В качестве примера приведем 2018 г. В данном году возросла численность сеголеток черноморско-азовской проходной сельди в 5 раз по сравнению с предыдущими годами. Это объясняется повышенным уровнем весеннего паводка р. Дон, обеспечившим увеличение скорости течения (скорость варьировалась от 1,4 до 2,2 м/с) и улучшение условий выживания икры и личинок (икра и личинки при большой скорости потока не опускаются в придонную часть, а находятся в середине русловой части реки, где условия для выживания и выклева икры более благоприятны).

Благодаря значительному весеннему паводку произошло летнее распреснение Таганрогского залива. Это позволило увеличить нагульные площади для молоди сельди, адаптивные возможности которой ограничены изогоалиной 3 ‰. Кроме того, качественные показатели сеголеток улучшились по сравнению с предыдущими годами. Это отразилось на росте: длина тела молодой сельди в среднем увеличилась на 17 %, масса – на 21 по сравнению с показателями прошлого года за аналогичный период. Однако и в такие годы иногда происходит прекращение икрометания сельди из-за резких перепадов температур. Значительные колебания температуры воды отрицательно сказываются также на выживаемости икры и ранних стадиях развития личинок сельди, погибающих при её понижении до 9,5 °С.

Исключительно важными факторами, определяющими условия среды обитания молоди сельди в Азовском море и Таганрогском заливе, являются размеры и положение зон с различной соленостью, которые, в свою очередь, зависят от водного стока Дона [9–11]. Несмотря на высокую эвригалинность взрослой сельди, изменение солености оказывает существенное влияние на молодь данного вида, обитающую в районах моря с соленостью, не превышающую 9 ‰ [12]. При увеличении солености до 12 ‰ плотность распределения сеголетков сельди снижается в 7 раз, при солености выше 12 ‰ они встречаются в уловах трала крайне редко.

С 2006 г. наблюдается процесс осолонения Азовского моря, который продолжается по настоящий период (рис. 3). В 2016 г. соленость достигла максимальных значений: 14,06 ‰ в Азовском море (коса Арабатская стрелка) и 13,7 – в Таганрогском заливе (Долгие о-ва), что повлекло за собой резкое сокращение числа молоди в акватории моря. Молодь черноморско-азовской сельди из-за ограниченных адаптивных способностей находилась в распресненной прибрежной части Таганрогского залива и устье р. Дон. Противопоставить 2016 г. можно 2018 г., когда в результате увеличения паводка произошло летнее распреснение Таганрогского залива, что позволило молоди увеличить нагульные площади.



Рис. 3. Изменение солености Азовского моря и Таганрогского залива, 2006–2017 гг. (для построения графика взяты данные среднего значения) / Fig. 3. Changes in salinity of the Sea of Azov and Taganrog Bay, 2006–2017 (for plotting the graph are taken average data)

Выводы

1. Ведущим фактором, влияющим на эффективность нереста черноморско-азовской проходной сельди, является режим обводнения нерестилищ. При постоянном повышении уровня воды от марта к маю и слабой проточности расширяется их площадь, создаются благоприятные условия для своевременного созревания и вымета половых продуктов, развития и ската икры и личинок, нагула и миграции молоди сельди, т.е. для всех последовательных биологических этапов воспроизводства, ответственных за формирование численности будущего поколения.

2. В результате увеличения солености на акватории Азовского моря произошло смещение ареалов молоди сельди в более распресненные районы (северо-восток Азовского моря и Таганрогский залив). В сложившейся ситуации площадь нагула проходных и полупроходных рыб сократилась почти в 2 раза. Исключение составил 2018 г., когда благодаря значительному весеннему паводку произошло летнее распреснение Таганрогского залива и, соответственно, расширились нагульные площади.

3. Увеличение скорости потока реки благодаря повышению весеннего сброса воды улучшает условия выживания икры и личинок в русле (икра и личинки не опускаются в придонную часть потока, а остаются на поверхности, где количество мертвой икры в несколько раз меньше, чем в нижележащих слоях).

4. Значительные колебания температуры водной толщи неблагоприятно отражаются на выживаемости икры и ранних стадиях развития личинок сельди, которые погибают при понижении температуры воды до 9,5 °С.

За помощь в написании данной статьи выражаем благодарность заведующему лабораторией проходных и полупроходных рыб А.А. Живоглядову.

Литература

1. Недошевин А.Н. Современное состояние Азовского рыболовства // Тр. Аз.-Черн. науч.-промыш. экспедиции. 1926. Вып. 1. С. 65–150.
2. Книпович Н.М. Работы Азовской экспедиции в 1922–1924 гг. // Тр. Аз.-Черн. науч.-промыш. экспедиции. 1926. Вып. 1. С. 5–97.
3. Могильченко В.И. Биология и состояние запасов сельди Нижнего Дона. Киев : Наук. думка, 1980. 132 с.
4. Аведикова Т.М., Баландина Л.Г., Воловик С.П., Иванченко И.Н., Корнеев А.А., Кукарина Л.В., Луц Г.И., Rogov С.Ф. Влияние океанографических факторов на воспроизводство и распределение проходных и полупроходных видов рыб Азовского моря // Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. Т. 5. С. 209–215.
5. Гладкова И.Ф., Реков Ю.И. О восстановлении промыслового запаса черноморско-азовской проходной сельди // Сб. тр. АзНИИРХ. Вып. 1. Ростов н/Д., 2006. С. 188–193.
6. Могильченко В.И. Биология размножения проходных сельдей в условиях зарегулирования стока Дона // Фонды АзНИИРХ. Ростов н/Д., 1970. С. 83–86.
7. Иванченко И.Н., Назарова Ю.В. Состояние популяции черноморско-азовской проходной сельди в 2010–2011 гг. // Сб. тр. АзНИИРХ (2010–2011 гг.). Ростов н/Д., 2012. С. 157–167.
8. Методы рыбохозяйственных и природоохранных исследований в Азово-Черноморском бассейне : сб. науч.-метод. работ. Краснодар, 2005. 324 с.
9. Федоров Ю.А., Беляев А.Г. Биогенные вещества в зоне смешения река Дон – Азовское море. Ростов н/Д.: ИнфоСервис, 2004. 108 с.
10. Федоров Ю.А. Стабильные изотопы и эволюция гидросферы. М.: Истина, 1999. 370 с.
11. Михайленко А.В., Федоров Ю.А., Доценко И.В. Тяжелые металлы в компонентах ландшафтов Азовского моря. Ростов н/Д.; Таганрог : Изд-во ЮФУ, 2018. 214 с.
12. Кузнецова И.Д., Федоров Ю.А. Влияние солености и водного стока на распространенность черноморско-азовской проходной сельди в Азовском море // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2018. № 4. С. 33–38.

References

1. Nodoshevin A.N. Sovremennoe sostoyanie Azovskogo rybolovstva [The current state of the Azov fisheries]. Tr. Az.-Chern. nauch.-promysl. ekspeditsii. 1926, iss. 1, pp. 65-150.

2. Knipovich N.M. Raboty Azovskoi ekspeditsii v 1922–1924 gg. [Works of the Azov Expedition in 1922–1924]. Tr. Az.-Chern. nauch.-promysl. ekspeditsii. 1926, iss. 1, pp. 5-97.

3. Mogil'chenko V.I. Biologiya i sostoyanie zapasov sel'di Nizhnego Dona [Biology and stock status of the Lower Don herring]. Kiev: Nauk. dumka, 1980, 132 p.

4. Avedikova T.M., Balandina L.G., Volovik S.P., Ivanchenko I.N., Korneev A.A., Kukarina L.V., Luts G.I., Rogov S.F. [Influence of oceanographic factors on the reproduction and distribution of aisle and semi-aisle fish species of the Azov Sea]. Gidrometeorologiya i gidrokimiya morei SSSR [Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas of the USSR]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1991, vol. 5, pp. 209-215.

5. Gladkova I.F., Rekov Yu.I. O vosstanovlenii promyslovogo zapasa chernomorsko-azovskoi prokhodnoi sel'di [On the restoration of commercial stock of Black Sea-Azov herring through passage]. Sb. tr. AzNIIRKh. 2006, iss. 1, pp. 188-193.

6. Mogil'chenko V.I. [Reproduction biology of herring migratory animals under conditions of the Don flow regulation]. Fondy AzNIIRKh [AzNIIRH Funds]. Rostov-on-Don, 1970, pp. 83-86.

7. Ivanchenko I.N., Nazarova Yu.V. Sostoyanie populyatsii chernomorsko-azovskoi prokhodnoi sel'di v 2010–2011 gg. [Population of the Black Sea-Azov common herring in 2010-2011]. Sb. tr. AzNIIRKh (2010–2011 gg.). 2012, pp. 157-167.

8. Metody rybokhozyaistvennykh i prirodookhrannykh issledovaniy v Azovo-Chernomorskom basseine [Methods of fisheries and environmental studies in the Azov-Black Sea basin]. Collection of Scientific and Methodical Works. Krasnodar, 2005, 324 p.

9. Fedorov Yu.A., Belyaev A.G. Biogennye veshchestva v zone smesheniya reka Don – Azovskoe more [Nutrients in the mixing zone of the river Don - the Sea of Azov]. Rostov-on-Don: InfoServis, 2004, 108 p.

10. Fedorov Yu.A. Stabil'nye izotopy i evolyutsiya gidrosfery [Stable isotopes and the evolution of the hydrosphere]. Moscow: Istina, 1999, 370 p.

11. Mikhailenko A.V., Fedorov Yu.A., Dotsenko I.V. Tyazhelye metally v komponentakh landshaftov Azovskogo morya [Heavy metals in the components of the landscape of the Sea of Azov]. Rostov-on-Don; Taganrog: Izd-vo YuFU, 2018, 214 p.

12. Kuznetsova I.D., Fedorov Yu.A. Vliyanie solenosti i vodnogo stoka na rasprostranennost' chernomorsko-azovskoi prokhodnoi sel'di v Azovskom more [Influence of salinity and water runoff on the prevalence of Black Sea-Azov passing herring in the Sea of Azov]. Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestv. nauki. 2018, No. 4, pp. 33-38.

УДК 627.8, 550.8.052

DOI 10.23683/0321-3005-2019-2-60-65

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ РАСТВОРЕНИЯ И ВЫНОСА ГИПСА В ОСНОВАНИЯХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

© 2019 г. Т.Н. Нурмагомедов¹, Э.С. Сианисян²

¹Академия гражданской защиты МЧС России, Химки, Россия,

²Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

ELECTROCHEMICAL METHOD OF CONTROLLING THE DISSOLUTION AND REMOVAL OF GYPSUM IN THE FOUNDATIONS OF HYDRAULIC STRUCTURES

© 2019 г. T.N. Nurmagomedov¹, E.S. Sianisyan²

¹Academy of Civil Defence EMERCOM of Russia, Khimki, Russia,

²Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Нурмагомедов Тимур Низамудинович – преподаватель, кафедра механики и инженерной графики, Академия гражданской защиты МЧС России, мкр. Новогорск, 1, г. Химки, 141435, Россия, e-mail: nurmagomedov.timur@mail.ru

Timur N. Nurmagomedov - Lecturer, Department of Mechanics and Engineering Graphics, Academy Civil Defence EMERCOM of Russia, Novogorsk, 1, Khimki, 141435, Russia, e-mail: nurmagomedov.timur@mail.ru

Сианисян Эдуард Саркисович – доктор геолого-минералогических наук, профессор, кафедра геологии нефти и газа, Институт наук о Земле, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: edward@sfn.ru

Eduard S. Sianisyan - Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Department of Oil and Gas Geology, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: edward@sfn.ru

Рассмотрены вопросы контроля фильтрационных процессов в гипсоносных основаниях гидротехнических сооружений. Наличие гипсоносных пород в основаниях сооружений является неблагоприятным инженерно-геологическим условием. В результате растворения и выноса солей из пород основания происходит образование пустот. Это одна из причин возникновения ЧС на гидротехническом сооружении, которая может привести к гибели людей, экономическому и экологическому ущербу. В связи с этим выполнено исследование электрохимических свойств гипсовых растворов при различных концентрациях, выбраны метод и информативный параметр для количественного анализа размыва основания гидротехнического сооружения и предупреждения ЧС. Определена зависимость между электрофизическими свойствами подземных вод, концентрацией и количественными показателями разрушения и размыва основания плотин. По результатам исследования кондуктометрический способ измерения и удельная электрическая проводимость могут быть основой для создания автоматизированной информационно-измерительной системы мониторинга ЧС в основании гидротехнических сооружений в режиме реального времени.

Ключевые слова: фильтрация, гидротехническое сооружение, основание, гипс, растворение, удельная электрическая проводимость.

The article is devoted to the issue of control of filtration processes in gypsum foundations of hydraulic structures. The presence of gypsum-bearing rocks in the foundations of buildings is an unfavorable engineering-geological condition. As a result of dissolution and removal of salts from the rocks of the base, voids are formed. This is one of the causes of emergencies at the hydraulic structure, which can lead to loss of life, economic and environmental damage. In this regard, the study of the electrochemical properties of gypsum structures at different concentrations was carried out, the method and informative parameter for quantitative analysis of erosion of the foundation of the hydraulic structure and prevention of emergencies were chosen. The dependence between the electrophysical properties of subterranean waters, concentration and quantitative indicators of destruction and erosion of the dams base was determined. According to the results of the study, the conductometric method of measurement and the specific electrical conductivity parameter can be the basis for the creation of an automated information and measuring system for monitoring emergencies at the foundation of hydraulic structures in real time.

Keyword: filtration, hydraulic structure, foundation, gypsum, dissolution, electrical conductivity.

Введение

Основным фактором нарушения устойчивости водорастворимых оснований гидротехнических сооружений (ГТС) являются растворение и вынос слагающих пород. В основаниях ГТС растворимые вещества (каменная соль, гипсы, ангидриты, известняки) встречаются в виде пластов, линз, рассеянных частиц, кристаллов, друз. В результате растворения и выноса солей из породы происходит образование пустот. Это приводит к повышению скорости фильтрации, снижению устойчивости основания, что повышает риск возникновения чрезвычайной ситуации (ЧС).

В процессе эксплуатации и осуществления контроля устойчивости ГТС важной является количественная оценка выщелачивания – интенсивность, масса вынесенной породы, объем образовавшихся пустот, границы зон вымывания пород основания и др. Количественная характеристика растворения и выноса пород, слагающих основание, зависит от свойств минералов простых солей, входящих в их состав.

Наличие гипсоносных пород в основаниях ГТС является неблагоприятным инженерно-геологическим условием. Вопрос повышения эффективности контроля за растворением гипса и предупреждения образования пустот в основаниях является актуальным.

Скорость растворения содержащегося в пласте гипса B зависит от скорости фильтрации v , гравитационных g и диффузионных d факторов среды, концентрации растворителя C , кристаллографических особенностей Σ и температуры T [1]:

$$B = f(v, g, d, C, \Sigma, T). \quad (1)$$

Зависимость между скоростью растворения и скоростью фильтрации гипса CaSO_4 приведена на рис. 1.

Анализ данных рис. 1 показывает, что скорость растворения гипса возрастает с увеличением скорости фильтрации и может достигать больших величин.

Растворимость гипса CaSO_4 возрастает также с повышением содержания галита NaCl или хлористого магния MgCl_2 в породе или фильтруемой воде (табл. 1) [2].

Контроль за процессами растворения и выноса пород в основаниях ГТС в настоящее время осуществляется натурными наблюдениями, лабораторно-химическим анализом, с применением средств малоглубинной геофизики. Однако эти методы не позволяют в режиме реального времени контролировать быстро меняющиеся гидродинамические и гидрогеохимические условия в основании

плотины. Возникает необходимость разработки нового метода контроля и выбора информативного параметра для осуществления мониторинга фильтрационных процессов в основаниях ГТС.

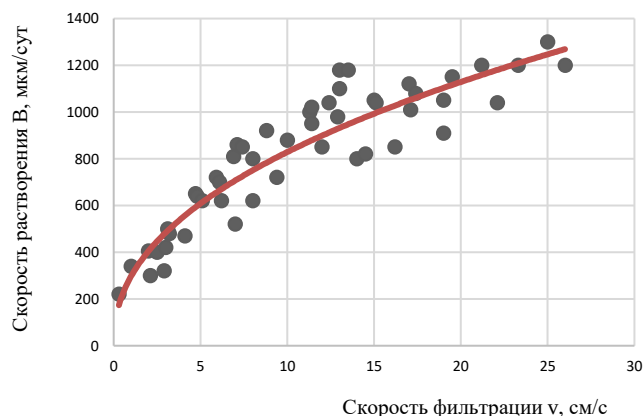


Рис. 1. Зависимость между скоростью растворения гипса CaSO_4 и скоростью фильтрации [3] / Fig. 1. Dependence between the rate of dissolution of gypsum CaSO_4 and the rate of filtration [3]

Таблица 1

Зависимость между содержанием NaCl , MgCl_2 и растворимостью CaSO_4 [2] / Dependence between the content of NaCl , MgCl_2 and the solubility of CaSO_4 [2]

Растворитель	Растворимость гипса CaSO_4 , г/л	Примечание
Дистиллированная вода	2	—
Вода с содержанием NaCl (100 г/л)	6,5	$\text{CaSO}_4 + 2\text{NaCl} = \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CaCl}_2$
Вода с содержанием MgCl_2 (200 г/л)	10	$\text{CaSO}_4 + \text{MgCl}_2 = \text{MgSO}_4 + \text{CaCl}_2$

Описание требований к методу контроля фильтрации

Контроль и прогнозирование процесса растворения пород, слагающих основания зданий и сооружений, в том числе ГТС, должны быть основаны на следующих факторах [4, 5]:

- региональные геологические (минеральный состав, структурно-текстурные особенности, трещиноватость, дисперсность и др.);
- зональные (режим, интенсивность, химический состав подземных вод);
- техногенные (режим, интенсивность, химический состав сточных вод, сбросы технических вод, утечки из коммуникаций).

Ввиду сложности и длительности процесса лабораторного контроля за выщелачиванием солей целесообразным является исследование электрохимиче-

ских свойств (ЭХС) фильтрационных вод для выбора информативного параметра процесса вымывания пород. Это позволит:

- своевременно предупредить о возможном повышении скорости подземных вод и возникновении неконтролируемой фильтрации в основании ГТС;
- дать количественную оценку выносимого материала и объемов пустот, которые могут образоваться под плотной в результате растворения залегающих пород.

Требования к методу измерения ЭХС жидкости в основании ГТС [6]:

1. Отсутствие пробоотбора и пробоподготовки.
2. Автоматический метод измерения.
3. Электрический выходной сигнал.

Требования к средству измерения:

1. Малые габариты и функционирование в условиях скважины.
2. Герметичность.
3. Малое электропотребление.
4. Возможность передавать выходной сигнал на расстояние более 1 км.

Описание хода и результатов исследований

В связи с необходимостью совершенствования способов контроля и прогнозирования выщелачивания гипсоносных пород в основаниях ГТС были изучены ЭХС гипсовых растворов различной концентрации кондуктометрическим способом [3, 7].

Выбор кондуктометрического метода обоснован тем, что в результате измерения получаем на выходе электрический сигнал. Выходной сигнал является функцией не только измеряемой величины, но и условий работы измерительного преобразователя, неинформативных параметров анализируемого вещества и собственных шумов измерительного прибора. Для кондуктометрии характерен широкий диапазон измерений удельной электрической проводимости (УЭП), температур и концентраций. Эти свойства позволяют использовать кондуктометрический метод в задачах контроля природной среды, в том числе для мониторинга фильтрационных процессов в основаниях ГТС.

Лабораторные исследования проводились в соответствии с РД 52.24.495-2005, РД 52.24.495-2017, ГОСТ 31770-2012 и др. [7–10].

Измеряемые показатели: концентрация C_{CaSO_4} , удельное электрическое сопротивление (УЭС) жидкости R_x , УЭП χ , pH раствора.

В качестве реактивов использовались дистиллированная вода, гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (месторождение Новомосковское Тульской области).

В качестве средств измерений были выбраны (рис. 2) кондуктометр «Анион-4100» с диапазоном измерений $\chi = 10^{-4} \dots 10$ См/м и погрешностью $\pm 2\%$; pH-метр «Анион-4100» с диапазоном измерений pH = 0 ... 14 и погрешностью $\pm 0,04$; лабораторные электронные весы Ek-610i с $m_{\text{max}} = 600$ г, шагом измерения 0,01 г и точностью $\pm 0,01$ г [11].

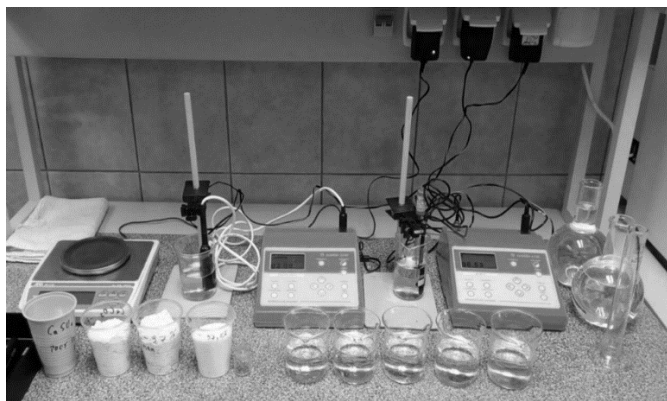


Рис. 2. Лабораторная установка
/ Fig. 2. Laboratory installation

Были подготовлены растворы с различным содержанием гипса. Выполнено измерение параметров, число повторений $n = 5$.

Результаты измерений ЭХС гипсовых растворов приведены в табл. 2, а обработки данных – в табл. 3.

Из анализа полученных данных следует, что при увеличении концентрации CaSO_4 в воде снижается удельное сопротивление R_x и повышается УЭП χ , pH раствора остался на уровне 6,71–6,84 (рис. 3–5).

На рис. 3 показаны зависимость удельного сопротивления R_x от концентрации C_{CaSO_4} и ее аппроксимация.

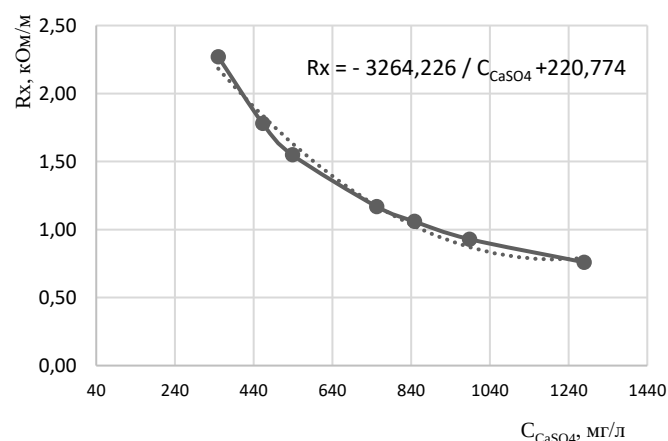


Рис. 3. Зависимость R_x от концентрации C_{CaSO_4}
/ Fig. 3. Dependence of R_x on C_{CaSO_4} concentration

Электродиффузионные свойства карбонатных растворов
/ Electrochemical properties of carbonate solutions

Параметр	№ опыта (средние значения, n=5)						
	1	2	3	4	5	6	7
C_{CaSO_4} , мг/л	350	463	538	752	848	988	1279
R_x , КОМ/м	2,27	1,78	1,55	1,17	1,06	0,93	0,76
УЭП χ , мкСм/м	439	561	642	854	945	1078	1321
pH	6,74	6,82	6,71	6,84	6,72	6,80	6,81

Таблица 2

Аппроксимация данных эксперимента
/ The approximation of the experimental data

Функция	Тип	Уравнение	Коэффициент		Средняя ошибка аппроксимации, %
			корреляции	детерминации	
$R_x (C_{CaSO_4})$	Гиперболическая	$R_x = -\frac{3264,226}{C_{CaSO_4}} + 220,774$	0,8106	0,6570	2,1698
УЭП (C_{CaSO_4})	Линейная	$\chi = 0,623C_{CaSO_4} + 129,572$	0,8830	0,6214	2,4459

Таблица 3

На рис. 4 отражены зависимость УЭП χ от концентрации C_{CaSO_4} и ее аппроксимация.

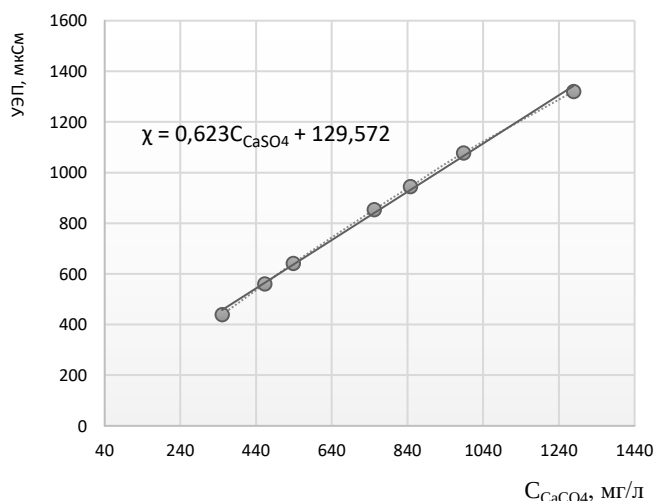


Рис. 4. Зависимость УЭП χ от концентрации C_{CaSO_4}
/ Fig. 4. Dependence of specific electrical conductivity χ on C_{CaSO_4} concentration

Зависимость pH от концентрации C_{CaSO_4} приведена на рис. 5.

течение времени t

$$\rho \frac{dw}{dt} = k(C_{max} - \frac{\chi-b}{a}) \cdot S; \quad (4)$$

$$V_{пустот} = \frac{w_0 - w_t}{\rho}, \quad (5)$$

где W – количество вещества, кг, перешедшее в воду при ее фильтрации через сечение S , м², за время t , с; $C_{max} = \text{const}$ – максимальная концентрация соли (гипса) в воде; ρ – парциальная плотность выщелачиваемой породы (гипса), кг/м³.

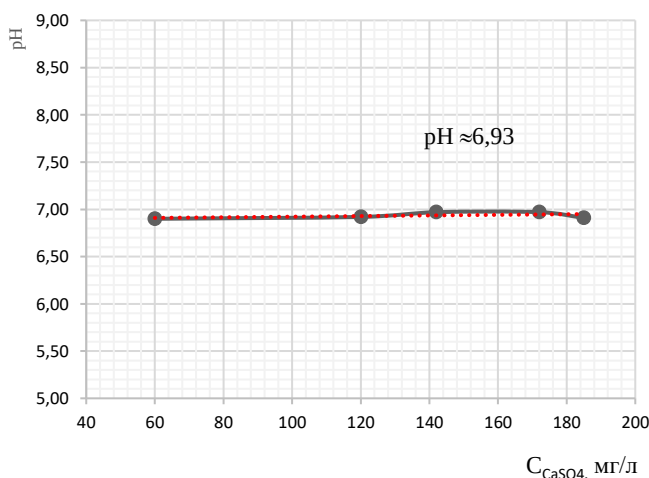


Рис. 5. Зависимость pH от концентрации C_{CaSO_4}
/ Fig. 5. Dependence of pH on concentration C_{CaSO_4}

Согласно полученным данным математическая модель исследуемого процесса может быть представлена в виде зависимости УЭП χ от концентрации C_{CaSO_4}

$$\chi = 0,623C_{CaSO_4} + 129,572. \quad (2)$$

Выразим C_{CaSO_4} через χ в уравнении (2) и введем коэффициенты a и b , характеризующие особенности состава породы и определяемые лабораторным способом:

$$C_{CaSO_4} = \frac{\chi-b}{a}. \quad (3)$$

Получим математическую модель количественной характеристики массы m вынесенных пород в процессе фильтрации и объема образующихся пустот $V_{пустот}$ в основании ГТС в

Ситуация, когда $C_{CaSO_4} < C_{max}$ соответствует безопасным значениям фильтрационного расхода воды. Значения $C_{CaSO_4} \rightarrow C_{max}$ и, соответственно, $\chi \rightarrow \chi_{крит.}$ являются предупреждением повышения скорости фильтрации v в основании ГТС. C_{max} для каждой отдельной территории и ГТС определяется лабораторным методом перед настройкой информационно-измерительной системы. Показатель $\chi_{крит.}$ является основанием для проведения комплекса противофильтрационных мероприятий.

Таким образом, УЭП χ может быть использована в качестве информативного параметра при мониторинге и прогнозировании фильтрационных процессов для количественного анализа размыва и разрушения основания ГТС.

Выводы

1. В результате анализа литературных источников и собственных исследований в качестве методов количественного анализа растворов гипсоносных пород был выбран электрохимический метод контроля.

2. По результатам экспериментальных исследований для контроля фильтрационных процессов в гипсосодержащих основаниях ГТС был выбран кондуктометрический способ измерения.

3. В качестве информативного параметра процесса вымывания пород выбрана и обоснована УЭП χ , которая прямо пропорциональна концентрации гипса в растворе.

4. Получена математическая модель количественной характеристики массы m вынесенных пород в процессе фильтрации и объема образующихся пустот $V_{пустот}$ в основании ГТС за время t .

5. Предложенный способ может быть успешно использован с целью контроля фильтрационных процессов в гипсоносных основаниях гидротехнических сооружений, количественного анализа размыва основания и предупреждения ЧС.

Литература

1. Баренблат Г.И., Желтов Ю.П. Об основных уравнениях фильтрации однородных жидкостей в трещиноватых породах // Докл. АН СССР. 1960. Т. 132, № 3. С. 545–548.
2. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. М.: Химия, 1989. 448 с.
3. Маслов Н.Н., Науменко В.Г. Условия устойчивости напорных сооружений на загипсованных толщах // Растворение и выщелачивание горных пород : сб. ст. М.: Госстройиздат, 1957. С. 71–82.

4. Etude experimentale et modelisation numerique des transferts hydriques de solute dans un milieu poreux non saturé-saturé // European Scientific J. 2015. Vol. 11, № 15. P. 246–259.

5. Pfannkuch H.O. Contribution a l'etude des déplacements de fluides miscibles dans un milieu poreux. Rev. Inst. Franc. Petrole. 1963. Vol. 18, № 2.

6. Латышенко К.П., Первухин Б.С. Метрология и измерительная техника. Микропроцессорные анализаторы жидкости. М.: Юрайт, 2016. 203 с.

7. ГОСТ 22171-90. Анализаторы жидкости кондуктометрические лабораторные. Общие технические условия. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200024060> (дата обращения: 01.03.2019).

8. ГОСТ 31770-2012. Мед. Метод определения электропроводности. URL: <http://docs.cntd.ru/document/-1200100955> (дата обращения: 01.03.2019).

9. РД 52.24.495-2005. Водородный показатель и удельная электрическая проводимость вод. Методика выполнения измерений электрометрическим методом. Ростов н/Д.: Гидрохимический ин-т, 2005. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200044036> (дата обращения: 01.03.2019).

10. РД 52.24.495-2017. Водородный показатель вод. Методика измерений потенциометрическим методом. URL: <http://docs.cntd.ru/document/556500353> (дата обращения: 01.03.2019).

11. Руководство по эксплуатации. Анализаторы жидкости лабораторные серии «Анион-4100». Новосибирск, 2013. 69 с.

References

1. Barenblat G.I., Zheltov Yu.P. Ob osnovnykh uravneniyakh fil'tratsii odnorodnykh zhidkostei v treshchinovatykh porodakh [On the basic filtration equations of homogeneous liquids in fractured rocks]. Dokl. AN SSSR. 1960, vol. 132, No. 3, pp. 545–548.
2. Lur'e Yu.Yu. Spravochnik po analiticheskoi khimii [Handbook of analytical chemistry]. Moscow: Khimiya, 1989, 448 p.
3. Maslov N.N., Naumenko V.G. [Conditions of stability of pressure structures on gypsum strata]. Rastvorenije i vyshchelachivanie gornyx porod [Dissolution and leaching of rocks]. Collected Papers. Moscow: Gosstroizdat, 1957, pp. 71–82.
4. Etude experimentale et modelisation numerique des transferts hydriques de solute dans un milieu poreux non saturé-saturé. European Scientific J. 2015, vol. 11, No. 15, pp. 246–259.
5. Pfannkuch N.O. Contribution a l'etude des déplacements de fluides miscibles dans un milieu poreux. Rev. Inst. Franc. Petrole. 1963, vol. 18, No. 2.

6. Latyshenko K.P., Pervukhin B.S. *Metrologiya i izmeritel'naya tekhnika. Mikroprotsessornye analizatory zhidkosti* [Metrology and measuring equipment. Microprocessor liquid analyzers]. Moscow: Yurait, 2016, 203 p.

7. GOST 22171-90. *Analizatory zhidkosti konduktometricheskie laboratornye. Obshchie tekhnicheskie usloviya* [The conductometric analysers of liquid laboratory. General technical conditions]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200024060> (accessed 01.03.2019).

8. GOST 31770-2012. *Med. Metod opredeleniya elektroprovodnosti* [Honey. Method for determination of electrical conductivity]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/-1200100955> (accessed 01.03.2019).

9. RD 52.24.495-2005. *Vodorodnyi pokazatel' i udel'naya elektricheskaya provodimost' vod. Metodika vypolneniya izmerenii elektrometricheskim metodom* [Hydrogen indicator and specific electrical conductivity of water. The method of measurement using electrometric method]. Rostov-on-Don: Gidrokhimicheskii in-t, 2005. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200044036> (accessed 01.03.2019).

10. RD 52.24.495-2017. *Vodorodnyi pokazatel' vod. Metodika izmerenii potentsiometricheskim metodom* [Hydrogen indicator of water. Measurement technique potentiometric method]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/556500353> (accessed 01.03.2019).

11. *Analizatory zhidkosti laboratornye serii «Anion 4100»* [“Anion 4100” series laboratory liquid analyzers]. User Manual. Novosibirsk, 2013, 69 p.

Поступила в редакцию / Received

18 апреля 2019 г. / April 18, 2019

УДК 551.542

DOI 10.23683/0321-3005-2019-2-66-73

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛЯ ПРИЗЕМНОГО АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ В АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ (1960–2017 гг.)

© 2019 г. Б.Н. Панов¹, Е.О. Спиридонова¹

¹Керченский государственный морской технологический университет, Керчь, Россия

CLIMATE CHANGES IN THE FIELD OF SURFACE ATMOSPHERIC PRESSURE IN THE AZOV-BLACK SEA REGION (1960-2017)

B.N. Panov¹, E.O. Spiridonova¹

¹Kerch State Maritime Technological University, Kerch, Russia

Панов Борис Николаевич – кандидат географических наук, доцент, старший научный сотрудник, Керченский государственный морской технологический университет, ул. Орджоникидзе, 82, г. Керчь, Республика Крым, 298309, Россия, e-mail: panov_bn@mail.ru

Boris N. Panov - Candidate of Geography, Associate Professor, Senior Researcher, Kerch State Maritime Technological University, Ordzhonikidze St., 82, Kerch, Republic of Crimea, 298309, Russia, e-mail: panov_bn@mail.ru

Спиридонова Елена Олеговна – кандидат географических наук, доцент, Керченский государственный морской технологический университет, ул. Орджоникидзе, 82, г. Керчь, Республика Крым, 298309, Россия, e-mail: helena.spyrydonova@gmail.com

Elena O. Spiridonova - Candidate of Geography, Associate Professor, Kerch State Maritime Technological University, Ordzhonikidze St., 82, Kerch, Republic of Crimea, 298309, Russia, e-mail: helena.spyrydonova@gmail.com

Определение многолетних изменений структуры поля приземного атмосферного давления в Азово-Черноморском регионе было выполнено для трех периодов на материалах базы ежедневных данных с 1960 по 2017 г. Пониженный фон приземного давления в период с 1960 по 1971 г. был обусловлен ослаблением влияния Азорского максимума и повышенной активностью Переднеазиатской депрессии. Повышенное давление 1982–1994 гг. связано с активизацией Азорского максимума и ослаблением влияния средиземноморских циклонов. Период пониженного давления 2001–2014 гг. характеризуется ослаблением влияния Переднеазиатской депрессии, Сибирского и Азорского максимумов, но повышением активности средиземноморских циклонов. В западной половине региона структура поля давления всех трех периодов поддерживает преобладание северо-восточных и северных атмосферных переносов. В восточной половине в первом периоде преобладали юго-восточные переносы, во втором – северо-восточные, в третьем – юго-западные.

Ключевые слова: Азово-Черноморский регион, атмосферное давление, структура поля, многолетние изменения, глобальные и региональные особенности.

The determination of long-term changes in the structure of the surface atmospheric pressure field in the Azov-Black sea region was performed for three periods on the basis of the database of daily data from 1960 to 2017. The reduced background of surface pressure in the period from 1960 to 1971 was due to the weakening of the influence of the Azores maximum and increased activity of the pre-Asian depression. High blood pressure 1982-1994 connected with intensification of the Azores high and the weakening the influence of the Mediterranean cyclones. The period of reduced pressure in 2001-2014 is characterized by the weakening of the influence of the pre-Asian depression, the Siberian and Azorean highs, but the increase in the activity of Mediterranean cyclones. In the Western half of the region, the pressure field structure of all three periods supports the predominance of North-Eastern and Northern atmospheric transport. In the Eastern half in the first period South-Eastern transfers prevailed, in the second - North-Eastern, in the third - South-Western.

Keywords: Azov-Black Sea region, atmospheric pressure, field structure, long-term changes, global and regional features.

Введение

Проблема быстрых изменений климата, активно исследуемая в последние десятилетия, имеет как глобальную, так и региональную составляющие.

Ключевой характеристикой этих изменений для любого региона, особенно морского, являются изменения характера приземного барического поля и переносов воздушных масс в приземном (приводном) слое, так как эти процессы не только играют ведущую роль в формировании погоды и климата, но и определяют океанографические условия био- и рыбопродуктивности морских акваторий.

Климатические изменения барических полей исследуются преимущественно в глобальных пространственно-временных масштабах, соответствующих размерам и периодам активности квазистационарных и сезонных центров действия атмосферы (ЦДА) [1–4].

В Азово-Черноморском регионе изменчивость барических полей исследовалась преимущественно с точки зрения циклонической активности [5, 6] и многолетних сезонных изменений атмосферных переносов [7]. Основным результатом этих исследований явилось, соответственно, выявление тенденции снижения частоты появления циклонов и отсутствия после 1990 г. преобладания в январе-феврале барического поля восточных переносов.

Множество исследований указывают на присутствие в региональных гидрометеорологических характеристиках устойчивых многолетних изменений, связанных с общими изменениями в атмосферной циркуляции в регионе:

- рост температуры воздуха, превышающий глобально осредненные оценки [8];
- преобладание зимнего потепления над летним, значимый тренд осеннего похолодания [9];
- ослабление силы ветра, снижение повторяемости восточных ветров [10, 11];
- увеличение количества выпадающих осадков [12].

Для морских экосистем особый интерес представляют установленные связи регионального среднего атмосферного давления и характера региональных зональных атмосферных переносов с соленостью вод Азовского моря [13] и с био- и рыбопродуктивностью Черного моря [14, 15].

Основные особенности барического поля в Азово-Черноморском регионе определяются взаимодействием Сибирского и Азорского максимумов, Азиатского минимума (Переднеазиатской депрессии), а также циклонами, перемещающимися со Средиземного моря и с Северной Атлантики.

Целью представленных в настоящей работе исследований является определение основных трансформаций поля приземного атмосферного давления в Азово-Черноморском регионе, формирующихся в процессе климатических изменений взаимодействия вышеуказанных ЦДА и циклонов.

Материалы и методы

Для анализа указанных изменений использовались карты поля приземного атмосферного давления в Азово-Черноморском регионе (далее – поле давления), построенные с использованием метода *Kriging*, программное обеспечение (ПО) *Golden Software Surfer*, по ежедневным данным о давлении (с 1960 по 2017 г.) в 16 точках региона (рис. 1а), предложенных В.А. Брянцевым [16]. Эта база данных Азово-Черноморского филиала (АзНИИРХ) ВНИРО эффективно используется с 80-х гг. XX в. в режимных и экосистемных исследованиях Черного и Азовского морей [7, 14–17 и др.].

Климатические изменения поля приземного атмосферного давления рассматривались в связи с изменениями среднего значения этого поля. Это значение представлено первым коэффициентом (A_{00}) разложения поля приземного атмосферного давления (P) в ряды по полиномам Чебышева ($A_{00} = P - 1000$ мб) [18]. Ряд средних годовых значений A_{00} (рис. 1б) сглажен кривой полинома пятой степени ПО, *Golden Software Grapher*).

Для анализа климатических изменений поля были выбраны два периода относительно низких и один период относительно высоких значений среднего давления. Периоды выбирались с учетом локальных минимумов и максимумов средних годовых значений. В каждом периоде было отобрано по три года, соответственно, с самыми низкими и самыми высокими (экстремальными) средними годовыми значениями A_{00} . Характеристики выбранных лет и периодов представлены в таблице.

По ежедневным данным для выбранных периодов и экстремальных лет строились средние многолетние, годовые и сезонные давления (рис. 2, 3).

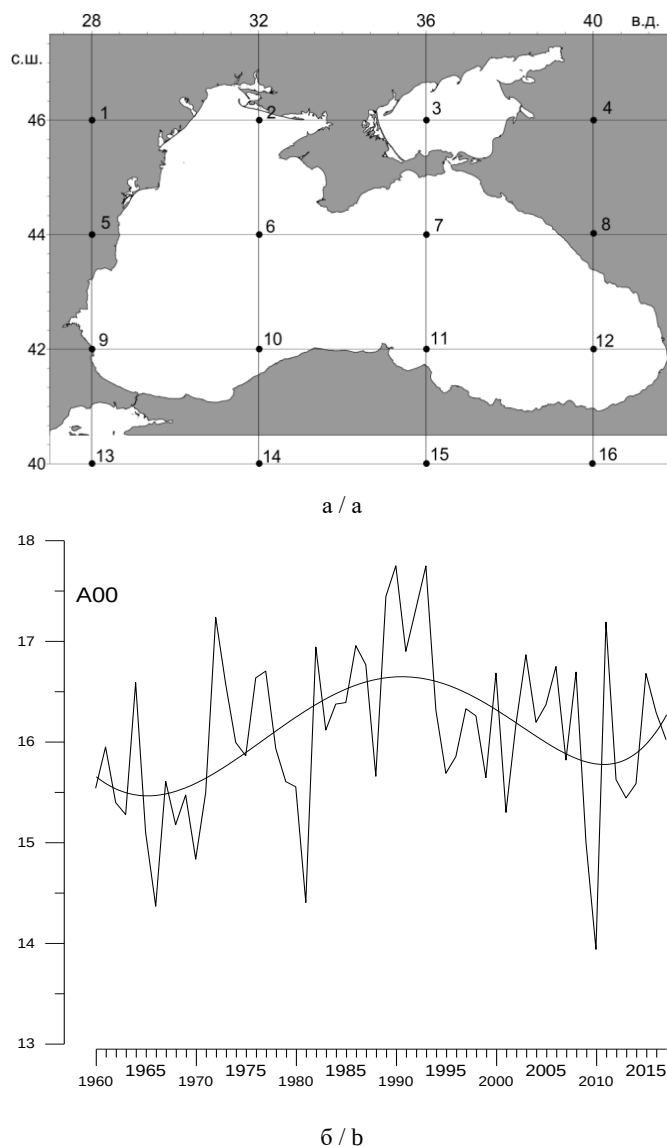


Рис. 1. Сетка ежедневного мониторинга приземного атмосферного давления в Азово-Черноморском регионе (а), осуществляемого с 1960 г. [16], и изменение средних годовых значений этого поля (б) / Fig. 1. The grid of daily monitoring of surface atmospheric pressure in the Azov-Black Sea region (a), carried out since 1960 [16] and the change in the average annual values of this field (b)

Результаты исследований

Выполненный анализ свидетельствует о том, что многолетние изменения давления происходят на фоне общей тенденции роста его среднего значения. Продолжительность выбранных периодов составляет 12, 13 и 14 лет соответственно, период исследованного колебательного цикла – 46 лет (рис. 16). Амплитуда роста средних значений (1,4 мб) была на 0,5 мб больше амплитуды их уменьшения (0,9 мб). Амплитуда изменений средних значений экстремальных лет периодов достигает 3 мб (таблица).

Характеристики лет и периодов высокого и низкого среднего приземного атмосферного давления (A00) в Азово-Черноморском регионе с 1960 по 2017 г. / Characteristics of years and periods of high and low average surface atmospheric pressure (A00) in the Azov-Black Sea region from 1960 to 2017

Выбранный период	Среднее значение A00 периода	Годы экстремальных значений A00	Средние годовые значения A00 экстремальных лет
1960–1971	15,397 (низкие)	1965, 1966, 1970 (низкие)	15,097; 14,364; 14,831 (среднее 14,764 – низкое)
1982–1994	16,818 (высокие)	1989, 1990, 1993 (высокие)	17,441; 17,745; 17,734 (среднее 17,640 – высокое)
2001–2014	15,927 (низкие)	2001, 2009, 2010 (низкие)	15,296; 14,996; 13,936 (среднее 14,725 – низкое)

Карты (рис. 2) средних для рассматриваемых периодов полей (П1) свидетельствуют о том, что первый период характеризуется влиянием на регион двух областей повышенного давления: с северо-запада (гребень Азорского максимума) и с северо-востока (гребень Сибирского максимума), а также области пониженного давления с юго-востока (Переднеазиатская депрессия) с формированием циклонов над морем. Второй период отмечен усилением влияния Азорского максимума, ослаблением влияния Сибирского максимума и уменьшением циклонообразования над морем. В третьем периоде наблюдается ослабление (даже по сравнению с первым периодом) влияния ЦДА повышенного давления (в большей степени Сибирского максимума) и Переднеазиатской депрессии. В результате отмеченных изменений уменьшились градиенты давления (вышеотмеченное ослабление ветров), а область пониженного давления с образованием циклонов над морем распространялась в регион с юга в северо-восточном направлении.

Карты (П2) средних полей экстремальных лет и отклонений (Δ) полей П2 от полей П1 (рис. 2) позволяют увидеть преобладающие изменения, происходящие в поле давления в рассматриваемые периоды.

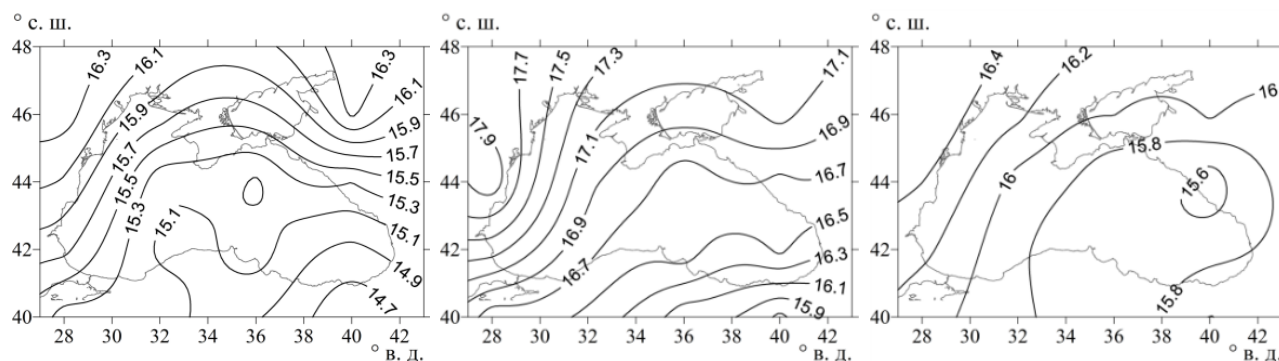
В первом периоде очевидна активизация области пониженного давления (циклон над морем) практически по всему региону. Понижение давления происходит повсеместно ($\Delta_{\min} = -0,30$), но наиболее интенсивное снижение давления наблюдается в зоне влияния Азорского максимума. Во втором периоде карта поля экстремальных лет демонстрирует снижение влияния отрога Сибирского максимума.

Среднее поле (П1) выбранных периодов

1960–1971 гг.

1982–1994 гг.

2001–2014 гг.

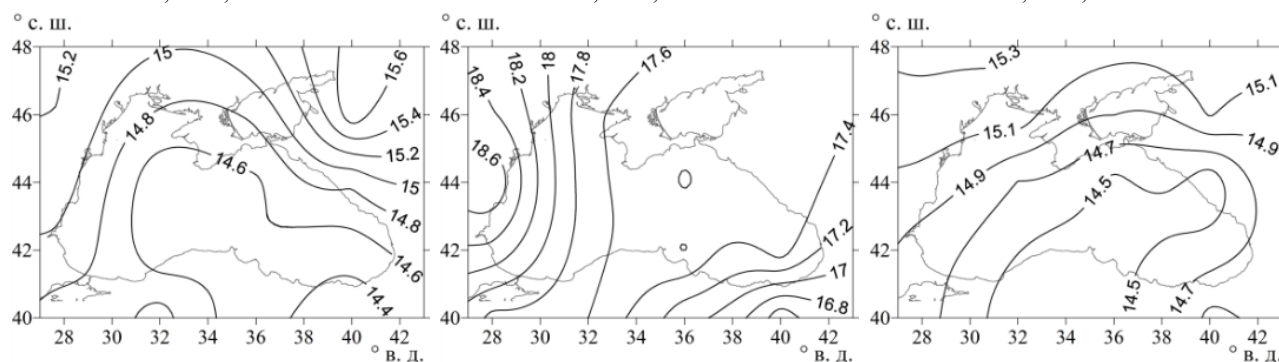


Среднее поле (П2) для экстремальных лет периодов

1965, 1966, 1970 гг.

1989, 1990, 1993 гг.

2001, 2009, 2010 гг.



Отклонение (Δ) поля (П2) экстремальных лет от среднего поля (П1) периода

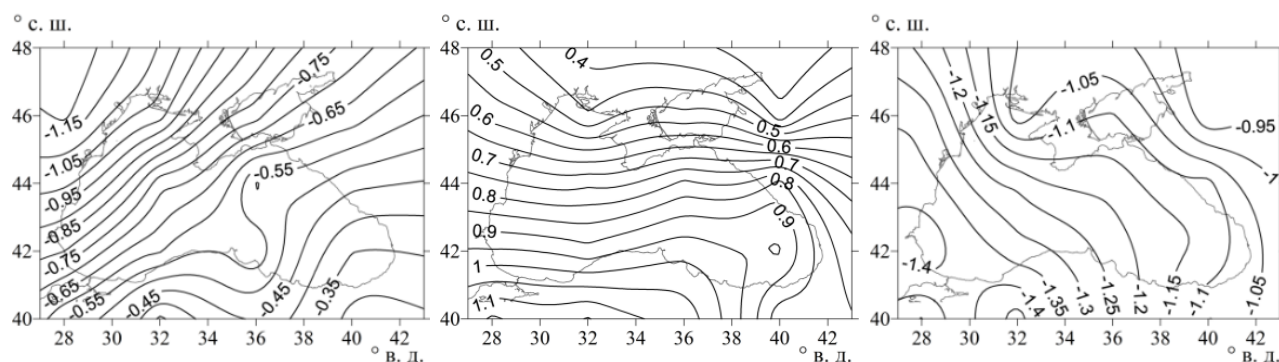
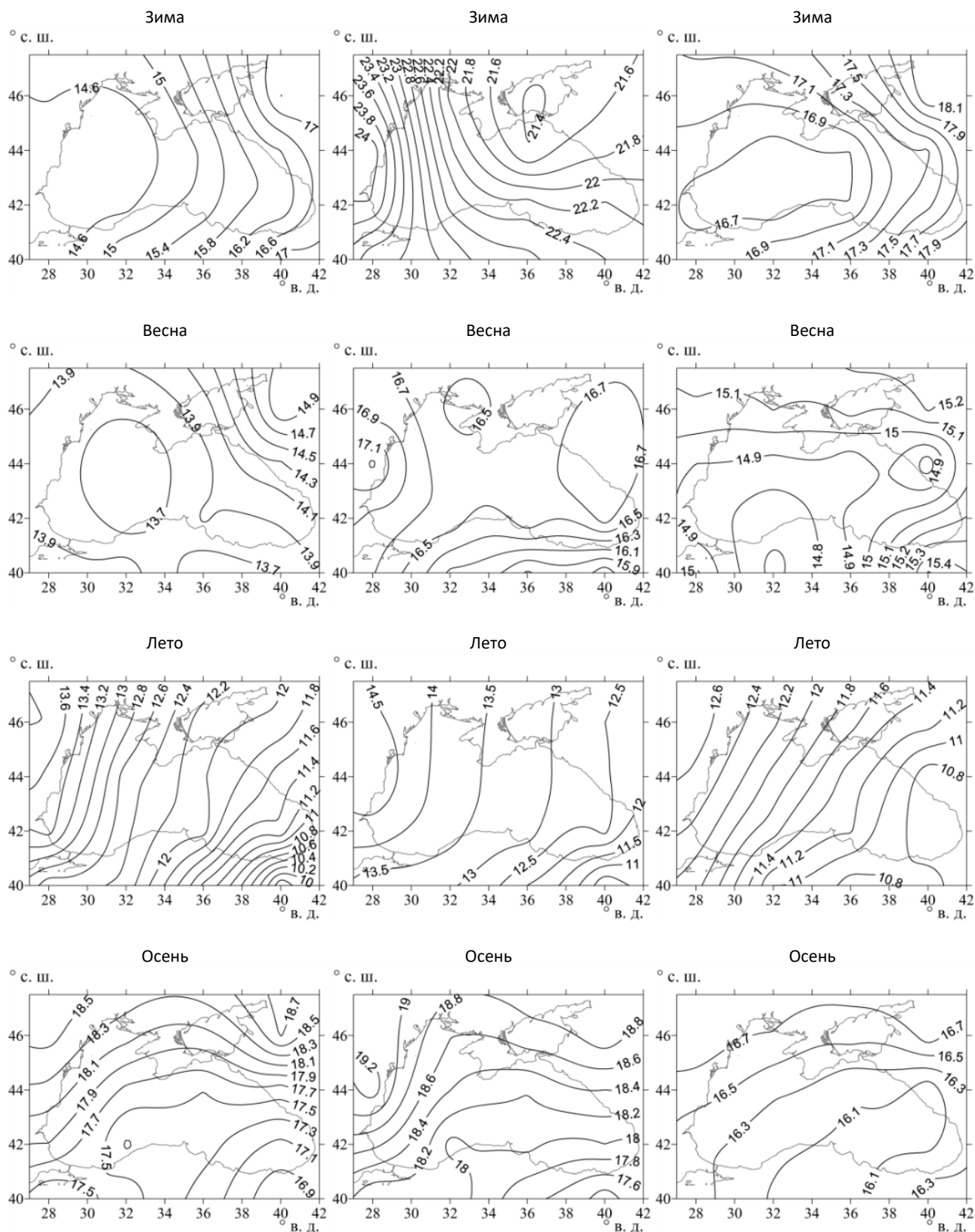


Рис. 2. Карты средних полей приземного атмосферного давления (-1000 мб) в Азово-Черноморском регионе для трех периодов с относительно низким и высоким его значением, средних полей экстремальных лет этих периодов и карты отклонений вторых полей от первых / Fig. 2. Maps of average fields of surface atmospheric pressure (-1000 mb) in the Azov-Black Sea region for three periods with relatively low and high values, average fields of extreme years of these periods, and maps of deviations of the second fields from the first

Ср. для 1965, 1966, 1970 гг.

Ср. для 1989, 1990, 1993 гг.

Ср. для 2001, 2009, 2010 гг.



Карта отклонений указывает на то, что рост давления происходит повсеместно ($\Delta_{\min} = 0,35$), но более интенсивно на юго-западе района за счет снижения активности средиземноморских циклонов.

В третьем периоде поле отклонений демонстрирует повсеместное сравнительно активное снижение давления ($\Delta_{\min} = -0,95$), при этом наибольшее снижение наблюдалось на юго-западе района, что может быть следствием активизации в экстремальные годы последнего периода деятельности средиземноморских циклонов. На карте П2 третьего периода следует обратить внимание на сформировавшуюся на юго-востоке область относительно высокого давления. Это можно трактовать как ослабление влияния Переднеазиатской депрессии на фоне активизации средиземноморских циклонов. Это приводит к появлению относительно устойчивых аномальных юго-западных атмосферных переносов в восточной части региона.

Анализ карт средних сезонных полей (рис. 3) для экстремальных лет с низким и высоким средним для региона атмосферным давлением показывает прежде всего то, что характерные особенности структуры среднего годового поля определяются процессами весеннего и осеннего сезонов. На картах этих сезонов отчетливо видны все вышерассмотренные характерные особенности распределения атмосферного давления для всех трех периодов. В то же время весенний период отличается от осеннего меньшими градиентами давления и большим количеством замкнутых циклонических изолиний. Карта весеннего сезона периода относительно высокого давления представляет единственный случай активного весеннего влияния на регион ложбин циклонов с севера.

Карты летнего сезона всех трех периодов сравнительно однообразны. Распределение давления определяется взаимодействием гребня Азорского максимума на северо-западе и Переднеазиатского минимума – на юго-востоке.

Зимние карты давления подвержены наибольшим климатическим изменениям. В первом и третьем периодах (в годы относительно низкого атмосферного давления) юго-западная часть региона находится под активным воздействием средиземноморских циклонов, северо-восточная – под влиянием Сибирского максимума (в другие сезоны первого периода область пониженного давления располагается на юго-востоке района). В третьем периоде практически над всем Черным морем зимой располагается область пониженного атмосферного давления с юго-запада, влияние которой (в отличие от первого периода с пониженным давлением) сохранялось и весной, и осенью. Во втором периоде

в зимние месяцы активно проявилось влияние Азорского максимума (которое сохранялось в течение всего года) и (как и весной) ложбин циклонов на севере района.

В заключение анализа барических полей следует сделать несколько, на наш взгляд, важных замечаний относительно атмосферных переносов, преобладающих в рассматриваемые периоды.

По средним многолетним полям (см. рис. 2) всех трех ситуаций видно, что в западной половине региона структура поля давления поддерживает преобладание северо-восточных и северных атмосферных переносов. В восточной половине в первом периоде преобладали юго-восточные переносы, во втором – северо-восточные, в третьем – юго-западные. Это свидетельствует о том, что Азово-Черноморский регион является восточной границей устойчивого влияния Азорского максимума, и о том, что Азорский максимум является основным ЦДА, влияющим на данный регион. Следствием этой особенности могут быть неустойчивость климатических характеристик восточной половины региона, а также формирование экосистемных различий западной и восточной частей Черного моря.

Заключение

В результате выполненных исследований установлено, что пониженный фон приземного атмосферного давления в период с 1960 по 1971 г. был обусловлен ослаблением влияния Азорского максимума и повышенной активностью Переднеазиатской депрессии, а в зимние месяцы – повышенной активностью средиземноморских циклонов. Сибирский максимум отличался сравнительно высокой активностью зимой и весной.

Повышенное давление в период с 1982 по 1994 г. связано с активизацией Азорского максимума и ослаблением на юго-западе района влияния средиземноморских циклонов. В это же время отмечались снижение влияния Сибирского максимума и повышенное влияние циклонов на севере региона.

Период пониженного давления 2001–2014 гг. характеризуется ослаблением влияния Переднеазиатской депрессии, Сибирского и Азорского максимумов (в результате чего заметно уменьшились горизонтальные градиенты давления), а также повышением активности средиземноморских циклонов.

Наиболее активными факторами, влияющими на структуру приземного барического поля в регионе, следует считать Азорский максимум, Переднеазиатскую депрессию и средиземноморские циклоны.

Литература

1. Хромов С.П. Основы синоптической метеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1948. 696 с.
2. Мартынова Т.В. О колебаниях положения и интенсивности центров действия атмосферы // Метеорология и гидрология. 1990. № 4. С. 50–56.
3. Астафьева Н.М. Возможные причины горячего российского лета // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8, № 3. С. 223–243.
4. Мониторинг общей циркуляции атмосферы. Северное полушарие / под ред. Р.М. Вильфанда, А.И. Неушкина. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2012. 272 с.
5. Маслова В.Н., Воскресенская Е.Н., Бардин М.Ю. Межгодовая изменчивость характеристик циклонов в черноморско-средиземноморском регионе // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: МГИ, 2008. С. 299–302.
6. Полонский А.Б., Бардин М.Ю., Воскресенская Е.Н. Изменчивость черноморских циклонов во второй половине XX века // Морской гидрофиз. журн. 2007. № 6. С. 47–58.
7. Панов Б.Н., Спиридонова Е.О. Особенности сезонной и межгодовой изменчивости приземных атмосферных переносов в северной части Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зоны и комплексное использование ресурсов шельфа. 2010. Вып. 23. С. 47–60.
8. Ефимов В.В. Изменения климата Черноморского региона // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа. 2005. Вып. 13. С. 322–333.
9. Ильин Ю.П., Репетин Л.Н. Вековые изменения температуры воздуха в Черноморском регионе и их сезонные особенности // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа. 2006. Вып. 14. С. 433–448.
10. Ильин Ю.П., Фомин В.В., Дьяков Н.Н., Горбач С.Б. Гидрометеорологические условия морей Украины. Т. 1 : Азовское море. Севастополь, 2009. 402 с.
11. Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н. Режим ветра северо-западной части Черного моря и его климатические изменения // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа. 2008. Вып. 16. С. 225–243.
12. Репетин Л.Н., Долотов В.В., Липченко М.М. Пространственно-временная и климатическая изменчивость атмосферных осадков, выпадающих на поверхность Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа. 2006. Вып. 14. С. 462–476.
13. Спиридонова Е.О., Панов Б.Н., Жукова С.В. О возможностях долгосрочного прогнозирования солёности вод Азовского моря с использованием показателей

региональной атмосферной циркуляции // Водные биоресурсы и среда обитания. 2018. Т. 1, № 3–4. С. 40–44.

14. Панов Б.Н., Спиридонова Е.О. Тренды некоторых сопряженных характеристик черноморской экосистемы. Возможности их диагностики и прогнозирования // Окружающая среда и человек. Современные проблемы генетики, селекции и биотехнологии : материалы Междунар. науч. конф. и молодеж. науч. конф. памяти чл.-корр. РАН Д.Г. Матишова. Ростов н/Д. : Изд-во ЮНЦ РАН, 2016. С. 122–125.

15. Брянецев В.А. Атмосферная циркуляция как основа долгосрочных рыбопромысловых прогнозов (на примере Черного моря) // Пленарные доклады 8-й Всесоюз. конф. по промысловой океанологии. М.: ВНИРО, 1990. С. 173–180.

16. Брянецев В.А. Методические рекомендации по гидрометеорологическому прогнозированию для основных объектов промысла в Черном море. Керчь: АзЧерНИРО, 1987. 41 с.

17. Брянецев В.А. Информация в форме суммарных аномалий атмосферной циркуляции и ее воздействие на экосистему Черного моря // Докл. НАН Украины. 1996. № 9. С. 163–168.

18. Панов Б.Н., Спиридонова Е.О. Современные тенденции изменений характера атмосферной циркуляции в Азово-Черноморском регионе // Метеорология и гидрология. 2018. № 1. С. 43–51.

References

1. Khromov S.P. *Osnovy sinopticheskoi meteorologii* [Fundamentals of synoptic meteorology]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1948, 696 p.
2. Martynova T.V. O kolebaniyakh polozheniya i intensivnosti tsentrov deistviya atmosfery [About fluctuations in the position and intensity of the centers of action of the atmosphere]. *Meteorologiya i gidrologiya*. 1990, No. 4, pp. 50–56.
3. Astaf'eva N.M. Vozmozhnye prichiny goryachego rossiiskogo leta [Possible reasons for the hot Russian summer]. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2011, vol. 8, No. 3, pp. 223–243.
4. *Monitoring obshchei tsirkulyatsii atmosfery. Severnoe polusharie* [Monitoring the general circulation of the atmosphere. Northern hemisphere]. Eds. R.M. Vilfand, A.I. Neushkin. Obninsk: VNIIGMI-MTsD, 2012, 272 p.
5. Maslova V.N., Voskresenskaya E.N., Bardin M.Yu. [Interannual variability of cyclone characteristics in the Black Sea-Mediterranean region]. *Sistemy kontrolya okruzhayushchei sredy* [Environmental control systems]. Sevastopol: MGI, 2008, pp. 299–302.
6. Polonskii A.B., Bardin M.Yu., Voskresenskaya E.N. Izmenchivost' chernomorskikh tsiklonov vo vtoroi polovine XX veka [The variability of the Black Sea cyclones in the second half of the 20th century]. *Morskoj gidrofiz. zhurn*. 2007, No. 6, pp. 47–58.

7. Panov B.N., Spiridonova E.O. Osobennosti sezonnoi i mezhgodovoi izmenchivosti prizemnykh atmosferykh perenosov v severnoi chasti Chernogo morya [Features of seasonal and inter-annual variability of surface atmospheric transport in the northern part of the Black Sea]. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoi i shel'fovoi zony i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*. 2010, iss. 23, pp. 47-60.
8. Efimov V.V. Izmeneniya klimata Chernomorskogo regiona [Climate change in the Black Sea region]. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoi i shel'fovoi zon i kompleksnye issledovaniya resursov shel'fa*. 2005, iss. 13, pp. 322-333.
9. Il'in Yu.P., Repetin L.N. Vekovye izmeneniya temperatury vozdukh v Chernomorskom regione i ikh sezonnye osobennosti [Century changes in air temperature in the Black Sea region and their seasonal features]. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoi i shel'fovoi zon i kompleksnye issledovaniya resursov shel'fa*. 2006, iss. 14, pp. 433-448.
10. Il'in Yu.P., Fomin V.V., D'yakov N.N., Gorbach S.B. *Gidrometeorologicheskie usloviya morei Ukrainy* [Hydrometeorological conditions of the seas of Ukraine]. Vol. 1: Sea of Azov. Sevastopol, 2009, 402 p.
11. Repetin L.N., Belokopytov V.N. Rezhim vetra severo-zapadnoi chasti Chernogo morya i ego klimaticheskie izmeneniya [Wind regime of the northwestern part of the Black Sea and its climatic changes]. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoi i shel'fovoi zon i kompleksnye issledovaniya resursov shel'fa*. 2008, iss. 16, pp. 225-243.
12. Repetin L.N., Dolotov V.V., Lipchenko M.M. Prostranstvenno-vremennaya i klimaticheskaya izmenchivost' atmosferykh osadkov, vypadayushchikh na poverkhnost' Chernogo morya [Spatio-temporal and climatic variability of precipitation falling on the surface of the Black Sea]. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoi i shel'fovoi zon i kompleksnye issledovaniya resursov shel'fa*. 2006, iss. 14, pp. 462-476.
13. Spiridonova E.O., Panov B.N., Zhukova S.V. O vozmozhnostyakh dolgosrochnogo prognozirovaniya solenosti vod Azovskogo morya s ispol'zovaniem pokazatelei regional'noi atmosferynoi tsirkulyatsii [About the possibilities of long-term forecasting of the salinity of the waters of the Sea of Azov using indicators of regional atmospheric circulation]. *Vodnye bioresursy i sreda obitaniya*. 2018, vol. 1, No. 3-4, pp. 40-44.
14. Panov B.N., Spiridonova E.O. [Trends of some associated characteristics of the Black Sea ecosystem. Possibilities of their diagnostics and forecasting]. *Okruzhayushchaya sreda i chelovek. Sovremennye problemy genetiki, selektsii i biotekhnologii* [Environment and man. Modern problems of genetics, breeding and biotechnology]. Proceedings of the International Scientific Conference and Youth Scientific Conference in Memory of D.G. Matishov. Rostov-on-Don: Izd-vo YuNTs RAN, 2016, pp. 122-125.
15. Bryantsev V.A. [Atmospheric circulation as a basis for long-term fisheries forecasts (using the example of the Black Sea)]. *Plenarnye doklady 8-i Vsesoyuz. konf. po promyslovoi okeanologii* [Plenary reports of the 8th all-Union conference on commercial oceanology]. Moscow: VNIRO, 1990, pp. 173-180.
16. Bryantsev V.A. *Metodicheskie rekomendatsii po gidrometeorologicheskomu prognozirovaniyu dlya osnovnykh ob"ektov promysla v Chernom more* [Guidelines for hydrometeorological forecasting for the main objects of fishing in the Black Sea]. Kerch: AzCherNIRO, 1987, 41 p.
17. Bryantsev V.A. Informatsiya v forme summarnykh anomalii atmosferynoi tsirkulyatsii i ee vozdeistvie na ekosistemu Chernogo morya [Information in the form of total anomalies of atmospheric circulation and its impact on the ecosystem of the Black Sea]. *Dokl. NAN Ukrainy*. 1996, No. 9, pp. 163-168.
18. Panov B.N., Spiridonova E.O. Sovremennye tendentsii izmenenii kharaktera atmosferynoi tsirkulyatsii v Azovo-Chernomorskom regione [Current trends in changes in the character of atmospheric circulation in the Azov-Black Sea region]. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2018, No. 1, pp. 43-51.

УДК 553.411:550.84(571.65)

DOI 10.23683/0321-3005-2019-2-74-81

ОТРАЖЕНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО МЕТАМОРФИЗМА В ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОЛЯХ ЗОЛОТОВМЕЩАЮЩИХ ТОЛЩ ВЕРХОЯНО-КОЛЫМСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ

© 2019 г. А.Э. Харди́ков¹

¹Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

REFLECTION OF LOW-TEMPERATURE METAMORPHISM IN GEOCHEMICAL FIELDS OF GOLD-BEARING STRATA OF VERKHOYANSK-KOLYMA OROGEN

A.E. Khardikov¹

¹Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Харди́ков Александр Эдуардович – доктор геолого-минералогических наук, профессор, Институт наук о Земле, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: khardikov@sfedu.ru

Alexander E. Khardikov - Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Institute for Earth Sciences, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: khardikov@sfedu.ru

В результате площадных геохимических поисков по вторичным ореолам рассеяния в пределах Азальской перспективной площади, находящейся в пределах Аян-Юряхского антиклинория Верхояно-Колымской складчатой области, выявлена зональность распределения химических элементов. Она отображает существующие здесь пространственно-временные соотношения различных типов метаморфизма, приведших к формированию единой метасоматической колонки, а также подтверждает наличие неодинаковых уровней современного эрозионного среза исследуемой территории, что вывело на дневную поверхность горизонты, отвечающие стадиям метасоматоза, происходящим при различной температуре и кислотно-щелочном режиме. По характеру распределения элементов исследованного комплекса на территории Азальской перспективной площади в первую очередь выделяются золото и мышьяк. Они образуют во вторичных ореолах контрастные аномалии, обнаруживающие связь с конкретными геологическими объектами. Их распространение контролируется четырьмя главными ветвями Хинике-Кулинской зоны разломов, а также малыми штоками и штокообразными телами гранитоидов басугунинского и nera-бохачинского интрузивных комплексов. Свинец, серебро, цинк, кобальт, никель, медь, олово, барий, молибден образуют неконтрастные вторичные ореолы рассеяния и отражают геохимическую зональность вокруг геологических объектов либо их геохимическую специализацию. Промежуточное положение занимает вольфрам. Пространственно совмещенные вторичные ореолы исследованных элементов группируются в четыре рудно-геохимические зоны: Соготохская, Хугланнах-Пунктирненская, Стожильненская, Арга-Юряхская. Полученные данные позволяют локализовать участки с разной степенью перспективности выявления коренных золоторудных объектов.

Ключевые слова: Верхояно-Колымская складчатая область, площадные геохимические исследования, метаморфизм, метасоматоз.

In the result of areal geochemical searches at the secondary scattering halos within Azial promising areas within Ayan-Yuryakh anticlinorium within Verkhoyansk-Kolyma orogen a zonation of the distribution of chemical elements is revealed. It reflects the existing the space-time relations of different types of metamorphism spatial and temporal correlation of different types of metamorphism, which led to the formation of a single metasomatic column, and also confirms the presence of different levels of modern erosion section of the study area, which brought to the surface of the day horizons, corresponding to the stages of metasomatoses, occurring at different temperatures and acid-alkali mode. By the nature of the distribution, gold and arsenic are distinguished, forming contrasting anomalies in the secondary halos and revealing a connection with specific geological objects. Their distribution is controlled by the four main branches Hinike-Kulu fault zones, as well as small stocks and rod-shaped bodies of granitoids of Basugunya and Nera-Bokhapcha intrusive complexes. Lead, silver, zinc, cobalt, nickel, copper, tin, barium, molybdenum form weakly contrasting secondary halos, reflecting the geochemical zoning around geological objects, or their geochemical specialization. Tungsten occupies an intermediate position. Spatially combined secondary halos of investigated elements are grouped into four ore-geochemical zones: Sogotokh, Hooglannah-Punctirnensk, Stogylenskaya and Arga-Yuryakh. The obtained data allow localizing areas with different degree of prospects for the identification of indigenous gold objects.

Keywords: Verkhoyansk-Kolyma orogen, areal geochemical searches, metamorphism, metasomatoses.

Эффективность картирования гидротермально-метаморфических образований для оценки перспектив рудоносности площадей на стадии проведения поисково-оценочных работ масштаба 1:50000 не вызывает сомнений [1–3]. Результаты

подобных исследований на примере Азальской перспективной площади, расположенной в пределах Аян-Юряхского антиклинория Верхояно-Колымской складчатой области (рис. 1) были изложены в статье [4].

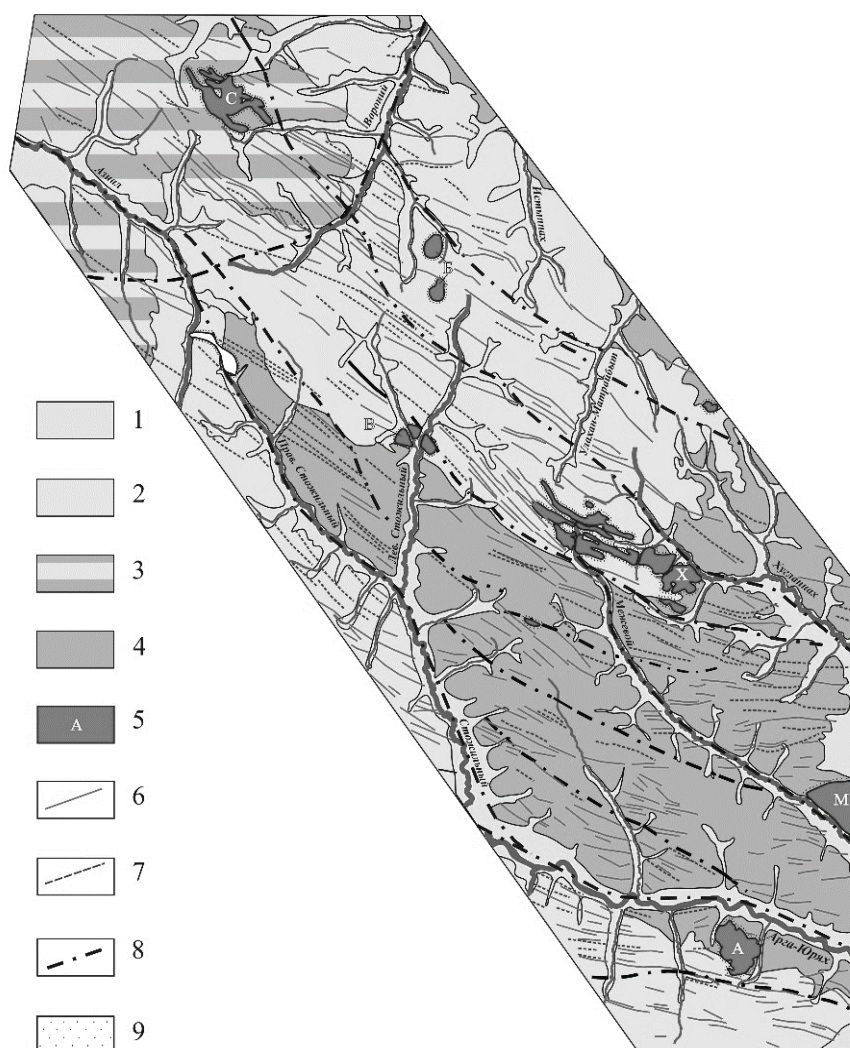


Рис. 1. Схема геологического строения Азиатской площади. Стратиграфические подразделения: 1 – четвертичные отложения (Q); 2 – атканская свита (P_{3at}); 3 – омчакская свита (P_{3om}); 4 – старательская свита (P_{3st}). Интрузивные образования: 5 – позднелюрские и позднемеловые штоки (С – Соготокхский шток гранодиоритов и кварцевых диоритов позднелюрского басугуньинского интрузивного комплекса – I_{3b}; Б – шток Быстрый, представленный двумя разрозненными изометричными выходами граносиенит-порфиров и монцодиоритов позднемелового биликанского интрузивного комплекса – K_{2bl}; В – Верхне-Стожильненский шток гранодиоритов позднелюрского басугуньинского интрузивного комплекса – I_{3b}; Х – шток Хугланнах гранитов и гранодиоритов позднелюрского басугуньинского интрузивного комплекса – I_{3b}; А – Арга-Юряхский шток плагиогранитов и кварцевых диоритов позднелюрского нера-бохапчинского гипабиссального комплекса малых интрузий – I_{3nb}; М – шток Межевой кварцевых диоритов и гранитов позднелюрского басугуньинского интрузивного комплекса – I_{3b}); 6 – дайки гранитов, гранодиоритов, плагиогранитов, их порфиров и порфиров нера-бохапчинского, басугуньинского и биликанского комплексов (автометаморфизм: серицитизация, окварцевание); 7 – дайки кварцевых диоритов, диоритов и их порфиров, габбро-порфиров нера-бохапчинского, басугуньинского и биликанского комплексов (автометаморфизм: хлоритизация, соссуритизация, альбитизация, кальцитизация); 8 – тектонические нарушения; 9 – биотитово-кварцевые, биотитовые, альбитово-актинолитовые роговики и узловатые сланцы, парагенезисы которых соответствуют мусковитово-роговиковой фации контактового метаморфизма / Fig. 1. The scheme of the geological structure of the Asian area. Stratigraphic subdivisions: 1 - quaternary deposits (Q); 2 - atkan suite (P_{3at}); 3 - omchakh suite (P_{3om}); 4 - prospecting suite (P_{3st}). Intrusive formations: 5 - late Jurassic and late Cretaceous stocks (C - Sogotokh stock granodiorites and quartz diorites of late Basugunya intrusive complex - I_{3b}; B - stock Fast, is represented by two disparate isometric outputs granosyenite-monzodiorites and monzodiorites of late Cretaceous Bilikan intrusive complex - K_{2bl}; B - Upper-Stoglyneensky stock granodiorites of late Jurassic Basugunya intrusive complex - I_{3b}; X - stock Hooglannah granites and granodiorites of the late Jurassic intrusive Basugunya complex - I_{3b}; A - Arga-Yuryakh stock of plagiogranites and quartz diorites of late Jurassic Nera-Bokhapcha hypabyssal complex of small intrusions - I_{3nb}; M - stock Megevoi of quartz diorites and granites of late Jurassic Basugunya intrusive complex - I_{3b}); 6 - dykes of granites, granodiorites, plagiogranites, it's porphyries and porphyrites of the Nera-Bokhapcha, Basugunya and Bilikan complexes (autometamorphism: sericitization, silicification); 7 - dikes of quartz diorites, diorites and their porphyrites, gabbro porphyrites of the Nera-Bokhapcha, Basugunya and Bilican complexes (auto-metamorphism: chloritization, saussuritization, albitization, calcification); 8 - tectonic disturbances; 9 - biotite-quartz, biotite, albite-actinolite hornfels and nodal schists, the parageneses of which correspond to muscovite-hornfels facies of contact meta-morphism

В геологическом строении территории участвуют морские терригенные и вулканогенно-осадочные отложения верхней перми и триаса (труская толща, обнажающаяся в бассейне среднего течения р. Арга-Юрях), смятые в сложные, преимущественно линейные складки северо-западного простирания и прорванные многочисленными дайками и штоками интрузивных пород [5–9]. Не менее важными для успешного проведения поисково-оценочных работ являются выявление геохимических аномалий и определение их связи с рудоконтролирующими гидротермально-метасоматическими и метаморфическими преобразованиями, что также будет продемонстрировано на примере Азияльской площади.

Параметры фонового распределения элементов во вторичных ореолах, сформированных по различным литолого-стратиграфическим комплексам и интрузивным породам территории, сопоставимы с региональными фоновыми содержаниями, установленными для тех же образований [10, 11]. При этом близко к кларку содержание таких элементов, как Pb, Cu, Sc, Bi, As, Sn, Zr, V, Au, Ba, W, Be, Mo. В относительном дефиците находятся лишь Mn, Zn, Ge, Sr; незначительно превышают региональные фоновые значения Nb, Ni, Li, Y, Co, Ag, Cr. Выявленные аномалии связаны с наложенными, в том числе рудными, процессами.

По характеру распределения элементов исследованного комплекса на территории Азияльской перспективной площади в первую очередь выделяются золото и мышьяк, образующие во вторичных ореолах контрастные аномалии и обнаруживающие связь с конкретными геологическими объектами. Их распространение контролируется четырьмя главными ветвями Хинике-Кулинской зоны разломов северо-западного простирания, фиксируемой Арга-Юряхским полем даек, а также малыми штоками и штокообразными телами гранитоидов (Межевой, Арга-Юрях, Хугланнах и др.) басугуьинского и нера-бохапчинского интрузивных комплексов. Свинец, серебро, цинк, кобальт, никель, медь, олово, барий, молибден образуют слабоконтрастные вторичные ореолы. Они отражают либо геохимическую зональность вокруг геологических объектов, либо их геохимическую специализацию. Промежуточное положение занимает вольфрам. Наиболее контрастные вторичные ореолы рассеяния этого элемента приурочены к центральным частям Хугланнахского и Арга-Юряхского штоков, в то же время аномалии с небольшой интенсивностью уверенно прослеживаются и по периферии этих объектов.

Пространственно совмещенные вторичные ореолы исследованных элементов группируются в четыре рудно-геохимические зоны: Соготохская,

Хугланнах-Пунктирненская, Стожильненская, Арга-Юряхская (рис. 2). Они кулисообразно расположены относительно друг друга со смещением в юго-восточном направлении и контролируются положением основных тектонических структур. К этим зонам приурочены, помимо вторичных ореолов рудогенных элементов, многочисленные пункты золоторудной минерализации, известные рудопроявления и проявления россыпной золотоносности.

Наиболее крупная Хугланнах-Пунктирненская рудно-геохимическая зона расположена в центральной части Азияльской площади и прослеживается единой полосой продуктивных вторичных ореолов золота, мышьяка от верховьев ручьев Вороний, Медвежий, Левый Стожильный через верховья ручья Межевой и долину ручья Хугланнах. Ширина зоны составляет 5,0–7,5 км при протяженности свыше 30 км. Ее положение контролируется Северным и Хугланнахским разрывными нарушениями первого порядка, относящимися к Хинике-Кулинской зоне разломов, имеющими рудоконтролирующее значение.

В пределах Хугланнах-Пунктирненской рудно-геохимической зоны выделяются Хугланнахское и Верхне-Стожильненское аномальные геохимические поля (рис. 2). В геологическом строении Хугланнахского поля принимают участие породы атканской и омчакской свит, смятые в линейные складки северо-западного простирания (Хугланнахская синклиналь и Межевая антиклиналь) и осложненные Северным и Хугланнахским разломами. Осадочные породы прорываются дайками кислого и среднего состава нера-бохапчинского и басугуьинского интрузивных комплексов. Центральным элементом в строении аномального поля, к которому приурочена основная масса выявленных пунктов минерализации золота (в том числе рудопроявление Хугланнах), является штокообразное тело гранитов-гранодиоритов Хугланнах басугуьинского комплекса. Интрузия в плане имеет сложную форму, многочисленные ответвления, сопровождается дайками и дайкообразными телами. Основное тело штока и его экзоконтакты охвачены ореолом площадной березитизации.

Полоса контрастных вторичных ореолов золота (до 800–1700 мг/т) и мышьяка, находящихся в тесной ассоциации, фиксирует положение как самого Хугланнахского штока, так и его юго-восточного, южного и северо-западного обрамлений, тем самым определяя границы всего аномального поля. С ореолами золота в центральной части пространственно коррелируют вторичные ореолы вольфрама низкой интенсивности ($0,16–0,3 \cdot 10^{-3} \%$). Интенсивность всех ореолов обуславливается близостью к основному телу штока гранодиорит-порфиров.

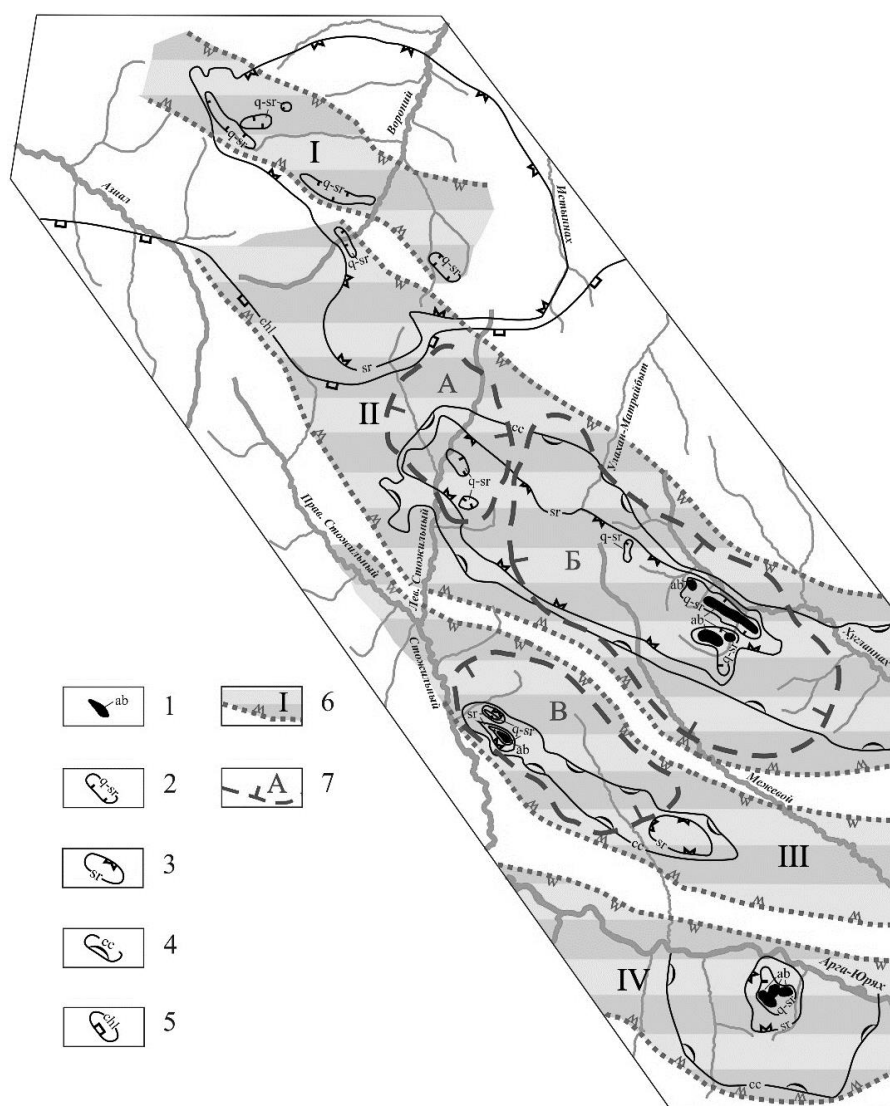


Рис. 2. Соотношение гидротермально-метасоматических образований и геохимических полей Азиальской площади. Метасоматоз: 1 – границы полей развития рудоносных интенсивно березитизированных кварцево-полевошпатовых метасоматитов, березитов, анкеритово-кварцевого, алибитово-кварцевого и серицитово-кварцевого прожилкования (ab) – кварц + альбит + серицит + анкерит (кальцит) + пирит + арсенопирит; 2 – границы развития полей интенсивно березитизированных пород (q-sr) – кварц + серицит + анкерит (кальцит) + пирит; 3 – границы развития полей березитизированных пород (серицит + кварц + пирит); 4 – границы развития полей площадной приповерхностной пропилитизации и слабой березитизации пород (cc) – хлорит + кальцит + эпидот + серицит; 5 – границы полей слабой приповерхностной пропилитизации пород (chl) – хлорит + кальцит; 6 – рудно-геохимические зоны (I – Соготохская, II – Хугланнах-Пунктирненская, III – Стожильненская, IV – Арга-Юряхская); 7 – аномальные геохимические поля (А – Верхне-Стожильненское, Б – Хугланнахское, В – Нижне-Стожильненское). Во всех случаях берг-штриховка направлена внутрь выделенных зон и полей и показывает нарастание интенсивности обозначаемого процесса / Fig. 2. The ratio of hydrothermal and metasomatic formations and geochemical fields of the Azial area. Metasomatism: 1 - the boundaries of the ore-bearing fields of intensely berezitized quartz-feldspathic metasomatites, berezites, ankerite-quartz, alibite-quartz and sericite-quartz veining (ab) - quartz + albit + sericite + ankerite (calcite) + pyrite + arsenopyrite; 2 - the boundaries of the development of fields of intensely berezitized rocks (q-sr) - quartz + sericite + ankerite (calcite) + pyrite; 3 - the boundaries of the development of fields of berezitized rocks (sericite + quartz + pyrite); 4 - the boundaries of the development of fields of areal near-surface propitization and weak birchization of breeds (cc) - chlorite + calcite + epidote + sericite; 5 - the boundaries of the fields of weak near-surface propitization of breeds (chl) - chlorite + calcite; 6 - ore-geochemical zones (I - Sogotoxsk, II - Hooglannah-Punktirinskaya, III - Stozhilenskaya, IV - Arga-Yuryakh); 7 - anomalous geochemical fields (A - Verkhne-Stozhilenskoe, B - Hooglannah, C - Nizhne-Stozhilenskoe). In all cases, the berg hatching is directed inside the selected zones and fields and shows an increase in the intensity of the designated process

Кроме того, пространственной ориентировкой вторичных ореолов подчеркиваются элементы строения ведущей рудоконтролирующей структуры, имеющей общее северо-западное простирание.

Золото образует здесь четыре сближенные контрастные аномалии, ограниченные изоконцентратой 10 мг/т и приуроченные к главной рудной зоне рудопроявления Хугланнах. Они представляют собой серию золотоносных тел в разной степени березитизированных гранодиорит-порфиров, пронизанных густой сетью тонких ветвящихся и субпараллельных прожилков кварца с обильной сульфидной вкрапленностью (арсенопирит, пирит, галенит, сфалерит, халькопирит, а также самородное золото). Распространенным является прожилково-вкрапленный тип оруденения, реже встречается жильно-прожилковый. Геохимическая ассоциация элементов, ранжированных по убыванию величины коэффициента концентрации, имеет вид $Au \rightarrow As \rightarrow (W, Cr) \rightarrow Cu \rightarrow Bi \rightarrow Ni \rightarrow Sn \rightarrow (Zn, Co, Ba, Mo, Be, Mn, Ag, Pb)$. Ввиду явной золотой и мышьяковой специализации в ранжированном ряду, видна отчетливая принадлежность аномалии к участкам развития минерализации золоторудно-кварцевого формационного типа.

Локальные аномалии золота в юго-восточном экзоконтакте, а также в пределах северо-западного ответвления Хугланнахского штока значительно уступают аномалии главной рудной зоны как по площади распространения, так и по продуктивности. В плане они имеют линейную форму и северо-западную ориентировку. Аномалии сопровождают коренные выходы березитизированных даек пород среднего и умеренно кислого состава, вмещающих участки сульфидно-кварцевого прожилкования и пункты минерализации золота. Геохимический спектр всех аномалий достаточно близок и по составу ведущих элементов соответствует золоторудно-кварцевой формации. В структуре Хугланнахского аномального геохимического поля установлены черты зонального строения. Центральным элементом в структуре зональности является область концентрации элементов рудного комплекса (золото, мышьяк, вольфрам), условно представляющая собой ядерную зону аномального поля. Зональность геохимического поля закономерно отражается при анализе корреляционных связей химических элементов. Выделяются две группы элементов, которые характеризуются по отношению к золоту значимыми положительными (группа 1) либо отрицательными (группа 2) корреляционными связями. Внутри групп корреляционная связь между элементами положительная, а между элементами разных групп – отрицательная либо имеющая тенденцию к отрицательной (ниже критического

уровня значимости). В первую группу, кроме золота, входят мышьяк и вольфрам – элементы рудного комплекса. Вторая группа объединяет серебро, цинк, свинец, марганец и кобальт. Условно к ним относятся олово и никель, обладающие слабой положительной связью с вольфрамом на уровне порога значимости. Таким образом, проявляется разделение элементов ядерной зоны и зоны обмена.

Верхне-Стожильненское аномальное геохимическое поле охватывает западную часть Хугланнах-Пунктирненской рудно-геохимической зоны и расположено на право- и левобережье ручья Левый Стожильный, в его среднем и нижнем течении. В структурном отношении оно занимает аналогичную позицию с Хугланнахским рудным полем, находясь на северо-западном продолжении единой рудоконтролирующей структуры. В плане аномальное поле имеет немного вытянутую на северо-запад округлую форму, его площадь – 26 км². Установленные по результатам литохимической съемки вторичные ореолы золота, а также известные здесь пункты минерализации связаны с минерализованными зонами дробления северо-западного простирания мощностью 1–3 м и участками тонкого кварцевого прожилкования в маломощных изменённых дайках диоритовых порфиров. Аномальное поле выделено по серии разрозненных прерывистых вторичных ореолов золота интенсивностью 10–30 мг/т с изометричными, реже линейно вытянутыми эпицентрами (длиной 100–300 м) интенсивностью свыше 100 мг/т и максимальными содержаниями золота в рыхлых отложениях свыше 2000 мг/т. Центральным элементом в структуре аномального поля является обобщённый контур золоторудной аномалии площадью более 8 км². Внешняя граница поля проведена по более широкому ореолу распространения разобщённых аномалий мышьяка, наиболее площадные и контрастные из которых пространственно тяготеют к эпицентрам вторичных ореолов золота. В единичных точках концентрация мышьяка достигает $200 \cdot 10^{-3} \%$. Характерной особенностью является отсутствие вторичных ореолов вольфрама по сравнению с соседним Хугланнахским полем, что, возможно, указывает на меньший уровень эрозийного среза Верхне-Стожильненского поля, которое определяется сокращённым спектром элементов, типичным для золоторудно-кварцевой формации, и рассредоточенным характером распределения их аномалий во вторичных ореолах рассеяния. Это хорошо видно в ранжированном по величине нормированной продуктивности ряду элементов в общем контуре аномального поля, где ведущее значение принадлежит золоту и мышьяку, а сопутствующие элементы (Mn, Co, Pb, Ag, Ni) проявлены слабо.

Верхне-Стожильненское аномальное геохимическое поле связано с надрудным эрозийным срезом, уровень которого в пределах Хугланнах-Пунктир-ненской рудно-геохимической зоны поднимается в северо-западном направлении вследствие общего «погружения» рудоносной структуры.

Стожильненская рудно-геохимическая зона расположена южнее, имеет ширину 3–4,5 км, протяженность – более 20 км и простирается с северо-запада на юго-восток от нижнего течения ручья Стожильный, по водоразделу р. Арга-Юрх – Межевой к штоку Межевой. Здесь ее простираение меняется до субширотного в соответствии с общим поворотом рудоконтролирующих тектонических структур Хинике-Кулинской зоны разломов. В составе зоны выделено Нижне-Стожильненское аномальное геохимическое поле, которое простирается в северо-западном направлении и охватывает площадь 25 км² на правобережье нижнего течения ручья Стожильный. В структурном отношении оно приурочено к юго-западному крылу Межевой антиклинали, осложненному рудоконтролирующим Стожильненским разломом и сложенному вулканогенно-осадочными микститами атканской свиты верхней перми [12, 13]. Осадочные породы прорываются дайками кислого и умеренно кислого состава Арга-Юрхского дайкового поля нера-бохапчинского интрузивного комплекса. Выявленные в ходе заверочных работ пункты минерализации и проявления золота связаны с метасоматически измененными дайками гранодиоритов и сопровождающими их зонами жильно-прожилкового окварцевания. Геохимическое поле выделено по наличию в его центральной части площадного контрастного вторичного ореола рассеяния золота интенсивностью 10–30 мг/т и >100 мг/т. С ореолом золота тесно ассоциируют площадные аномалии мышьяка и вольфрама. Отличительной особенностью аномального поля является пространственное совмещение вторичных ореолов рассеяния всех элементов-спутников (серебро, висмут, цинк, олово) с аномалиями золота, мышьяка и вольфрама. Ореолы кобальта, марганца перекрываются лишь частично. Свинец и никель образуют вторичные ореолы в обрамлении. Ранжированный по убыванию нормированной продуктивности ряд элементов в контуре аномального поля имеет вид Au → As → Mn → Co → Zn → Ag → Sn → W → Pb → Ni → Ba. Судя по составу первых членов ряда, оруденение соответствует золоторудно-кварцевому формационному типу. Поле имеет зональное строение. Ядерная зона подчеркивается положительным ореолом золота, мышьяка, вольфрама при фоновых содержаниях элементов группы выноса (Co, Ni, Mn, V). Зона обмена обрамляет ядерную зону с востока и фиксируется по положительным ореолам Co, Ni, Mn, V.

Арга-Юрхская рудно-геохимическая зона охватывает рудопроявление золота и сопровождающую его серию контрастных вторичных ореолов рассеяния золота, мышьяка, вольфрама в пределах Арга-Юрхского штока на правобережье одноименной реки. Прослеживается она от западной рамки площади в восточном направлении более чем на 15 км при ширине 2,5–4,5 км. Положение зоны обусловлено тесной связью с рудоконтролирующим Южно-Арга-Юрхским тектоническим нарушением субширотного простираения, представляющим собой южный краевой взброс Хинике-Кулинской зоны разломов. В геологическом строении рудно-геохимической зоны принимают участие осадочные и вулканогенно-осадочные породы атканской и омчакской свит верхней перми, которые прорываются дайками Арга-Юрхского дайкового поля и малыми интрузиями нера-бохапчинского комплекса. Центральным элементом является шток плагиогранитов Арга-Юрх, в пределах которого локализованы одноименное рудопроявление и множество пунктов золоторудной минерализации.

Арга-Юрхская рудно-геохимическая зона выделена по комплексной аномалии золота, мышьяка, вольфрама во вторичных ореолах рассеяния в ее центральной части и сосредоточенным по периферии вторичным ореолам группы халькофильных элементов (серебро, олово, цинк, свинец, медь), а также элементов «группы выноса» (марганец, кобальт, никель, ванадий), фиксирующих в совокупности внешнюю границу зоны. По составу первых членов ряда элементов, ранжированных по убыванию значения площадной продуктивности, прогнозируется золоторудно-кварцевый формационный тип оруденения. При этом следует отметить существенную роль в составе геохимического спектра вольфрама, что отличает Арга-Юрхскую рудно-геохимическую зону от всех рассмотренных ранее. Это свидетельствует о более высоком уровне эрозийного среза по сравнению с остальными объектами, а также указывает на возможное проявление золото-редкометальной минерализации, что подтверждается характером корреляционных связей элементов исследованного комплекса в пределах золоторудной аномалии. Золото здесь обнаруживает значимые положительные корреляционные связи с вольфрамом и висмутом.

В северной части Азияльской площади, в поле влияния Соготокского штока диорит-гранодиоритового состава басугуньинского интрузивного комплекса, выделена одноименная *Соготокская рудно-геохимическая зона*, обусловленная наличием слабоконтрастных вторичных ореолов золота

и мышьяка. Положение Соготокского штока и возможных потенциально золотоносных коренных объектов в его пределах контролируется Северным разломом, являющимся одним из рудоконтролирующих, в том числе и для рудопроявления Хугланнах. Предполагается, что в данном случае имеет место верхнерудный уровень эрозионного среза, наследующий общую тенденцию к погружению в северо-западном направлении рудоносных структур в пределах рудно-геохимических зон, расположенных южнее (Хугланнах-Пунктирненская и Стожильненская). Для Соготокского штока и его обрамления характерны разрозненность вторичных ореолов, их низкая интенсивность и невысокая площадная продуктивность. Геохимическая ассоциация элементов в контуре золоторудной аномалии, представляющая собой ранжированный по убыванию коэффициента концентрации ряд ($Au \rightarrow As \rightarrow Cr \rightarrow Sr \rightarrow Mn, Co, Be, Sc \rightarrow Zn, Zr \rightarrow W, Mo, Cu, Ni, Y \rightarrow Pb, Bi, Ba, Nb, Sn, Ge, V, Li, Ag$), характеризует оруденение золоторудно-кварцевого формационного типа и в целом согласуется с рассмотренными ранее объектами.

Таким образом, в результате площадных геохимических поисков по вторичным ореолам рассеяния в пределах Азияльской перспективной площади выявлена зональность распределения химических элементов. Она отображает существующие здесь определенные пространственно-временные соотношения различных типов метаморфизма, приведших к формированию единой метасоматической колонки, а также подтверждает наличие неодинаковых уровней современного эрозионного среза исследуемой территории, что вывело на дневную поверхность горизонты, отвечающие стадиям метасоматоза, происходящим при различной температуре и кислотно-щелочном режиме [4]. Полученные данные позволяют локализовать участки различной степени перспективности выявления коренных золоторудных объектов.

Литература

1. Плющев Е.В., Ушаков О.П., Шатов В.В., Беляев Г.М. Методика изучения гидротермально-метасоматических образований. Л.: Недра, 1981. 262 с.
2. Плющев Е.В., Шатов В.В. Геохимия и рудоносность гидротермально-метасоматических образований. Л.: Недра, 1985. 247 с.
3. Плющев Е.В., Шатов В.В., Кашин С.В. Металлогения гидротермально-метасоматических образований. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2012. 560 с.
4. Хардилов А.Э., Астахова А.А. Изучение низкотемпературного метаморфизма золотовмещающих толщ Верхояно-Колымской складчатой области при проведении поисково-оценочных работ // Изв. вузов.

Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2017. № 3-1. С. 114–121.

5. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России : в 2 кн. / ред. А.И. Ханчук. Владивосток: Дальнаука, 2006.
6. Геология СССР. Т. XXX: Северо-Восток СССР. Геологическое описание. М.: Недра, 1970. Кн. 2. 536 с.
7. Жуланова И.Л., Русакова Т.Б., Котляр И.Н. Геохронология и геохронометрия эндогенных событий в мезозойской истории Северо-Востока Азии. М.: Наука, 2007. 358 с.
8. Котляр И.Н., Жуланова И.Л., Русакова Т.Б., Галиева А.М. Изотопные системы магматических и метаморфических комплексов Северо-Востока России. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2001. 319 с.
9. Чехов А.Д. Тектоническая эволюция Северо-Востока Азии. М.: Научный мир, 2000. 204 с.
10. Гончаров В.И., Ворошин С.В., Сидоров В.А. Наталкинское золоторудное месторождение. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2002. 250 с.
11. Маннафов Н.Г. Легенда Неро-Бохапчинской серии государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200 000 (издание второе). Т. IV. Магадан: Магаданский ТФГИ, 1999.
12. Астахова А.А., Хардилов А.Э. Литогенез пермских толщ Аян-Юрхского антиклинория Яно-Колымской складчатой области // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2016. № 1. С. 84–89.
13. Астахова А.А., Хардилов А.Э., Холодная И.А. О роли вулканогенного материала в образовании атканской свиты Аян-Юрхского антиклинория Яно-Колымской складчатой области // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2016. № 2. С. 78–85.

References

1. Plyushchev E.V., Ushakov O.P., Shatov V.V., Belyaev G.M. *Metodika izucheniya gidrotermal'no-metasomaticheskikh obrazovaniy* [Methods of studying hydrothermal metasomatic formations]. Leningrad: Nedra, 1981, 262 p.
2. Plyushchev E.V., Shatov V.V. *Geokhimiya i rudosnost' gidrotermal'no-metasomaticheskikh obrazovaniy* [Geochemistry and ore potential of hydrothermal-metasomatic formations]. Leningrad: Nedra, 1985, 247 p.
3. Plyushchev E.V., Shatov V.V., Kashin S.V. *Metallogeniya gidrotermal'no-metasomaticheskikh obrazovaniy* [Metallogeny of hydrothermal metasomatic formations]. Saint Petersburg: Izd-vo VSEGEI, 2012, 560 p.
4. Khardikov A.E., Astakhova A.A. *Izuchenie nizkotemperaturnogo metamorfizma zolotovmeshchayushchikh tolshch Verkhoyano-Kolymskoi skladchatoi oblasti pri provedenii poiskovo-otsenochnykh rabot* [The study of low-temperature metamorphism of gold-bearing strata of the Verkhoyansk-Kolyma folded area during search and appraisal works]. *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestv. nauki*. 2017, No. 3, pp. 114–121.

5. *Geodinamika, magmatizm i metallogeniya Vostoka Rossii* [Geodynamics, magmatism and metallogeny of the East of Russia]. In 2 vol. Ed. A.I. Khanchuk. Vladivostok: Dal'nauka, 2006.
6. *Geologiya SSSR* [Geology of the USSR]. Vol. XXX. Northeast USSR. Geological description. Moscow: Nedra, 1970, book 2, 536 p.
7. Zhulanova I.L., Rusakova T.B., Kotlyar I.N. *Geokhronologiya i geokhronometriya endogennykh sobytii v mezozoiskoi istorii Severo-Vostoka Azii* [Geochronology and geochronometry of endogenous events in the Mesozoic history of northeastern Asia]. Moscow: Nauka, 2007, 358 p.
8. Kotlyar I.N., Zhulanova I.L., Rusakova T.B., Gagieva A.M. *Izotopnye sistemy magmatischeskikh i metamorficheskikh kompleksov Severo-Vostoka Rossii* [Isotopic systems of magmatic and metamorphic complexes of the North-East of Russia]. Magadan: SVKNII DVO RAN, 2001, 319 p.
9. Chekhov A.D. *Tektonicheskaya evolyutsiya Severo-Vostoka Azii* [Tectonic evolution of Northeast Asia]. Moscow: Nauchnyi mir, 2000, 204 p.
10. Goncharov V.I., Voroshin S.V., Sidorov V.A. *Natalkinskoe zolotorudnoe mestorozhdenie* [Natalka gold deposit]. Magadan: SVKNII DVO RAN, 2002, 250 p.
11. Mannafov N.G. *Legenda Nero-Bokhapchinskoi serii gosudarstvennoi geologicheskoi karty Rossiiskoi Federatsii masshtaba 1:200 000* [The legend of the Nera-Bokhapcha series of the state geological map of the Russian Federation in scale 1: 200 000]. Vol. IV. Magadan: Magadanskii TFGI, 1999.
12. Astakhova A.A., Khardikov A.E. Litogenez permskikh tolshch Ayan-Yuryakhskogo antiklinoriya Yano-Kolymskoi skladchatoi oblasti [Lithogenesis of the Permian Ayan-Yuryakh anticlinorium of the Yano-Kolyma folded area]. *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestv. nauki*, 2016, No. 1, pp. 84-89.
13. Astakhova A.A., Khardikov A.E., Kholodnaya I.A. O roli vulkanogenogo materiala v obrazovanii atkanskoj svity Ayan-Yuryakhskogo antiklinoriya Yano-Kolymskoi skladchatoi oblasti [On the role of volcanogenic material in the formation of the Atkan Formation of the Ayan-Yuryakh anticlinorium of the Yano-Kolyma folded region]. *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestv. nauki*. 2016, No. 2, pp. 78-85.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

BIOLOGICAL SCIENCES

УДК 576.89 (470.323)

DOI 10.23683/0321-3005-2019-2-82-89

CESTODES OF THE TAENIIDAE FAMILY (LUDWIG, 1886) AS A SANITARY-HYGIENIC AND EPIDEMIC THREAT TO THE OF BIOSPHERE TERRITORIES OF ELBRUS

© 2019 г. А.А. Биттирова¹, Ю.А. Кумышева¹, А.С. Вологиров², А.А. Мирзоева¹, Н.М. Мирзоева², А.М. Биттиров¹

¹Kokov Kabardino-Balkarian State Agrarian University, Nalchik, Russia,

²Berbekov Kabardino-Balkarian State University, Nalchik, Russia

ЦЕСТОДЫ СЕМЕЙСТВА TAENIIDAE (LUDWIG, 1886) КАК САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ И ЭПИДЕМИЧЕСКАЯ УГРОЗА БИОСФЕРНЫМ ТЕРРИТОРИЯМ ЭЛЬБРУСА

А.А. Биттирова¹, Ю.А. Кумышева¹, А.С. Вологиров², А.А. Мирзоева¹, Н.М. Мирзоева², А.М. Биттиров¹

¹Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова, Нальчик, Россия,

²Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, Нальчик, Россия

Asiyat A. Bittirova - Postgraduate, Department of Veterinary Medicine, Kokov Kabardino-Balkarian State Agrarian University, Lenina St., 1b, Nalchik, KBR, 360030, Russia, e-mail: baa_1993@mail.ru

Биттирова Асият Анатольевна – аспирант, кафедра ветеринарной медицины, Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова, ул. Ленина, 1б, г. Нальчик, КБР, 360030, Россия, e-mail: baa_1993@mail.ru

Julia A. Kumysheva - Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Food Technology and Chemistry, Kokov Kabardino-Balkarian State Agrarian University, Lenina St., 1b, Nalchik, KBR, 360030, Russia, e-mail: kumysheva07@mail.ru

Кумышева Юлия Александровна – кандидат биологических наук, доцент, кафедра пищевых технологий и химии, Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова, ул. Ленина, 1б, г. Нальчик, КБР, 360030, Россия, e-mail: kumysheva07@mail.ru

Aslan S. Vologirov - Candidate of Medicine, Associate Professor, Department of Normal and Pathological Anatomy, Berbekov Kabardino-Balkarian State University, Chernyshevskogo St., 185, Nalchik, KBR, 360030, Russia, e-mail: ASV07@mail.ru

Вологиров Аслан Сафарбиевич – кандидат медицинских наук, доцент, кафедра нормальной и патологической анатомии, Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х.М. Бербекова, ул. Чернышевского, 185, г. Нальчик, КБР, 360030, Россия, e-mail: ASV07@mail.RU

Anita A. Mirzoeva - Candidate of Chemistry, Associate Professor, Department of Food Technology and Chemistry, Kokov Kabardino-Balkarian State Agrarian University, Lenina St., 1b, Nalchik, KBR, 360030, Russia

Мирзоева Анита Анатольевна – кандидат химических наук, доцент, кафедра пищевых технологий и химии, Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет, ул. Ленина, 1б, г. Нальчик, КБР, 360030, Россия

Nazifat M. Mirzoeva - Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer, Department of Biochemistry and Chemical Ecology, Berbekov Kabardino-Balkarian State University, Chernyshevskogo St., 185, Nalchik, KBR, 360030, Russia, e-mail: mnazifa@bk.ru

Мирзоева Назифат Мухтаровна – кандидат биологических наук, старший преподаватель, кафедра биохимии и химической экологии, Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, ул. Чернышевского, 185, г. Нальчик, КБР, 360030, Россия, e-mail: mnazifa@bk.ru

Anatoliy M. Bittirov - Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Veterinary Medicine, Kokov Kabardino-Balkarian State Agrarian University, Lenina St., 1b, Nalchik, KBR, 360030, Russia, e-mail: bam_58a@mail.ru

Биттиров Анатолий Мурашевич – доктор биологических наук, профессор, кафедра ветеринарной медицины, Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова, ул. Ленина, 1б, г. Нальчик, КБР, 360030, Россия, e-mail: bam_58a@mail.ru

The article presents the results of sanitary-hygienic monitoring of the epidemiological threat to the biosphere territories of Elbrus region (Kabardino-Balkaria) in terms of the degree of contamination of soil and water samples with helminth eggs of the Taeniidae family (Ludwig, 1886), including *E. granulosus*. The dynamics of soil contamination is characterized by an annual increase in soil contamination by egg cestodes by 5.0-6.0 %. In mountain biosphere regions (Azau, Cheget, Narzans Valley, Shhelda, Yusengi, Dzhantugan and Itkol) in 13.0-30.00 % of soil samples contained eggs of biohelminths of the Taeniidae family, including *E. granulosus* (the average number of eggs is 8.60 ± 1.13 per 100 g of soil sample). Relatively more helminth eggs of the Taeniidae family polluted the soil in the gorges Narzans Valley, Shhelda, Yusengi, which is associated with a high density of stray dogs. The high level of soil contamination with helminth eggs of the Taeniidae family (37.00-52.00 % of soil samples are contaminated) is observed in the villages of Terskol, Baidaevka, Tegenekli and Elbrus. In these villages, more than 80 % of dogs migrate and annually dynamically worsen the epidemic and epizootic situation in the tourist areas of Azau, Cheget, Narzans Valley, Shhelda, Yusengi, Dzhantugan and Itkol. The current sanitary and hygienic state of biosphere territories, a of sanatorium-resort-tourist complex according to the degree of soil contamination with helminth eggs of the Taeniidae family (Ludwig, 1886), incl. *E. granulosus* at altitudes of 2000, 2500, 3000 m above sea level dictates the use of urgent measures to regulate the number of homeless dogs, on organizing forced deworming of yard dogs in Terskol, Baidaevka, Tegenekli and Elbrus 4 times a of yeare using drugs "Droncit", "Azinox", "Azinpril" and others of highly effective remedy.

Keywords: Kabardino-Balkar Republic, Elbrus, ecology, soil, hygiene, ecosystem, egg, cestodes, Taeniidae family (Ludwig, 1886), *Echinococcus granulosus* Batsch, 1786, Rud., 1801.

Представлены результаты санитарно-гигиенического мониторинга эпидемиологической угрозы биосферным территориям Приэльбрусья (Кабардино-Балкария) с точки зрения степени загрязнения образцов почвы и воды яйцами гельминтов семейства Taeniidae (Ludwig, 1886), в том числе *E. granulosus*. Динамика загрязнения почв характеризуется ежегодным увеличением загрязнения почв яйцами цестод на 5,0–6,0 %. В горных биосферных территориях (Азау, Чегет, Долина нарзанов, Шхельда, Юсенги, Джантуган и Иткол) в 13,0–30,00 % образцов почвы содержались яйца биогельминтов семейства Taeniidae, в том числе *E. granulosus* (среднее количество яиц – $8,60 \pm 1,13$ на 100 г образца почвы). Относительно больше яиц гельминтов семейства Taeniidae загрязняло почву в ущельях Долина нарзанов, Шхельда, Юсенги, что связано с высокой плотностью бродячих собак. Высокий уровень загрязнения почвы яйцами гельминтов семейства Taeniidae (загрязнено 37,00–52,00 % образцов почвы) наблюдается в сельских поселениях Терсколе, Байдаевка, Тегенекли и Эльбрус. В этих селах более 80 % собак мигрируют и ежегодно динамично ухудшают эпидемическую и эпизоотическую ситуацию в туристических зонах Азау, Чегет, Долина нарзанов, Шхельда, Юсенги, Джантуган и Иткол. Современное санитарно-гигиеническое состояние биосферных территорий, санаторно-курортно-туристического комплекса по степени загрязнения почвы яйцами гельминтов семейства Taeniidae (Ludwig, 1886), в т.ч. *E. granulosus*, на высотах 2000, 2500, 3000 м над уровнем моря диктует необходимость принятия срочных мер по регулированию численности бродячих собак и организации принудительной дегельминтации дворовых собак в Терсколе, Байдаевке, Тегенекли и Эльбрусе 4 раза в год с использованием препаратов «Дронцит», «Азинокс», «Азинприл» и других высокоэффективных средств.

Ключевые слова: Кабардино-Балкарская Республика, Эльбрус, экология, почва, гигиена, экосистема, яйцо, цестоды, семейство Taeniidae (Ludwig, 1886), *Echinococcus granulosus* Batsch, 1786, Rud., 1801.

Introduction

Echinococcosis of animals and humans is a modern global medical and veterinary problem in the list of parasitic zoonoses. In the regions of the Russian Federation, the epizootic and epidemic situation with zoonotic invasions over the past 20 years has tended to worsen [1-9]. Over the past 20 years, the incidence of zoonoses has increased 4.2-7.5 times [10]. Invasion of echinococcosis among animals throughout the southern territory of Russia acquired an enzootic character with the formation of regional epizootic and epidemic foci in rural and urban areas [11-16]. Today,

the high prevalence of echinococcosis has become evident in more than 60 species of animals [17-21]. In the regions of the North Caucasus, infection of dogs with tapeworms of the family Taeniidae (Ludwig, 1886), incl. *Echinococcus granulosus*, is 68-90 % [22-26]. In Russia, echinococcosis of domestic and wild animals has become a focal invasion with multi-level protection of life strategies in definitive and intermediate hosts [27-34]. Regarding the activity of the manifestation of the epidemic process of echinococcosis, caused by a high level of pollution of environmental objects, soil and water by helminth eggs of the Taeniidae family (Ludwig, 1886) and, in particu-

lar, *Echinococcus granulosus* in the mountain ecosystem, scientific research was conducted but not carried complex nature. There is also little information about the sanitary and hygienic state of the soils of the unique mountain gorges of the tourist complex and settlements of the Elbrus region [30-40]. The goal is to conduct comprehensive sanitary and hygienic studies with an assessment of soil and water pollution of mountain mass tourism facilities and rural settlements in the Elbrus region with helminth eggs of the *Taeniidae* family, including *E. granulosus* [1-40].

Materials and methods

The work was carried out on the basis of the laboratory of parasitology of the Caspian Veterinary Research Institute in 2015-2018. For this purpose, 100 soil samples were taken to identify cestode eggs of the *Taeniidae* family, from various places in the gorges of Azau, Cheget, Narzans Valley, Shhelda, Yusengi, Dzhantugan and Itkol. Also, 200 soil samples were taken (Terskol, Baidaevka, Tegenekli, and Elbrus) to determine the number of helminth eggs of the *Taeniidae* family. To determine the contamination of mountain objects with helminth eggs, a study of 150-1000 soil and water samples was carried out. In the gorges of Azau, Cheget, Narzans Valley, Shhelda, Yusengi, Dzhantugan and Itkol, experiments were conducted to determine the stability of *Echinococcus granulosus* eggs at altitudes of 2000-4000 m above sea level. The experiments were carried out using fresh eggs of *Echinococcus granulosus*. Approximately 1000 samples of eggs mixed with soil were placed in these gorges on the experimental site from November to April of the following year at an altitude of 2000, 2500, 3000, 3500, 4000 m. After the winter period (April), *Echinococcus granulosus* eggs were examined for viability by methods of helminthoscopy and the MUK "Methods of Sanitary and Parasitological Studies" [1-40]. The data was subjected to statistical processing according to the computer program ("Biometry").

Results and discussion

The sanitary and hygienic state of the soils of the mountain biosphere regions (Azau, Cheget, Narzans Valley, Shhelda, Yusengi, Dzhantugan and Itkol) remained poorly studied due to their contamination with helminth eggs, including eggs of the dangerous zoonotic species *Echinococcus granulosus*. Studies of soil samples allowed identifying epizootically and epidemiologically dangerous zones of invasion, including *E. granulosus* (Table 1). According to the results of studies of soil samples in mountain biosphere regions (Azau, Cheget, Narzans Valley, Shhelda, Yusengi, Dzhantugan and Itkol), 13.0-30.00 % of soil samples contained eggs

of the *Taeniidae* family of worms, including *E. granulosus* (the average number of eggs is 8.6 ± 1.13 per 100 g of soil sample) (Table 1). Relatively more helminth eggs of the *Taeniidae* family polluted the soil in the gorges Narzans Valley, Shhelda, Yusengi, which is associated with a high density of stray dogs. High level of soil contamination with helminth eggs of the *Taeniidae* family, incl. *E. granulosus* (37.0-52.0 % of soil samples are contaminated) is observed in the villages of Terskol, Baidaevka, Tegenekli and Elbrus. In these villages, more than 80 % of dogs migrate and annually dynamically worsen the epidemic and epizootic situation in the tourist areas of Azau, Cheget, Narzans Valley, Shhelda, Yusengi, Dzhantugan and Itkol (Tables 1-3).

Table 1

Sanitary and hygienic state of the soils of the biospheric mountainous regions of Kabardino-Balkaria due to their contamination with eggs of the *Taeniidae* family, including eggs of the dangerous zoonotic species *Echinococcus granulosus* / Санитарно-гигиеническое состояние почв горно-биосферных территорий Кабардино-Балкарии в связи с их загрязнением яйцами цестод семейства *Taeniidae*, в том числе яйцами опасного зоонозного вида *Echinococcus granulosus*

Investigated areas of the mountain of Elbrus	Investigated soil samples	Amount contaminated soil samples	% contaminated samples soil	Number of eggs kind <i>Taeniidae</i> , incl. <i>E. granulosus</i> in 100 g samples soil, copy
Azau	100	13	13.00	4.3 ± 0.7
Cheget	100	17	17.00	6.8 ± 0.9
Narzans Valley	100	22	22.00	9.5 ± 1.2
Shhelda	100	25	25.00	13.4 ± 1.7
Jusengi	100	30	30.00	16.8 ± 1.9
Dzhantugan	100	6	6.00	2.5 ± 0.4
Itkol	100	19	19.00	7.0 ± 1.1
s. Terskol	100	37	37.00	19.4 ± 2.2
s. Baidaevka	100	43	43.00	22.8 ± 2.5
s. Tegenekli	100	49	49.00	26.5 ± 2.7
s. Elbrus	100	52	52.00	31.2 ± 2.9
Total	1100	313	-	-
Average	-	-	28.46	14.57 ± 1.66

In 2015-2018 when studying the dynamics of the level of soil contamination by helminth eggs of the *Taeniidae* family, incl. *E. granulosus*, in the territories of tourist complexes (Azau, Cheget, Narzans Valley, Shhelda, Yusengi, Dzhantugan and Itkol) observed an annual gradual increase in pollution of soil samples from 11.0 to 28.0 % (on average by 18.8 %). An increase in the number of eggs per 100 g of soil samples from 4.5 ± 0.7 was also found up to 12.7 ± 1.6 ind. (on average, 8.60 ± 1.13 copies per 100 g of soil), which is associated with complete non-observance of the rules for keeping dogs by the local population, complete disregard for the sanitary and hygienic norms of the Federal Service for Consumer Rights of Russia (Table 2).

Table 2

Dynamics of soil contamination in the biosphere areas of mount Elbrus (Azau, Cheget, Narzans Valley, Shhelda, Jusengi, Dzhan-tugan and Itcol) by helminth eggs of the *Taeniidae* family, including *Echinococcus granulosus* (according to coproovoscopy) / Динамика загрязнения почв в биосферных территориях горы Эльбрус (Азау, Чегет, Долина нарзанов, Шхельда, Джусенги, Джантуган и Иткол) яйцами гельминтов семейства *Taeniidae*, в том числе *Echinococcus granulosus* (по данным копроовоскопии)

Year	Investigated soil samples, copy	Discovered soil samples with eggs kind <i>Taeniidae</i> , incl. <i>E. granulosus</i> , copy	EI, %	Amount eggs kind <i>Taeniidae</i> , incl. <i>E. granulosus</i> , in 100 g samples soil, copy
2015	100	11	11.0	4.5±0.7
2016	100	16	17.0	6.7±0.9
2017	100	21	22.0	10.5±1.3
2018	100	27	28.0	12.7±1.6
Total	400	75	-	-
Average	100	-	18.8	8.60±1.13

In 2015-2018 dynamics of contamination of soil samples with eggs helminth of the *Taeniidae* family, incl. *E. granulosus* (Terskol, Baidaevka, Tegenekli and Elbrus) was characterized by an increase in soil pollution from 37.0 to 52.0 % (average 45.25 %) with an increase in the number of cestodes eggs per 100 g soils from 19.4±2.2 to 31.2±2.9 copies (average value 24.98 ± 2.57 specimens per 100 g of soil), which indicates the likely formation of persistent foci of invasions hazardous to human and animal health (Table 3).

Table 3

Dynamics of soil contamination in the biosphere areas of mount Elbrus (Terskol, Baidaevka, Tegenekli and Elbrus) by helminth eggs of the *Taeniidae* family, including *E. granulosus* (according to coproovoscopy) / Динамика загрязнения почвы в биосферных территориях горы Эльбрус (Терскол, Байдаевка, Тегенекли и Эльбрус) яйцами гельминтов семейства *Taeniidae*, в том числе *E. granulosus* (по данным копроовоскопии)

Year	Investigated soil samples, copy	Discovered soil samples with eggs kind <i>Taeniidae</i> , incl. <i>E. granulosus</i> , copy	EI, %	Amount eggs kind <i>Taeniidae</i> , incl. <i>E. granulosus</i> , in 100 g samples soil, copy
2015	200	74	37.0	19.4±2.2
2016	200	86	43.0	22.8±2.5
2017	200	98	49.0	26.5±2.7
2018	200	104	52.0	31.2±2.9
Total	800	362	-	-
Average	200	-	45.25	24.98±2.57

In recent years, due to the illegal economic use of part of the biosphere territories for breeding sheep, the number of dogs has increased many times, which has led to an increase in soil contamination of tourism and service objects with helminth eggs. In particular, the number of soil samples with the presence of cestode eggs of the family *Taeniidae*, incl. and with *E. granulosus* eggs in rural households of Elbrus region amounted to 53.60 %, soil samples from mineral water sources – 39.00 %, soil in hotel areas - 30.00 %, soil in parking areas - 44.67 %, soil for on the bank of the river Baksan - 56.50 %, in the water of the Baksan river - 2.40 % (Table 4).

Table 4

Contamination mountain objects of Kabardino-Balkar Republic eggs cestodes of family *Taeniidae* (Ludwig, 1886), including *Echinococcus granulosus* (according to ooscopy of soil) / Загрязнение горных объектов Кабардино-Балкарской Республики яйцами цестод семейства *Taeniidae* (Ludwig, 1886), в т.ч. *Echinococcus granulosus* (по данным овоскопии почвы)

Objects	Number of objects, units	Investigated samples soil, units	Samples soil with eggs family <i>Taeniidae</i> , incl. <i>E. granulosus</i> , units	% contaminated samples
Rural households	50	1000	536	53.60
Mineral water sources	12	200	78	39.00
Territories of hotels	20	400	120	30.00
Parking areas	7	150	67	44.67
Bank of the Baksan river	2	200	113	56.50
Water of the Baksan river	1	1000	24	2.40

In experiments on the soil of the biosphere regions of mount Elbrus, by Spring (April) at altitudes of 2000, 2500, 3000, 3500, 4000 m above sea level, respectively, to 61.6; 52.8; 23.2; 5.7 and 0.00 % of invasive helminth eggs of the *Taeniidae* family (Ludwig, 1886) were able

to withstand low temperatures in the range of 16 to 30 degrees (Table 5).

The obtained data testify to the constant from year to year dynamic soil pollution in the biosphere territories, of sanatorium-resort and tourist complex with

of eggs of the *Taeniidae* family (Ludwig, 1886), incl. *Echinococcus granulosus*, at altitudes of 2000, 2500, 3000 m above sea level, which is consistent with the data of F. Vasilevich, A. Bittirov and others, 2010 on

the need for continuous monitoring of the sanitary status of the unique biospheric regions of the of North Caucasus of with respect to zoonoses invasions.

Table 5

Data on the possible wintering of cestodes eggs of the family *Taeniidae* (Ludwig, 1886), incl. *Echinococcus granulosus* in the soil in the Elbrus region (according to soil samples ooscopy) / Данные о возможной перезимовке яиц цестод семейства *Taeniidae* (Ludwig, 1886), в т.ч. *Echinococcus granulosus* в почвах Приэльбрусья (по данным овоскопии образцов почвы)

Height above the level sea, m	Number of eggs of family <i>Taeniidae</i> , incl. <i>E. granulosus</i> in soil in Autumn when bookmarking experience, copy	Number of eggs of family <i>Taeniidae</i> , incl. <i>E. granulosus</i> , in soil in the spring, copy	Number of non-viable eggs of family <i>Taeniidae</i> , incl. <i>E. granulosus</i> , in soil in the spring, copy	% viable eggs of family <i>Taeniidae</i> , incl. <i>E. granulosus</i> , in soil in the spring
2000	1000±20	616±29.4	384±17.2	61.60
2500	1000±20	528±25.7	472±14.6	52.80
3000	1000±20	232±19.2	768±27.5	23.20
3500	1000±20	57±6.4	843±31.3	5.70
4000	1000±20	0±0.0	1000±20	0.00

Conclusion

The current sanitary and hygienic state of the biosphere territories, sanatorium and resort and tourist complex in terms of soil contamination with helminth eggs of the *Taeniidae* family (Ludwig, 1886), incl. *Echinococcus granulosus*, at altitudes of 2000, 2500, 3000 m above sea level dictates the use of urgent measures to regulate the number of neglected dogs, on the organization of compulsory deworming of yard dogs in Terskol, Baidaevka, Tegenekli and Elbrus 4 times a year with the use of "Droncite", "Azinox", "Azinpril" and other highly effective drugs.

References

1. Kabardiev S.Sh., Bittirov A.M., Gazimagomedov M.G., Magomedov O.A., Begiev S.Zh., Karpushchenko K.A., Bittirova A.A., Musaev Z.G., Makhiev I.I., Kalabekov A.A. Complex antiparasitic composition "Azinal plus-3" for chemotherapy and prevention of trichuriasis, ankilostomosis and echinococcosis of dogs. *Patent RUS 2614711 01.19.2015*.
2. Atabieva Zh.A., Bichieva M.M., Kolodiy I.V., Shikhalieva M.A., Sarbasheva M.M., Zhekamukhova M.Z. Forecasting of epizootic and epidemic situation on zoonoses invasions in the south of Russia. *Veterinary Pathology*. 2012, No. 1 (39), pp. 119-122.
3. Atabieva Zh.A., Bittirova A.A., Sarbasheva M.M., Shikhalieva M.A., Zhekamukhova M.Z., Maksidova Z.F. Ecological and species composition of endoparasites fauna and epidemiological characteristic of zoonoses in Kabardino-Balkaria. *Belgorod State University. Scientific Bulletin. Medicine. Pharmacy*. 2012, No. 10 (129), Vol. 18, p. 146.
4. Sarbasheva M.M., Bittirova A.A., Atabieva Zh.A. Epidemiological analysis of human nematodes in Kabardino-Balkar Republic. *Advances in Current Natural Sciences*. 2013, No. 3, pp. 25-26.

5. Atabieva Zh. A., Bittirova A.A., Sarbasheva M.M., Shikhalieva M.A., Zhekamukhova M.Z., Maksidova Z.F. Ecological and Species Composition of Fauna of Endoparasites and Epidemiological Features of Zoonoses in the Kabardino-Balkar Republic. *Belgorod State University. Scientific Bulletin. Medicine. Pharmacy*. 2012, No. 10 (129), pp. 1894-1898.
6. Mantaeva S.Sh., Shikhalieva M.A., Sarbasheva M.M., Begieva A.Z., Golubev A.A., Akiyeva O.M. Epizootologically assessment of helminthes of dogs and wild dogs in Kabardino-Balkar. *Agrarian Science*. 2012, No. 9, pp. 31-32.
7. Onishchenko G.G. Elements of epidemiology and ecological culture. *Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2006, No. 2, pp. 64-66.
8. Arkhipova D.R., Arkhipov I.A. Zoogeography of dogs helminthes in Russia. *Theory and Practice of Combating Parasitic Diseases*. Moscow, May 15-17, 2004, pp. 42-44.
9. Bittirov A.M. The epidemiological situation in animal and human helminthoses in Kabardino-Balkaria. *Problems and Perspectives of the Direction of Applied Biological Science at the Beginning of the 21st Century*. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference. May 19-21, 2013. Moscow, 2013, pp. 29-33.
10. Shikhalieva M. A. The structure of parasitocenosis of animals taking into account the vertical zone of the Northern Caucasus region. *Veterinary Pathology*. 2012, No. 2 (40), pp. 109-113.
11. Atabieva Zh.A., Bichieva M.M., Shikhalieva M.A., Sarbasheva M. M., Golubev A. A., Gurkin A.V. Epizootologically significant helminth fauna of wild animals of the reserved territories of the North Caucasus. *Veterinary Pathology*. 2011, No. 4 (38), pp. 99-102.
12. Vasilevich F.I., Kalabekov M.I., Aliev Sh.K., Sarbasheva M.M. *Biodiversity, biogeography and epidemiological monitoring of zoonoses of dogs and wild dogs family (Canidae) in the North Caucasus region*. Nalchik: PoligrafServis LLC, 2010, 168 p.

13. Sarbasheva M.M., Kazancheva L.K., Kanokova A.S. Sanitary and parasitological research of infrastructure facilities in the settlements of the Kabardino-Balkar Republic. *Theory and Practice of Combating Parasitic Diseases*. Materials of the All-Russian Scientific Conference. May 22-23, 2010. Moscow, 2010, pp. 47-52.
14. Kabardiev S.Sh., Karpushchenko K.A. Epizootic assessment of sheep worms on pastures Ush-tulu, Zhalpak and Sukan. *Tavrichesky Scientific Observer*. 2015. No. 3-2, p. 84.
15. Vasilevich F. I., Kalabekov M. I., Keshokov R. Kh., Sottaev M. Kh. *Sanitary education of the population and ways to ensure hygienic safety in relation to zoonotic invasions*. Nalchik; Moscow, 2010, 68 p.
16. Shikhalieva M.A., Sarbasheva M.M. Epizootic situation on zoonoses invasions in the of Russia. *Veterinary Pathology*. 2012, No. 3 (40), pp. 103-105.
17. Gorokhov V.V. Forgotten parasitosis. *Medical Parasitology and Parasitic Diseases*. 2003, No. 1, pp. 33-36.
18. Sarbasheva M.M., Ardavova Zh.M., Aripshava B.M. Improvement of the sanitary-parasitological state of environmental objects in Kabardino-Balkaria. *Russian Journal of Parasitology*. 2010, No. 4, pp. 119-122.
19. Shakhbiev I.Kh., Shakhbiev Kh.Kh., Bittirov A.M. Epizootologically analysis of bio- and geohelminths of wild dogs (wolfes) in the territory of the Chechen Republic. *Issues of Legal Regulation in Veterinary Medicine*. 2015, No. 4, pp. 80-83.
20. Shakhbiev I. Kh., Shakhbiev Kh. Kh., Bittirov A.M. Ecologo-epizootological analysis of jackal helminthes in the Chechen Republic. *Issues of Legal Regulation in Veterinary Medicine*. 2015, No. 4, pp. 84-86.
21. Shikhalieva M. A., Dokhov A. A., Vologirov A. S., Chilayev S.Sh. Parasitozoonoses of the Kabardino-Balkaria Republic. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2010, No. 47 (1), pp. 146-148.
22. Shikhalieva M.A., Atabieva Zh.A., Kolodiy I.V., Sarbasheva M.M., Bichieva M.M. Structure of Parasitocenosis of the Lowland Belt of the North Caucasus Region. *Veterinary Pathology*. 2012, No. 2 (40), pp. 109-113.
23. Yastreb V.B., Bessonov A.S. Helminth fauna of predators of wild nature of the Central region of Russia. *Theory and practice of combating parasitic diseases*. VIGIS. Proceedings of Conference. Moscow, May 19-21. Moscow, 2003, No. 4, pp. 512-514.
24. Atabieva Zh.A., Bichieva M.M., Kolodiy I.V., Shikhalieva M.A., Sarbasheva M.M., Zhekamukhova M.Z. Forecasting epizootic and epidemic situation on zoonotic invasion in the south of Russia. *Veterinary Pathology*. 2012, No. 1 (39), pp. 119-122.
25. Bichieva M.M. Problem of epizootology of toxocarosis in animals and people in the regions of the Southern Federal District RF. Materials of the All-Russian Scientific and Practical conference. *Problems and Perspective Directions of Applied Biological Science at the Beginning of the 21st Century*. May 19-21, 2013. Moscow, 2013, p. 618.
26. Akiyeva O.M., Bidzhiev A.Z., Sarbasheva M.M., Mantaeva S.Sh., Shikhalieva M.A. Epizootologically analysis of helminthes of domestic, stray and dogs in the Kabardino-Balkar Republic. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2012, No. 6 (31), pp. 58-61.
27. Bittirov A.M. *Formation of helminthological complexes of animals in the Central Caucasus and development of methods for regulating the number of trematodes*. Abstract of Thesis, Doctor of Biological Sciences. Moscow: VIGIS, 1999, 43 p.
28. Sarbasheva M.M. Distribution and characteristics of cestode *Echinococcus granulosus* in dogs in the natural and climatic zones of the Kabardino-Balkar Republic. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2010, No. 47 (1), pp.152-156.
29. Mantaeva S.Sh. An epidemiological situation on helminthoses of animals and the person in Kabardino-Balkar Republic. *Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. May 19-21, 2013. Moscow, 2013, pp. 82-86.
30. Zalikhanov M.Ch., Begieva S.A. Modern Biological Threats and World Regulation to Provide Biosafety of Animal Products. *Breeding on Modern Populations of Domestic Dairy Cathedral as a Basis of Import Substitution of Animal Production*. Materials of the All-Russian Scientific Conf. with International Participation. Belgorod, 2018, pp. 245-253.
31. Kabardiev S.Sh., Begiev S.A., Karpuschenko K.A., Bittirova A.A., Begiev S.Zh., Abdulmagomedov S.Sh. Anthelmintic agent for the treatment and prevention of fasciolosis, dicroceliosis and paramptomatosis of cattle and small ruminants. *Patent for the invention RUS 2612013 01.25.2016*.
32. Kabardiev S.Sh. *Veterinary and sanitary problems of regional pathology of fasciolosis of sheep and goats in the region of the North Caucasus and new methods for their elimination*. Makhachkala, 2014. 198 p.
33. Thakakhova A.A., Bittirova A.A., Berezhko V.K. The species composition of helminthes and the contamination of sheep in the mountain tracts of Kabardino-Balkar at an altitude of 1200-2500 m above sea level. *Theory and Practice of Struggles Against Parasitic Diseases*. 2017, No. 18, pp. 492-495.
34. Kabardiev S.Sh., Gazimagomedov M.G., Magomedov O.A., Begiev S.Zh., Karpuschenko K.A., Mutaev I.M., Kalabekov M.I., Bittirova A.A. Integrated method of treatment of cattle fasciolosis. *Patent for invention RUS 2584212 12.08.2014*.
35. Artamonova A.A., Nagornyi S.A., Stokratov N.A. The problem of helminthes in the North Caucasus. *The role of the Russian helminthological school in the development of parasitology*. Abstracts of the Veterinary Symposium Reports. Moscow, December 8-10. Moscow, 1997, pp. 4-5.
36. Akiyeva O.M., Bidzhiev A.Z., Sarbasheva M.M., Mantaeva S.Sh., Shikhalieva M.A. Ecologic specific and epizootological characteristic of wolf helminthes in the Kabardino-Balkar Republic. *Agricultural Science of the Euro-North-East*. 2012, No. 5(30), pp. 58-61.
37. Kabardiev S.Sh., Begiev S.Zh., Bittirova A.A., Shakhbiev Kh.Kh. New complex treatment of chronic

fascioles of domestic goats. *Proceedings of the All Russian Correspondence Scientific-Practical Conference*. 2016, pp. 111-116.

38. Uspensky A.V., Kabardiev S.Sh. Problems of regional pathology and prevention of dangerous zoonoses in the region of the Central Caucasus. *Theory and practice of innovative development of agrarian science*. Materials of scientific works of the Doctor of biology, Prof. Bittirov A.M. Dedicated to the 55th birthday. Caspian Zonal Vet. Research Institute. Makhachkala, 2014, pp. 310-314.

39. Kabardiev S.Sh., Magomedov O.A., Musaev Z.G., Eldarova L.Kh., Shipshev B.M., Begiev S.Zh., Slonova E.S., Bittirova A.A. The effectiveness of new compositions based on Albendazole and Fenbendazole in intestinal sheep nematodosis. *Theory and Practice of Struggles Against Parasitic Diseases*. 2015, No. 16, pp. 57-58.

40. Begiev S.Zh., Bittirova A.A., Kabardiev S.Sh., Eldarova L.Kh. Embryotropic properties of the new composition of Fenbendazole and Albendazole (panaverm plus). *Russian Journal of Parasitology*. 2015, No. 3, pp. 86-88.

Литература

1. Кабардиев С.Ш., Газимагомедов М.Г., Магомедов О.А., Бегиев С.Ж., Карпущенко К.А., Биттирова А.А., Мусаев З.Г., Махиев И.И., Калабеков А.А. Комплексная противопаразитарная композиция «Азинал плюс»-3 для химиотерапии и профилактики трихоцефалеза, анкилостомоза и эхинококкоза собак. Патент РФ 2614711 от 19.01.2015.

2. Атабиева Ж.А., Бичиева М.М., Колодий И.В., Шихалиева М.А., Сарбашиева М.М., Жекамухова М.З. Прогнозирование эпизоотической и эпидемической ситуации по зоонозным инвазиям на юге России // Ветеринарная патология. 2012. № 1 (39). С. 119–122.

3. Атабиева Ж.А., Биттирова А.А., Сарбашиева М.М., Шихалиева М.А., Жекамухова М.З., Максидова З.Ф. Экологический и видовой состав фауны эндопаразитов и эпидемиологическая характеристика зоонозов в Кабардино-Балкарии // Науч. ведомости Белгородского гос. ун-та. Медицина. Фармация. 2012. № 10 (129). С. 146.

4. Сарбашиева М.М., Биттирова А.А., Атабиева Ж.А. Эпидемиологический анализ нематод человека в Кабардино-Балкарской Республике // Успехи соврем. естествознания. 2013. № 3. С. 25–26.

5. Атабиева Ж.А., Биттирова А.А., Сарбашиева М.М., Шихалиева М.А., Жекамухова М.З., Максидова З.Ф. Экологический и видовой состав фауны эндопаразитов и эпидемиологические особенности зоонозов в Кабардино-Балкарской Республике // Науч. ведомости Белгородского гос. ун-та. Медицина. Фармация. 2012. № 10 (129). С. 1894–1898.

6. Мантаева С.Ш., Шихалиева М.А., Сарбашиева М.М., Бегиева А.З., Голубев А.А., Акиева О.М. Эпизоотологическая оценка гельминтов собак и диких собак в Кабардино-Балкарии // Аграрная наука. 2012. № 9. С. 31–32.

7. Онищенко Г.Г. Элементы эпидемиологии и экологической культуры // Вестн. РАМН. 2006. № 2. С. 64–66.

8. Архипова Д.Р., Архипов И.А. Зоогеография дирофиляриоза собак в России // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. 2004. № 5. С. 42–44.

9. Биттиров А.М. Эпидемиологическая ситуация при гельминтозах животных и человека в Кабардино-Балкарии // Проблемы и перспективы направления прикладной биологической науки в начале XXI века : материалы Всерос. науч.-практ. конф. 19–21 мая 2013 г. М., 2013. С. 29–33.

10. Шихалиева М.А. Структура паразитоценозов животных с учетом вертикальной зоны Северного Кавказа // Ветеринарная патология. 2012. № 2 (40). С. 109–113.

11. Атабиева Ж.А., Бичиева М.М., Шихалиева М.А., Сарбашиева М.М., Голубев А.А., Гуркин А.В. Эпизоотологически значимая фауна гельминтов диких животных заповедных территорий Северного Кавказа // Ветеринарная патология. 2011. № 4 (38). С. 99–102.

12. Василевич Ф.И., Калабеков М.И., Алиев Ш.К., Сарбашиева М.М. Биоразнообразие, биогеография и эпидемиологический мониторинг зоонозов собак и диких псовых семейства Canidae в Северо-Кавказском регионе. Нальчик: ПолиграфСервис, 2010. 168 с.

13. Сарбашиева М.М., Казанчева Л.К., Канокова А.С. Санитарно-паразитологические исследования объектов инфраструктуры в населенных пунктах Кабардино-Балкарской Республики // Теория и практика борьбы с паразитарными заболеваниями : материалы Всерос. науч. конф., 22–23 мая 2010 г. М., 2010. С. 47–52.

14. Кабардиев С.Ш., Карпущенко К.А. Эпизоотическая оценка овечьих червей на пастбищах Уш-тулу, Жалпак и Сукан // Таврический науч. обозреватель. 2015. № 3-2. С. 84.

15. Василевич Ф.И., Калабеков М.И., Кешоков Р.Х., Соттаев М.Х. Санитарное просвещение населения и пути обеспечения гигиенической безопасности при зоонозных инвазиях. Нальчик; Москва, 2010. 68 с.

16. Шихалиева М.А., Сарбашиева М.М. Эпизоотическая ситуация по зоонозным нашествиям на Русь // Ветеринарная патология. 2012. № 3 (40). С. 103–105.

17. Горохов В.В. Забытые паразитозы // Мед. паразитология и паразит. болезни. 2003. № 1. С. 33–36.

18. Сарбашиева М.М., Ардавова Ж.М., Арушьева Б.М. Улучшение санитарно-паразитологического состояния объектов окружающей среды в Кабардино-Балкарии // Рос. паразитол. журн. 2010. № 4. С. 119–122.

19. Шахбиев И.Х., Шахбиев Х.Х., Биттиров А.М. Эпизоотологический анализ био- и геогельминтов диких псовых (волков) на территории Чеченской Республики // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2015. № 4. С. 80–83.

20. Шахбиев И.Х., Шахбиев Х.Х., Биттиров А.Н. Эколого-эпизоотологический анализ гельминтов шакалов в Чеченской Республике // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2015. № 4. С. 84–86.

21. Шихалиева М.А., Дохов А.А., Вологиров А.С., Чилаев С.Ш. Паразитозоозы Кабардино-Балкарской Республики // Изв. Горского гос. аграр. ун-та. 2010. № 47 (1). С. 146–148.

22. Шихалиева М.А., Атабиева Ж.А., Колодий И.В., Сарбашева М.М., Бичиева М.М. Структура паразитоценоза низменного пояса Северо-Кавказского региона // Ветеринарная патология. 2012. № 2 (40). С. 109–113.

23. Ястреб В.Б., Бессонов А.С. Гельминтофауна хищников дикой природы Центрального региона России // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. 2003. № 4. С. 512–514.

24. Атабиева Ж.А., Бичиева М.М., Колодий И.В., Шихалиева М.А., Сарбашева М.М., Жекамухова М.З. Прогнозирование эпизоотической и эпидемической ситуации по зоонозным инвазиям на юге России // Ветеринарная патология. 2012. № 1 (39). С. 119–122.

25. Бичиева М.М. Проблема эпизоотологии токсокароза у животных и людей в регионах Южного федерального округа РФ // Проблемы и перспективные направления прикладной биологической науки в начале XXI века : материалы Всерос. науч.-практ. конф. 19–21 мая 2013 г. М., 2013. С. 618.

26. Акиева О.М., Биджиев А.З., Сарбашева М.М., Мантаева С.Ш., Шихалиева М.А. Эпизоотологический анализ гельминтов домашних и бездомных собак в Кабардино-Балкарской Республике // Аграрная наука евро-северо-востока. 2012. № 6 (31). С. 58–61.

27. Биттиров А.М. Формирование гельминтологических комплексов животных на Центральном Кавказе и разработка методов регулирования количества трематод : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М.: Изд-во ВИГИС, 1999. 43 с.

28. Сарбашева М.М. Распространение и характеристика цестоды *Echinococcus granulosus* у собак в природно-климатических зонах Кабардино-Балкарской Республики // Изв. Горского гос. аграр. ун-та. 2010. № 47 (1). С. 152–156.

29. Мантаева С.Ш. Эпидемиологическая ситуация по гельминтозам животных и человека в Кабардино-Балкарской Республике // Материалы Всерос. науч.-практ. конф. 19–21 мая 2013 года. М., 2013. С. 82–86.

30. Залиханов М.Ч., Биттиров А.М., Бегиева С.А. Современные биологические угрозы и мировые регламенты для обеспечения биобезопасности продукции животноводства // Селекция на современных популяциях отечественного молочного скота как основа импортозамещения животноводческой продукции : материалы Всерос. научн. конф. с междунар. участием. Белгород, 2018. С. 245–253.

31. Патент на изобретение РФ 2612013 от 25.01.2016. Антигельминтное средство для лечения и профилактики фасциолеза, дикроцелиоза и парамфистоматоза крупного рогатого скота и мелких жвачных

животных / С.Ш. Кабардиев, С.А. Бегиев, К.А. Карпущенко, А.А. Биттирова, С.Ж. Бегиев, С.Ш. Абдулмагомедов.

32. Кабардиев С.Ш. Ветеринарно-санитарные проблемы региональной патологии фасциолеза овец и коз в регионе Северного Кавказа и новые методы их устранения. Махачкала, 2014. 198 с.

33. Такахова А.А., Биттирова А.А., Бережко В.К. Видовой состав гельминтов овец в горных районах Кабардино-Балкарии на высоте 1200–2500 м н.у. моря // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. 2017. № 18. С. 492–495.

34. Патент на изобретение РФ 2584212 от 12.08.2014. Комплексный метод лечения фасциолеза крупного рогатого скота / С.Ш. Кабардиев, М.Г. Газимагомедов, О.А. Магомедов, С.Ж. Бегиев, К.А. Карпущенко, И.М. Мутаев, М.И. Калабеков, А.А. Биттирова

35. Артамонова А.А., Нагорный С.А., Строкатов Н.А. Проблема гельминтов на Северном Кавказе // Роль российской гельминтологической школы в развитии паразитологии : тез. докл. ветеринар. симп. Москва, 8–10 декабря 1997 г. М., 1997. С. 4–5.

36. Акиева О.М., Биджиев А.З., Сарбашева М.М., Мантаева С.Ш., Шихалиева М.А. Экологическая специфика и эпизоотологическая характеристика гельминтов волка в Кабардино-Балкарской Республике // Аграрная наука евро-северо-востока. 2012. № 5 (30). С. 58–61.

37. Кабардиев С.Ш., Бегиев С.Ж., Биттирова А.А., Шахбиев Х.Х. Новое комплексное лечение хронического фасциолеза домашних коз // Тр. Всерос. заочной науч.-практ. конф. 2016. С. 111–116.

38. Успенский А.В., Кабардиев С.Ш. Проблемы региональной патологии и профилактики опасных зоонозов в регионе Центрального Кавказа // Теория и практика инновационного развития аграрной науки : материалы науч. тр. д-ра биол. наук, проф. А.М. Биттирова. Посвящается 55-летию со дня рождения. Каспийский зональный вет. исслед. ин-т. Махачкала, 2014. С. 310–314.

39. Кабардиев С.Ш., Магомедов О.А., Мусаев З.Г., Эльдарова Л.Х., Шитиев Б.М., Бегиев С.Ж., Слонова Е.С., Биттирова А.А. Эффективность новых композиций на основе альбендазола и фенбендазола при кишечных нематодозах овец // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. 2015. № 16. С. 57–58.

40. Бегиев С.Ж., Биттирова А.А., Кабардиев С.Ш., Эльдарова Л.Х. Эмбриотропные свойства нового состава фенбендазола и альбендазола (панаверм плюс) // Рос. паразитол. журн. 2015. № 3. С. 86–88.

УДК 631.445.4:631.95

DOI 10.23683/0321-3005-2019-2-90-96

ВЛИЯНИЕ МОДЕЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СЕЛЕНОМ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АРИДНЫХ ПОЧВ ЮГА РОССИИ*

© 2019 г. Р.М. Дауд¹, С.И. Колесников¹, А.А. Кузина¹, К.Ш. Казеев¹, Ю.В. Акименко¹

¹Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

INFLUENCE OF MODEL POLLUTION BY SELENIUM ON THE BIOLOGICAL PROPERTIES OF ARID SOILS IN THE SOUTH OF RUSSIA

R.M. Daoud¹, S.I. Kolesnikov¹, A.A. Kuzina¹, K.Sh. Kazeev¹, Yu.V. Akimenko¹

¹Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Дауд Рама Мухаммед – аспирант, кафедра экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, пр. Стачки, 194/1, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия

Rama M. Daoud - Postgraduate, Department of Ecology and Natural Management, Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Stachki Ave, 194/1, Rostov-on-Don, 344090, Russia

Колесников Сергей Ильич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, пр. Стачки, 194/1, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: kolesnikov@sfedu.ru

Sergei I. Kolesnikov - Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of Ecology and Natural Management Department, Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Stachki Ave, 194/1, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: kolesnikov@sfedu.ru

Кузина Анна Андреевна – кандидат биологических наук, младший научный сотрудник, кафедра экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, пр. Стачки, 194/1, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия

Anna A. Kuzina - Candidate of Biological Sciences, Junior Researcher, Department of Ecology and Natural Management, Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Stachki Ave, 194/1, Rostov-on-Don, 344090, Russia

Казеев Камил Шагидулович – доктор географических наук, профессор, кафедра экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, пр. Стачки, 194/1, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: Kamil_kazeev@mail.ru

Kamil Sh. Kazeev - Doctor of Geography, Professor, Department of Ecology and Natural Management, Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Stachki Ave, 194/1, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: Kamil_kazeev@mail.ru

Акименко Юлия Викторовна – кандидат биологических наук, доцент, кафедра экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, пр. Стачки, 194/1, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: akimenkojuliya@mail.ru

Yuliya V. Akimenko - Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Ecology and Natural Management, Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Stachki Ave, 194/1, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: akimenkojuliya@mail.ru

В результате модельных исследований установлено, что загрязнение аридных почв юга России селеном ведет к ухудшению их биологического состояния: снижается общая численность бактерий, активность каталазы и дегидрогеназ, целлюлолитическая способность, обилие бактерий рода *Azotobacter*, прорастание и интенсивность начального роста растений. Как правило, наблюдается прямая зависимость между содержанием селена и степенью ухудшения исследуемых свойств почвы. По степени устойчивости биологических свойств к загрязнению селеном почвы аридных экосистем юга России образуют следующую последовательность: черноземы обыкновенные > темно-каштановые почвы ≥ каштановые почвы > светло-каштановые почвы > бурые полупустынные почвы > песчаные почвы. Степень снижения биологических свойств зависит от генетических свойств почв, определяющих подвижность селена в почве: гранулометрического состава, реакции среды и содержания органического вещества. Предложены количественные ориентиры для разработки региональных нормативов предельно допустимого содержания селена в аридных почвах на основе нарушения их экологических функций.

* Исследование выполнено при государственной поддержке ведущей научной школы Российской Федерации (НШ-3464.2018.11) и Министерства образования и науки Российской Федерации (5.5735.2017/8.9).

Ключевые слова: загрязнение, селен, каштановые почвы, бурые полупустынные почвы, песчаные почвы, биотестирование, устойчивость, нормирование, региональные предельно допустимые концентрации.

Contamination of arid soils in Southern Russia leads to a deterioration of their biological state: the total number of bacteria, the activity of catalase and dehydrogenases, cellulolyticism, the abundance of bacteria of the genus *Azotobacter*, germination and the intensity of the initial growth of plants decrease. As a rule, there is a direct relationship between the selenium content and the degree of deterioration of the soil properties under study. The following sequences are formed according to the degree of resistance of biological properties to soil pollution of arid soils in arid ecosystems of Southern Russia: ordinary chernozems > dark chestnut soils $\geq$ chestnut soils > light chestnut soils > brown semi-desert soils > sandy soils. The degree of reduction of biological properties depends on the genetic properties of the soils, which determine the mobility of selenium in the soil: the particle size distribution, the reaction of the environment and the content of organic matter. The envisaged quantitative guidelines for the development of regional regulatory acts are the maximum allowable content of selenium under conditions of violation of their ecological functions.

Keywords: pollution, selenium, chestnut soils, brown semi-desert soils, sandy soils, bio-testing, resistance, rationing, regional maximum permissible estimates.

Селен широко распространен в природе и является микроэлементом. В зависимости от концентрации в почве селен может оказывать как токсическое, так и стимулирующее воздействие на растения и почвенную биоту. Источники загрязнения почв селеном: добыча полезных ископаемых, главным образом переработка сульфидной руды [1], сжигание топлива, в частности угля [2, 3], использование на сельскохозяйственных почвах осадка сточных вод [4], фосфорных удобрений [3] и инсектицидов [5]. Неорганические соединения селена гораздо более токсичны, чем органические [6].

На юге России встречается загрязнение аридных почв не только тяжелыми металлами (кадмий, цинк, свинец), но и селеном [7]. Однако экологические последствия селенового загрязнения для этих почв не изучены. При этом аридные почвы на юге России используются в растениеводстве (каштановые почвы) и под пастбища (бурые полупустынные почвы). Кроме того, аридные экосистемы играют

важную роль в поддержании биологического разнообразия и устойчивости биосферы [8, 9].

Расположенные на юге России зональные каштановые и бурые полупустынные почвы, а также интразональные песчаные [10, 11] различаются эколого-генетическими свойствами [12] и устойчивостью к химическому загрязнению.

Цель работы – исследовать в модельном эксперименте влияние загрязнения селеном на биологические свойства аридных почв юга России.

Загрязнение почв селеном моделировали в лабораторных условиях [13]. Исследовали следующие типы почв: темно-каштановые, каштановые, светло-каштановые, бурые полупустынные, песчаные бурые полупустынные и чернозем обыкновенный для сравнения. Использовали верхний слой почвы 0–10 см. В непахотных почвах основное количество загрязняющих веществ накапливается именно в этом слое [14]. Основные эколого-генетические показатели почв представлены в табл. 1.

Таблица 1

Эколого-генетические характеристики почв аридных экосистем юга России
/ Ecological and genetic characteristics of soils of arid ecosystems in the Southern Russia

Название почвы по эколого-генетической классификации СССР, 1977	Название почвы по World Reference Base for Soil Resources (WRB), 2006	Условные обозначения	Экосистема	Содержание органического вещества, %	pH	Гранулометрический состав
Чернозем обыкновенный	Chernozems Chernic	Чо	Настоящая степь	3,8	7,6	Тяжелосуглинистый
Темно-каштановая	Kastanozems Haplic	Кт	Сухая степь	3,5	7,6	»»
Каштановая	Kastanozems Haplic	К	»»	2,8	7,8	»»
Светло-каштановая	Kastanozems Haplic	Кс	»»	1,4	8,1	Среднесуглинистый
Бурая полупустынная	Calcisols Haplic	Бп	Полупустыня	1,2	8,3	Легкосуглинистый
Песчаная бурая полупустынная	Arenosols Calcaric	П(бп)	Полупустыня	0,8	8,3	Песчаный

Содержание селена в незагрязненных почвах составляет около 0,4 мг/кг, пределы колебаний – от 0,01 до 12 мг/кг [2, 4, 14, 15]. Предельно допустимая концентрация (ПДК) селена в почве в России не разработана. В Германии ПДК селена в почве составляет 10 мг/кг [14]. В настоящем исследовании селен вносили в почву в количестве 1, 10, 100 ПДК, что составляет 10, 100 и 1000 мг/кг соответственно.

Селен вносили в почву в форме оксида – SeO_2 . Его использование позволяет исключить воздействие на свойства почвы сопутствующего катиона, что происходит при внесении солей селена.

Почву инкубировали в вегетационных сосудах при комнатной температуре (20–22 °C) и оптимальном увлажнении (60 % от полевой влагоемкости) в трехкратной повторности.

Состояние почв определяли через 30 сут после загрязнения. При оценке химического воздействия на биологическое состояние почвы этот срок является наиболее информативным [16].

Через указанный срок всю массу почвы извлекали из вегетационного сосуда и перемешивали, тем самым получали средний образец, из которого отбирали пробы на определение биологических показателей – по 3 пробы из каждого сосуда.

Лабораторно-аналитические исследования выполнены с использованием общепринятых методов [11, 17]. Численность бактерий в почве учитывали методом люминесцентной микроскопии, обилие бактерий рода *Azotobacter* – методом комочков образования на среде Эшби; активность каталазы – по скорости разложения перекиси водорода, активность дегидрогеназ – по скорости превращения хлорида трифенилтетразолия в трифенилформазан, целлюлозолитическую активность – по скорости разложения в почве хлопчатобумажного полотна, фитотоксичность – по длине корней редиса.

На основе вышеперечисленных биологических показателей определяли интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) почвы [9]. Представленный набор показателей дает информативную картину протекающих в почве биологических процессов и ее экологического состояния.

Для расчета ИПБС значение каждого из указанных выше показателей на контроле (в незагрязненной почве) принимали за 100 % и по отношению к нему выражали в процентах значения в остальных вариантах опыта (в загрязненной почве). Затем определяли среднее значение выбранных показателей для каждого варианта опыта. Полученное значение ИПБС выражено в процентах по отношению к контролю (к 100 %). Используемая методика позволяет интегрировать относительные значения

разных показателей, абсолютные значения которых не могут быть интегрированы, так как имеют разные единицы измерения.

Для проверки полученных данных на достоверность проведен дисперсионный анализ с последующим определением наименьшей существенной разности (НСР).

В результате исследования установлено, что загрязнение аридных почв юга России селеном приводит к ухудшению их состояния. Как правило, наблюдалось достоверное снижение исследованных биологических показателей (табл. 2): общей численности бактерий, активности каталазы и дегидрогеназ, целлюлозолитической активности, обилия бактерий рода *Azotobacter*, длины корней редиса.

Достоверное стимулирующее воздействие селена зарегистрировано только в одном случае (увеличение активности дегидрогеназ при загрязнении темно-каштановой почвы 1 ПДК селена). Во всех остальных вариантах загрязнение селеном либо не влияло, либо снижало биологические показатели.

Степень снижения биологических показателей зависела от концентрации селена в почве и её эколого-генетических свойств.

В качестве механизма токсического действия селена, как правило, указывают его способность замещать серу в органических веществах, что ведет к нарушению обмена веществ [8].

По степени устойчивости биологических свойств к загрязнению селеном почвы аридных экосистем юга России образуют следующую последовательность: черноземы обыкновенные > темно-каштановые почвы $\geq$ каштановые > светло-каштановые > бурые полупустынные > песчаные.

Такая последовательность определяется эколого-генетическими свойствами исследованных почв, прежде всего гранулометрическим составом, реакцией среды и содержанием органического вещества (табл. 1). Чем тяжелее гранулометрический состав, выше pH и больше органического вещества, тем сильнее селен связывается почвой и меньше проявляет токсичность.

Темно-каштановые почвы характеризуются тяжелосуглинистым гранулометрическим составом, высоким содержанием органического вещества, нейтральным pH (табл. 1). Эти свойства способствуют закреплению селена почвой и его меньшему влиянию на её биологические свойства.

Каштановые почвы отличаются реакцией среды, близкой к слабощелочной, тяжелосуглинистым гранулометрическим составом, но содержание органического вещества у них ниже, чем у темно-каштановых почв.

Таблица 2

**Изменение биологических свойств почв аридных экосистем юга России при загрязнении селеном
/ The impact of the pollution by selenium on the biological properties of the soils of arid ecosystems in the South of Russia**

Доза селена	Почва					
	Чернозем обыкновенный	Темно-каштановая	Каштановая	Светло-каштановая	Бурая полупустынная	Бурая полупустынная песчаная
Численность бактерий, млрд/г						
Контроль	5,3	5,1	5,1	5,2	2,5	2,2
1 ПДК	4,7	2,2	3,4	4,3	2,2	2,1
10 ПДК	3,5	1,5	2,6	3,2	1,1	0,9
100 ПДК	2,4	1,4	1,4	2,4	0,8	0,0
НСР ₀₅	0,6	0,4	0,5	0,6	0,2	0,2
Обилие бактерий рода <i>Azotobacter</i> , % от контроля						
Контроль	100	100	100	100	100	100
1 ПДК	97	97	99	97	69	57
10 ПДК	99	95	79	40	50	38
100 ПДК	69	79	18	3	20	48
НСР ₀₅	10	10	10	8	8	8
Активность каталазы, мл O ₂ на 1 г почвы за 1 мин						
Контроль	15,1	14,1	14,7	9,8	6,6	4,8
1 ПДК	14,8	13,5	12,7	8,9	6,5	4,7
10 ПДК	13,7	11,7	9,8	8,0	5,4	3,9
100 ПДК	6,1	6,4	5,2	5,0	3,5	3,1
НСР ₀₅	1,6	1,5	1,4	1,0	0,7	0,5
Активность дегидрогеназ, мг ТТФ на 1 г почвы за 24 ч						
Контроль	27,6	24,5	22,1	22,9	19,5	17,6
1 ПДК	21,1	28,2	18,6	18,6	16,4	14,1
10 ПДК	7,6	10,1	8,3	9,8	12,1	6,9
100 ПДК	3,3	3,6	3,7	5,6	7,6	3,4
НСР ₀₅	2,3	2,5	2,0	2,1	2,1	1,6
Целлюлозолитическая активность, % от контроля						
Контроль	100	100	100	100	100	100
1 ПДК	98	98	92	87	84	80
10 ПДК	79	68	39	34	17	4
100 ПДК	3	1	1	0	0	0
НСР ₀₅	13	13	11	11	10	9
Длина корней (фитотоксичность), % от контроля						
Контроль	100	100	100	100	100	100
1 ПДК	99	92	88	82	80	76
10 ПДК	60	44	31	22	3	2
100 ПДК	0	0	0	0	0	0
НСР ₀₅	12	11	10	10	9	8
ИПБС, % от контроля						
Контроль	100	100	100	100	100	100
1 ПДК	93	90	86	87	84	81
10 ПДК	71	60	66	47	43	35
100 ПДК	28	28	16	21	24	22

Светло-каштановые почвы имеют промежуточные между каштановыми и бурыми полупустынными почвами эколого-генетические характеристики, такие как содержание гумуса, среднесуглинистый гранулометрический состав и реакция среды, что обуславливает промежуточную степень их устойчивости.

Бурые полупустынные почвы имеют щелочную среду, низкое содержание органического вещества и легкосуглинистый гранулометрический состав, что способствует высокой подвижности селена.

Для песчаных почв характерны высокие значения pH, очень низкое содержание гумуса и песчаный гранулометрический состав, что способствует очень

высокой подвижности селена и проявлению его максимальной токсичности.

Схожая последовательность устойчивости аридных почв юга России зафиксирована ранее для загрязнения хромом, никелем, медью и свинцом [18].

Полученные результаты свидетельствуют о высокой чувствительности, информативности использованных биологических показателей и целесообразности их применения для оценки устойчивости аридных почв к загрязнению селеном.

Проведенное исследование позволило установить количественные ориентиры для разработки региональных нормативов предельно допустимого содержания селена в аридных почвах юга России на основе нарушения экологических и сельскохозяйственных функций почв.

В работе [19] показано, что нарушение экологических функций почвы происходит в определенной очередности. По мере увеличения концентрации загрязняющего химического вещества в почве срыв выполняемых ею экосистемных функций происходит в следующей последовательности: информационные → биохимические, физико-химические, хи-

мические и целостные → физические (классификация экосистемных функций почв дана по [20]). Тот факт, что различные экологические функции почвы нарушаются при различной концентрации загрязняющего вещества, может лежать в основе экологического нормирования загрязнения почв. В качестве критерия степени нарушения экофункций почвы предлагается использовать ИПБС. Установлено, что если значения ИПБС уменьшились менее чем на 5 %, то почва выполнит свои экологические функции нормально. При снижении значений ИПБС на 5–10 % происходит нарушение информационных экофункций, на 10–25 % – биохимических, физико-химических, химических и целостных, более чем на 25 % – физических [19].

По результатам настоящего исследования были построены уравнения регрессии, отражающие зависимость снижения значений ИПБС от содержания в почве селена. По этим уравнениям рассчитаны концентрации селена, вызывающие нарушение тех или иных групп экофункций почвы. Предложена схема экологического нормирования загрязнения аридных почв селеном (табл. 3).

Таблица 3

Схема экологического нормирования загрязнения аридных почв юга России селеном по степени нарушения экофункций
/ Scheme of environmental regulation of pollution arid soils in the South of Russia by selenium according to the degree of violation of ecological functions

ИПБС, экофункция	Степень загрязнения почвы			
	Незагрязненная	Слабо-загрязненная	Средне-загрязненная	Сильно-загрязненная
Степень снижения интегрального показателя ¹ , %	< 5	5–10	10–25	> 25
Нарушаемые экологические функции ²	–	Информационные	Химические, физико-химические, биохимические; целостные	Физические
Почва	Содержание селена в почве, мг/кг			
Черноземы обыкновенные	< 2,2	2,2–3,2	3,2–11	> 11
Темно-каштановые	< 1,8	1,8–2,5	2,5–8	> 8
Каштановые	< 2	2–3	3–6	> 6
Светло-каштановые	< 1,5	1–2	2–5	> 5
Бурые полупустынные	< 1,3	1,3–1,7	1,7–4,5	> 4,5
Бурые полупустынные песчаные	< 1,1	1,1–1,4	1,4–3,5	> 3,5

Примечание. ¹ – определение интегрального показателя по [19]; ² – классификация экологических функций по [20].

Выводы

1. Загрязнение аридных почв юга России селеном ведет к ухудшению их биологического состояния: снижаются общая численность бактерий, активность каталазы и дегидрогеназ, целлюлозолитическая способность, обилие бактерий рода *Azotobacter*, прорастание и интенсивность начального роста растений. Как правило, наблюдается прямая зависимость между содержанием селена и степенью ухудшения исследуемых свойств почвы.

2. По степени устойчивости биологических свойств к загрязнению селеном почвы аридных экосистем юга России образуют следующую последовательность: черноземы обыкновенные > темно-каштановые почвы ≥ каштановые > светло-каштановые > бурые полупустынные > песчаные. Степень снижения биологических свойств зависит от генетических свойств почв, определяющих подвижность селена в почве: гранулометрического состава, реакции среды и содержания органического вещества.

3. Предложены количественные ориентиры для разработки региональных нормативов предельно допустимого содержания селена в аридных почвах на основе нарушения их экологических функций.

Литература

1. Huang Y., Gulson B. Selenium in soils, spermatophytes and bryophytes around a Zn-Pb smelter, New South Wales, Australia // *Sci. Total Environ.* 2002. Vol. 293. P. 129–141.

2. Perkins W.T. Extreme selenium and tellurium contamination in soils - an eighty year-old industrial legacy surrounding a Ni refinery in the Swansea Valley // *Science of the Total Environment*. 2011. Vol. 412–413. P. 162–169.

3. Tabelin C.B., Igarashi T., Tabelin M.V., Park I., Opiso E.M., Ito M., Hiroyoshi N. Arsenic, selenium, boron, lead, cadmium, copper, and zinc in naturally contaminated rocks: A review of their sources, modes of enrichment, mechanisms of release, and mitigation strategies // *Science of the Total Environment*. 2018. Vol. 645. P. 1522–1553.

4. Fordyce F. Selenium deficiency and toxicity in the environment // *Essentials of medical geology. Impacts of the natural environment on public health*. Amsterdam: Elsevier, 2005. P. 373–415.

5. He Y., Xiang Y., Zhou Y., Yang Y., Zhang J., Huang H., Shanga C., Luo L., Gao J., Tang L. Selenium contamination, consequences and remediation techniques in water and soils: A review // *Environmental Research*. 2018. Vol. 164. P. 288–301.

6. Mehdi Y., Hornick J.L., Istasse L., Dufrasne I. Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions // *Molecules*. 2013. Vol. 18. P. 3292–3311.

7. Отчет о научно-производственной деятельности за 2016 год ФГБУ ГЦАС «Астраханский». Астрахань : ГЦАС «Астраханский», 2016.

8. Greed I.F., Lane C.R., Serran J.N., Alexander L.C., McLaughlin D.L., Raanan-Kiperwas H., Rains M.C., Rains K.C., Smith L. Enhancing protection for vulnerable waters // *Nat. Geosci.* 2017. Vol. 10 (11). P. 809–815.

9. Menéndez-Serra M., Triadó-Margarit X., Castañeda C., Herrero J., Casamayor O.E. Microbial composition, potential functional roles and genetic novelty in gypsum-rich and hypersaline soils of Monegros and Gallocanta (Spain) // *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 650, № 1. P. 343–353.

10. Национальный атлас почв Российской Федерации / С.А. Шоба, Г.В. Добровольский, И.О. Алябина [и др.]. М.: АСТ, 2011. 632 с.

11. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Атлас почв Азово-Черноморского бассейна. Ростов н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2015. 80 с.

12. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвы юга России. Ростов н/Д.: Эверест, 2008. 276 с.

13. Колесников С.И., Жаркова М.Г., Кутузова И.В., Казеев К.Ш. Сопоставление результатов лаборатор-

ного и полевого моделирования химического загрязнения почв // *Агрохимия*. 2013. № 5. С. 86–94.

14. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, FL: Crc Press, 2010. 548 p.

15. Торшин С.П., Удельнова Т.М., Ягодин Б.А. Микроэлементы, экология и здоровье человека // *Успехи современной биологии*. 1990. Т. 109, вып. 2. С. 279–292.

16. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на эколого-биологические свойства чернозема обыкновенного // *Экология*. 2000. № 3. С. 193–201.

17. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.

18. Колесников С.И., Спивакова Н.А., Казеев К.Ш. Влияние модельного загрязнения Cr, Cu, Ni, Pb на биологические свойства почв сухих степей и полупустынь юга России // *Почвоведение*. 2011. Т. 44 (9). С. 1094–1101.

19. Kolesnikov S., Kazeev K., Valkov V. Ecological Functions of Soils and the Effect of Contamination with Heavy Metals // *Eurasian Soil Science*. 2002. Vol. 12. P. 1335–1340.

20. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах (экологическое значение почв). М.: Наука, 1990. 261 с.

References

1. Huang Y., Gulson B. Selenium in soils, spermatophytes and bryophytes around a Zn-Pb smelter, New South Wales, Australia. *Sci. Total Environ.* 2002, vol. 293, pp. 129–141.

2. Perkins W.T. Extreme selenium and tellurium contamination in soils - an eighty year-old industrial legacy surrounding a Ni refinery in the Swansea Valley. *Sci. Total Environ.* 2011, vol. 412–413, pp. 162–169.

3. Tabelin C.B., Igarashi T., Tabelin M.V., Park I., Opiso E.M., Ito M., Hiroyoshi N. Arsenic, selenium, boron, lead, cadmium, copper, and zinc in naturally contaminated rocks: A review of their sources, modes of enrichment, mechanisms of release, and mitigation strategies. *Sci. Total Environ.* 2018, vol. 645, pp. 1522–1553.

4. Fordyce F. Selenium deficiency and toxicity in the environment. *Essentials of medical geology. Impacts of the natural environment on public health*. Amsterdam: Elsevier, 2005, pp. 373–415.

5. He Y., Xiang Y., Zhou Y., Yang Y., Zhang J., Huang H., Shanga C., Luo L., Gao J., Tang L. Selenium contamination, consequences and remediation techniques in water and soils: A review. *Environmental Research*. 2018, vol. 164, pp. 288–301.

6. Mehdi Y., Hornick J.L., Istasse L., Dufrasne I. Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions. *Molecules*. 2013, vol. 18, pp. 3292–3311.

7. *Otchet o nauchno-proizvodstvennoi deyatel'nosti za 2016 god FGBU GTsAS «Astrakhanskii»* [Report on research and production activities for 2016, FSBI "GTsAS "Astrakhanskii"]. Astrakhan: GTsAS "Astrakhanskii", 2016.
8. Greed I.F., Lane C.R., Serran J.N., Alexander L.C., McLaughlin D.L., Raanan-Kiperwas H., Rains M.C., Rains K.C., Smith L. Enhancing protection for vulnerable waters. *Nat. Geosci.* 2017, vol. 10 (11), pp. 809-815.
9. Menéndez-Serra M., Triadó-Margarit X., Castañeda C., Herrero J., Casamayor O.E. Microbial composition, potential functional roles and genetic novelty in gypsum-rich and hypersaline soils of Monegros and Gallo-canta (Spain). *Sci. Total Environ.* 2019, vol. 650, No. 1, pp. 343-353.
10. *Natsional'nyi atlas pochv Rossiiskoi Federatsii* [National atlas of soils of the Russian Federation]. S.A. Shoba, G.V. Dobrovolskii, I.O. Alyabina et al. Moscow: AST, 2011, 632 p.
11. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. *Atlas pochv Azovo-Chernomorskogo basseina* [Atlas of the soils of the Azov-Black Sea basin]. Rostov-on-Don: Izd-vo YuFU, 2015, 80 p.
12. Val'kov V.F., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. *Pochvy yuga Rossii* [Soils of the South of Russia]. Rostov-on-Don: Everest, 2008, 276 p.
13. Kolesnikov S.I., Zharkova M.G., Kutuzova I.V., Kazeev K.Sh. Sopostavlenie rezul'tatov laboratornogo i polevogo modelirovaniya khimicheskogo zagryazneniya pochv [Comparison of the results of laboratory and field modeling of chemical pollution of soil]. *Agrokimiya.* 2013, No. 5, pp. 86-94.
14. Kabata-Pendias A. *Trace Elements in Soils and Plants*. 4th ed. Boca Raton, FL: Crc Press, 2010, 548 p.
15. Torshin S.P., Udel'nova T.M., Yagodin B.A. Mikroelementy, ekologiya i zdorov'e cheloveka [Trace elements, ecology and human health]. *Uspekhi sovrem. biologii.* 1990, vol. 109, iss. 2, pp. 279-292.
16. Kolesnikov S.I., Kazeev K.Sh., Val'kov V.F. Vliyanie zagryazneniya tyazhelymi metallami na ekologo-biologicheskie svoistva chernozema obyknovennogo [Effects of heavy metal pollution on the ecological and biological characteristics of common chernozem]. *Ekologiya.* 2000, No. 3, pp. 193-201.
17. *Metody pochvennoi mikrobiologii i biokhimii* [Methods of soil microbiology and biochemistry]. Ed. D.G. Zvyagintsev. Moscow: Izd-vo MGU, 1991, 304 p.
18. Kolesnikov S.I., Spivakova N.A., Kazeev K.Sh. Vliyanie model'nogo zagryazneniya Cr, Cu, Ni, Pb na biologicheskie svoistva pochv sukhikh stepei i polupustyn' yuga Rossii [The effect of model soil contamination with Cr, Cu, Ni, and Pb on the biological properties of soils in the dry steppe and semidesert regions of Southern Russia]. *Pochvovedenie.* 2011, vol. 44 (9), pp. 1094-1101.
19. Kolesnikov S., Kazeev K., Valkov V. Ecological Functions of Soils and the Effect of Contamination with Heavy Metals. *Eurasian Soil Science.* 2002, vol. 12, pp. 1335-1340.
20. Dobrovol'skii G.V., Nikitin E.D. *Funktsii pochv v biosfere i ekosistemakh (ekologicheskoe znachenie pochv)* [Soil functions in the biosphere and ecosystems (ecological significance of the soil)]. Moscow: Nauka, 1990, 261 p.

УДК 576.311.347:616-006:616.8-009.7-036:616.8-009.7-092.4

DOI 10.23683/0321-3005-2019-2-97-105

ПРОЦЕССЫ САМООРГАНИЗАЦИИ МИТОХОНДРИЙ ПРИ РОСТЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОПУХОЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ХРОНИЧЕСКОЙ НЕЙРОГЕННОЙ БОЛИ

© 2019 г. О.И. Кит¹, А.И. Шихлярова¹, Е.М. Франциянц¹, И.В. Нескубина¹,
И.В. Каплиева¹, А.С. Гончарова¹, Е.М. Непомнящая¹, О.Г. Шульгина¹

¹Ростовский научно-исследовательский онкологический институт, Ростов-на-Дону, Россия

PROCESSES OF MITOCHONDRIAL SELF-ORGANIZATION IN EXPERIMENTAL TUMOR GROWTH WITH CHRONIC NEUROGENIC PAIN

O.I. Kit¹, A.I. Shikhlyarova¹, E.M. Frantsiyants¹, I.V. Neskubina¹, I.V. Kaplieva¹,
A.S. Goncharova¹, E.M. Nepomnyashchaya¹, O.G. Shulgina¹

¹Rostov Research Institute of Oncology, Rostov-on-Don, Russia

Кит Олег Иванович – доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, генеральный директор Ростовского научно-исследовательского онкологического института, ул. 14-я линия, 63, г. Ростов-на-Дону, 344037, Россия, e-mail: rnioi@list.ru

Oleg I. Kit - Doctor of Medicine, Professor, Corresponding Member, RAS, General Director, Rostov Research Institute of Oncology, 14-ya Liniya St., 63, Rostov-on-Don, 344037, Russia, e-mail: rnioi@list.ru

Шихлярова Алла Ивановна – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, руководитель испытательного лабораторного центра, Ростовский научно-исследовательский онкологический институт, ул. 14-я линия, 63, г. Ростов-на-Дону, 344037, Россия, e-mail: shikhliarova.a@mail.ru

Alla I. Shikhlyarova - Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Researcher, Head of Testing Laboratory Center, Rostov Research Institute of Oncology, 14-ya Liniya St., 63, Rostov-on-Don, 344037, Russia, e-mail: shikhliarova.a@mail.ru

Франциянц Елена Михайловна – доктор биологических наук, профессор, заместитель генерального директора по науке, руководитель лаборатории изучения патогенеза злокачественных опухолей, Ростовский научно-исследовательский онкологический институт, ул. 14-я линия, 63, г. Ростов-на-Дону, 344037, Россия, e-mail: super.gormon@ya.ru

Elena M. Frantsiyants - Doctor of Biological Sciences, Professor, Deputy General Director for Science, Head of Laboratory of Malignant Tumor Pathogenesis Study, Rostov Research Institute of Oncology, 14-ya Liniya St., 63, Rostov-on-Don, 344037, Russia, e-mail: super.gormon@ya.ru

Нескубина Ирина Валерьевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория изучения патогенеза злокачественных опухолей, Ростовский научно-исследовательский онкологический институт, ул. 14-я линия, 63, г. Ростов-на-Дону, 344037, Россия, e-mail: neskubina.irina@mail.ru

Irina V. Neskubina - Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Malignant Tumor Pathogenesis Study, Rostov Research Institute of Oncology, 14-ya Liniya St., 63, Rostov-on-Don, 344037, Russia, e-mail: neskubina.irina@mail.ru

Каплиева Ирина Викторовна – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, лаборатория изучения патогенеза злокачественных опухолей, Ростовский научно-исследовательский онкологический институт, ул. 14-я линия, 63, г. Ростов-на-Дону, 344037, Россия, e-mail: super.gormon@yandex.ru

Irina V. Kaplieva - Candidate of Medicine, Senior Researcher, Laboratory of Malignant Tumor Pathogenesis Study, Rostov Research Institute of Oncology, 14-ya Liniya St., 63, Rostov-on-Don, 344037, Russia, e-mail: super.gormon@yandex.ru

Гончарова Анна Сергеевна – кандидат медицинских наук, руководитель исследовательского лабораторного центра, Ростовский научно-исследовательский онкологический институт, ул. 14-я линия, 63, г. Ростов-на-Дону, 344037, Россия, e-mail: fateyeva_a_s@list.ru

Anna S. Goncharova - Candidate of Medicine, Head of Exploratory Laboratory Center, Rostov Research Institute of Oncology, 14-ya Liniya St., 63, Rostov-on-Don, 344037, Russia, e-mail: fateyeva_a_s@list.ru

Непомнящая Евгения Марковна – доктор медицинских наук, профессор, врач-патологоанатом, патолого-анатомическое отделение, Ростовский научно-исследовательский онкологический институт, ул. 14-я линия, 63, г. Ростов-на-Дону, 344037, Россия, e-mail: rnioi@list.ru

Шульгина Оксана Геннадьевна – научный сотрудник, лаборатория иммунофенотипирования опухолей, Ростовский научно-исследовательский онкологический институт, ул. 14-я линия, 63, г. Ростов-на-Дону, 344037, Россия, e-mail: rnioi@list.ru

Evgeniya M. Nepomnyashchaya - Doctor of Medicine, Professor, Pathologist, Pathology Department, Rostov Research Institute of Oncology, 14-ya Liniya St., 63, Rostov-on-Don, 344037, Russia, e-mail: rnioi@list.ru

Oksana G. Shulgina - Researcher, Laboratory of Tumors Immunophenotyping, Rostov Research Institute of Oncology, 14-ya Liniya St., 63, Rostov-on-Don, 344037, Russia, e-mail: rnioi@list.ru

Цель исследования – изучение процессов самоорганизации митохондрий как сигнальных критериев энергетического, метаболического и структурного гомеостаза в условиях чрезвычайных нагрузок, связанных с сочетанием двух патологических процессов – хронической нейрогенной боли и роста опухоли. При световой, темновой и поляризационной микроскопии суспензии митохондрий, выделенных из гомогенатов тканей различных органов (печень, миокард, мозг), был зафиксирован эффект хемилуминесценции ассоциатов митохондрий, характерный только для кардиомиоцитов. Предполагается связь отмеченного фотоэффекта с особой формой межмитохондриальных контактов в ассоциатах высокоэнергизованных субстанций клеток миокарда. Это детерминировано тем, что при хронической болевой стимуляции роста опухоли включается наиболее целесообразный путь энергообеспечения через самоорганизацию длинных электронно-транспортных путей, который приводит к самосборке крупных многомерных агрегаций митохондрий с высокой степенью энергизации.

Полученные результаты свидетельствуют, что в норме у животных без опухолевого роста и сопутствующего болевого синдрома в мазках суспензии митохондрий печени и мозга визуализируется образование мелких гранул ассоциатов, образующих нитевидную структуру. Только в препаратах митохондрий кардиомиоцитов у животных с ростом опухоли на фоне хронической боли отмечены значительные площади ассоциатов, образующих комплексы и пространственно усложненную самоорганизованную сетевую структуру.

Ключевые слова: митохондрии, самоорганизация, хемилуминесценция, миокард, экспериментальные опухоли, нейрогенная боль.

The purpose of the study was to reveal the processes of mitochondrial self-organization as signal criteria of the energetic, metabolic and structure homeostasis under extreme loads associated with a combination of pathological processes - chronic neurogenic pain and tumor growth. Light, dark-field and polarization microscopy of the suspension of mitochondria isolated from homogenate tissues of various organs (the liver, myocardium, brain) registered the effect of chemiluminescence of mitochondrial associates characteristic of cardiomyocytes only. The observed photo-effect is considered to be associated with a special form of intermitochondrial contacts in associates of highly-energized myocardial cell substances. This is determined by the fact that chronic pain stimulation of tumor growth induces the most appropriate way to energy supply through the self-organization of long electron transport paths, which leads to the self-assembly of large multi-dimensional aggregations of mitochondria with a high degree of energization.

The results demonstrated that normally in animals without tumor growth and concomitant pain, the formation of small granules of associates creating a thread-like structure is visualized in smears of the suspension of the liver and brain mitochondria. Significant areas of associates forming complexes and a spatially complicated self-organized network structure were noted only in preparations of mitochondria of cardiomyocytes in animals with tumor growth and combined chronic pain.

Keywords: mitochondria, self-organization, chemiluminescence, myocardium, experimental tumors, neurogenic pain.

Введение

По данным существующих исследований, распространенность хронических болевых синдромов достигает не менее 40 % и имеет тенденцию к неуклонному росту. Симптомы боли у онкологических больных представляют одну из распространенных форм патологических проявлений злокачественных опухолей, прогрессия которых у 65–90 % усиливает и учащает боль. Не менее агрессивным влиянием обладает и проводимая противоопухолевая терапия, в процессе которой манифестация болевого синдрома наблюдается у 30–50 % пациентов. Очевидность вза-

имосвязи между обоими процессами несомненна, однако до сих пор не установлены основные патогномичные признаки их интегративного влияния на состояние организма и его систем.

Одним из значимых сигнальных путей перехода организма в экстремальное патофизиологическое состояние, включая хроническую боль и развитие злокачественной опухоли, на клеточном уровне является активизация сукцинатоксидазной системы. Впервые роль такого перехода в митохондриях была обнаружена М.Н. Кондрашовой [1], которая показала неоспоримую значимость интенсивности клеточного дыхания при изменении физиологического

состояния организма в условиях гипоксии, чрезмерных физических нагрузок, ионизирующего излучения и других стрессовых факторов среды. Митохондриальный подход оказался весьма продуктивным, поскольку подтверждал фундаментальную закономерность иерархически организованных систем, высказанную Е.Е. Сельковым [2], когда физиологические и биохимические регуляторные системы высшего уровня организации поддерживают, многократно усиливают и упреждают регуляторные связи, возникшие на низшем стехиометрическом уровне организации метаболизма [3].

Основным источником свободных радикалов являются митохондрии. Протекающие в них окислительные процессы и последствия нарушений этих процессов являются крайне существенными для клеточной патофизиологии. При патологических состояниях происходит распад митохондриальной сети, что морфологически проявляется в виде отсутствия нитчатых структур и возникновения мелких одиночных гранул [4, 5]. Установлено, что усиление свободнорадикальных процессов связано с развитием митохондриальной дисфункции, сопровождающейся увеличением концентрации ионов кальция в цитозоле. При этом происходят изменения липидного состава митохондриальных мембран, подавление активности дыхательных комплексов и высвобождение из митохондрий танатогенных факторов коллективного поведения митохондрий в условиях патологических нагрузок [6–8].

На протяжении многих лет развиваются представления об организации митохондрий в ассоциаты для регуляции клеточного дыхания, а также рассматриваются условия их самоорганизации в сложные трехмерные структуры, что является ключевым принципом целесообразности [9]. Разработаны экспериментальные модели *in vitro*, позволяющие оценить структурно-функциональную организацию ассоциатов и механизмы их образования, включая различные патологические условия: нейродегенеративные, сердечно-сосудистые заболевания, болезни обмена веществ, канцерогенез, боль и т.д. [10, 11]. Однако исследования процессов самоорганизации митохондрий в контексте развития злокачественных опухолей на фоне хронической боли отсутствуют, что не позволяет получить полное представление о взаимосвязи этих процессов.

Цель данного исследования – изучение процессов самоорганизации ассоциатов митохондрий и проявления энергетического потенциала в зависимости от тканевой принадлежности в условиях роста злокачественной опухоли, модулированного хронической нейрогенной болью (ХНБ).

Материалы и методы

Объектом исследования послужили мыши линии C57BL/6, самцы и самки (n=28). Модель ХНБ у животных была создана компрессионным путем при проведении операции двустороннего наложения лигатуры на седалищный нерв. Моделью злокачественной опухоли служила высокоагрессивная быстрорастущая меланома B16/F10, трансплантированная путем подкожного введения клеточного штамма. Перевивку опухоли осуществляли спустя 4 недели от момента формирования болевого синдрома. На этапах прогрессии опухоли (1–3-я неделя) проводили декаптацию животных, некропсию и гомогенизацию ткани выделенных органов (печень, сердце, мозг).

Выделение митохондрий выполняли по стандартной методике [12], среда выделения – фосфатный буфер с ЭДТА и сахарозой. Полученную суспензию митохондрий изучали при помощи методов световой, темновой и поляризационной микроскопии на микроскопе Leica DM LS2 с компьютерным обеспечением, фото- и видеосъемкой. При предварительной микроскопии митохондрий наносили каплю нативной суспензии на предметное стекло, не накрывая покровным стеклом. Для основного исследования процессов самоорганизации митохондрий из капли нативной суспензии делали мазки, которые окрашивали по Паппенгейму, а также спиртовым раствором фуксина с добавлением капли нашатырного спирта, наносимой на мазок под контролем микроскопии, фото- и видеорегистрации.

Результаты исследования

После проведения окрашивания по Паппенгейму без предварительной фиксации мазков суспензии митохондрий, выделенных из печени, мозга и сердца мышей линии C57BL/6, находившихся в состоянии хронической боли на первой неделе опухолевого роста, выполненная микроскопия в светлом поле не была информативной. При выполнении микроскопии в темном поле наблюдались свечение множества мелких объектов, формирование областей с высокой плотностью их содержания вплоть до крупных сгустков. Это свечение было свойственно органическим компонентам гранул и указывало на образование ассоциатов митохондрий (рис. 1).

Известно, что темнопольная микроскопия применяется для обнаружения в неокрашенных (нативных) препаратах ряда бактерий (возбудители сифилиса, возвратного тифа, лептоспироза). Исследования показали, что с помощью этого метода при

большом увеличении можно увидеть свечение выделенных органических гранул клеточных оргanelл – митохондрий, образующих ассоциаты разной величины. Однако исследование в темном поле зрения не позволяет хорошо изучить их форму и тем более внутреннее строение [9, 13]. Для этой цели используют электронную микроскопию или световую в сочетании со специальными методами окрашивания.

Далее проводили окрашивание фуксином мазков суспензий митохондрий, выделенных из печени, мозга и сердца, во всех исследуемых группах животных (1-я – интактные; 2-я – с опухолевым ростом на фоне хронической боли; 3-я – с хроническим болевым синдромом без опухоли; 4-я – с опухолевым ростом без болевого синдрома). При микроскопии суспензии митохондрий, выделенных из гомогенатов печени и мозга интактных животных, на препарате, окрашенном фуксином, четко просматривались поля мелких образований однородных мелкодисперсных гранул одинакового размера, а также глыбок красителя различной формы. При нанесении нашатырного спирта наблюдалось розово-красное окрашивание, при этом были хорошо различимы единичные тонкие нити митохондриальных ассоциатов.

В отличие от препаратов печени и мозга в суспензии митохондрий, выделенных из гомогенатов ткани сердца интактных животных, наблюдались значительные участки ассоциатов митохондрий с крупной разветвленной сетеподобной структурой. Особенно это было заметным при нанесении нашатырного спирта, когда наблюдали розовое окрашивание разветвленных сетевых структур, образованных контактным соединением отдельных нитей ассоциатов (рис. 2).

Согласно [14], процесс самоорганизации митохондрий в сеть или другие структуры может протекать не только в живых клетках, но также и в выделенных митохондриях, так как ассоциаты, распавшиеся при гомогенизации тканей, частично реконструируются в конечной суспензии. В работах М.Н. Кондрашовой [1, 11] продемонстрированы экспериментальные модели, позволяющие количественно изучить степень ассоциации митохондрий. Информация о том, какие условия выделения (температура, ионный состав, pH) в наибольшей степени способствуют сохранению митохондриальных связей, достаточно противоречива [4, 5, 14].

При исследовании суспензии митохондрий, выделенных из гомогената печени и мозга животных-опухоленосителей через 2 недели роста меланомы B16/F10 в условиях хронической боли, четко выраженных самоорганизованных сетей ассоциированных митохондрий отмечено не было. Однако при добавлении нашатырного спирта визуализировались

крупные гранулы неправильной формы с розово-красным окрашиванием, что, по-видимому, указывало на активацию комплексобразования митохондрий.

При микроскопии препаратов суспензии митохондрий, выделенных из ткани сердца животных через 2 недели роста опухоли на фоне хронической боли, было отмечено наличие четко выраженных крупных агрегаций митохондрий на фоне густо расположенных мелких ассоциатов.

После нанесения на препарат нашатырного спирта наблюдали розово-красное окрашивание, при котором четко вырисовывались обширные участки формирования ассоциатов митохондрий в виде удлинённых нитчатых структур, образующих по всем полям зрения самоорганизованную разветвленную сеть (как и у интактных животных).

Необходимо особо отметить, что кондриом кардиомиоцитов представлен тремя популяциями митохондрий, две из которых расположены около ядра и под сарколеммой, 3-я – межфибриллярные митохондрии. Будучи лабильными структурами, они в числе первых реагируют на колебания условий внутриклеточной среды и подвергаются структурным и функциональным изменениям, причем различные популяции могут реагировать по-разному [15]. На критическое или физиологическое состояние клетки могут указывать также и размеры митохондрий. При патологиях описано как появление мегамитохондрий, достигающих в длину нескольких саркомеров, так и наличие множества мелких митохондрий, расположенных неорганизованно. Предполагается, что эти явления могут быть индуцированы увеличением концентрации кальция и/или действием активных форм кислорода [15, 16].

В проведенном нами эксперименте дальнейшее наблюдение за ходом трансформации митохондриома в препаратах из тканей сердца позволило выявить существенное изменение энергизации митохондрий, индуцированное повторным добавлением нашатырного спирта, диссоциирующего с образованием катионных $(\text{NH}_4)^+$ и анионных $(\text{OH})^-$ групп (рис. 3).

В результате добавления нашатырного спирта и повышения концентрации гидроксильных ионов зафиксирован процесс холодного свечения высокой яркости – ХЛ образцов суспензии митохондрий, выделенных из гомогената сердца животных в состоянии ХНБ в период второй недели роста опухоли. Задокументированный видео- и фотокамерой феномен свечения заключался в образовании дислоцирующихся в поле зрения укрупненных комплексов – ассоциатов линейной формы, характеризующихся ярким вспыхиванием сначала в центре движущейся структуры, а затем быстрым распространением оп-

тического сигнала к краям и 5–10-секундным интенсивным белым свечением всей структуры с постепенным угасанием свечения и оседанием на субстратный слой. Помимо локализованных крупных вспышек ХЛ на препарате митохондрий сердца, представляющем собой обширные поля мелких гранул ассоциатов митохондрий, было отмечено свечение в виде точечного реагирования субстрата.

Достаточно продолжительное и интенсивное свечение биоматериала, индуцированного нанесением нашатырного спирта, в данном случае было отчетливо различимо при помощи светового микроскопа без использования приборов, чувствительных к ХЛ (например, хемилюминометр), что может указывать на критически высокую активность прооксидантных процессов и низкую антиоксидантную емкость данного биоматериала.

Этот эффект проявился только в ассоциатах митохондрий сердца у животных при ХНБ и после двух недель роста злокачественной опухоли, когда перестройка энергетического метаболизма сопровождается напряжением процессов окислительного фосфорилирования и дыхания митохондрий. Добавление функциональной нагрузки в виде перекрёстного патологического процесса опухолевого роста могло усилить и ускорить энерготраты в энергетических системах кардиомиоцитов, блокирование систем энергообеспечения путем нарастания низкоэнергетического сдвига, увеличения щавелево-уксусного ограничения (1–4-я степень) и возрастания свободнорадикальной активности, как это было показано при химическом канцерогенезе [17].

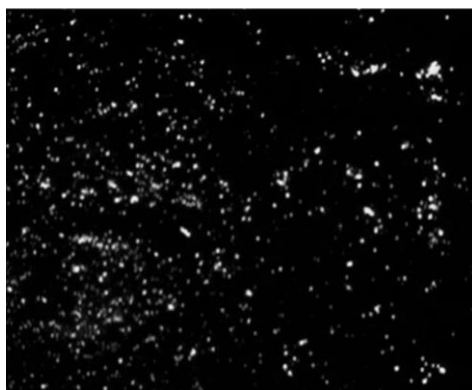


Рис. 1. Суспензия митохондрий, выделенных из печени мыши линии C57BL/6, состояние хронической боли, первая неделя опухолевого роста, микроскопия в темном поле. Свечение органического субстрата – ассоциатов митохондрий. Ув.×90
/ Fig.1. Suspension of mitochondria isolated from the liver of a C57BL/6 mouse, chronic pain, first week of tumor growth, dark-field microscopy. Fluorescence of organic substrate - associates of mitochondria. H. ×90

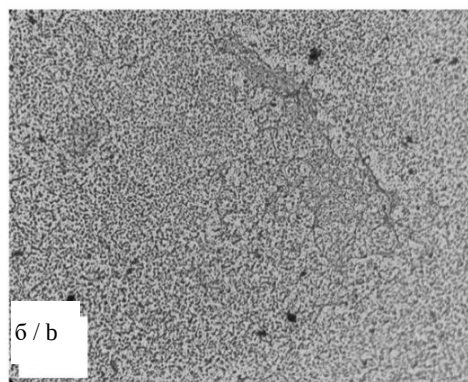
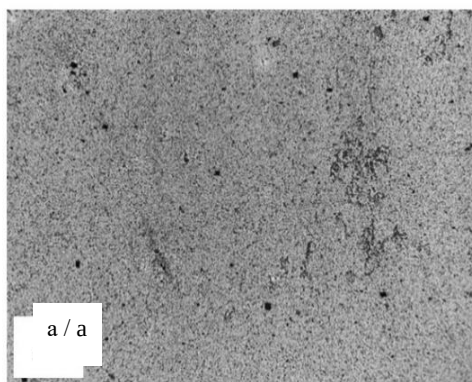


Рис. 2. Суспензия митохондрий, выделенных из гомогената сердца, без нашатырного спирта (а) и после добавления нашатырного спирта (б). Мыши линии C57BL/6, интактные животные. Образование сетевой структуры ассоциатов митохондрий. Ув.×90
/ Fig. 2. Suspension of mitochondria isolated from heart homogenate, without liquid ammonia (a) and after adding liquid ammonia (b). C57BL/6 mice, intact animals. Formation of network structure of mitochondrial associates. H. ×90

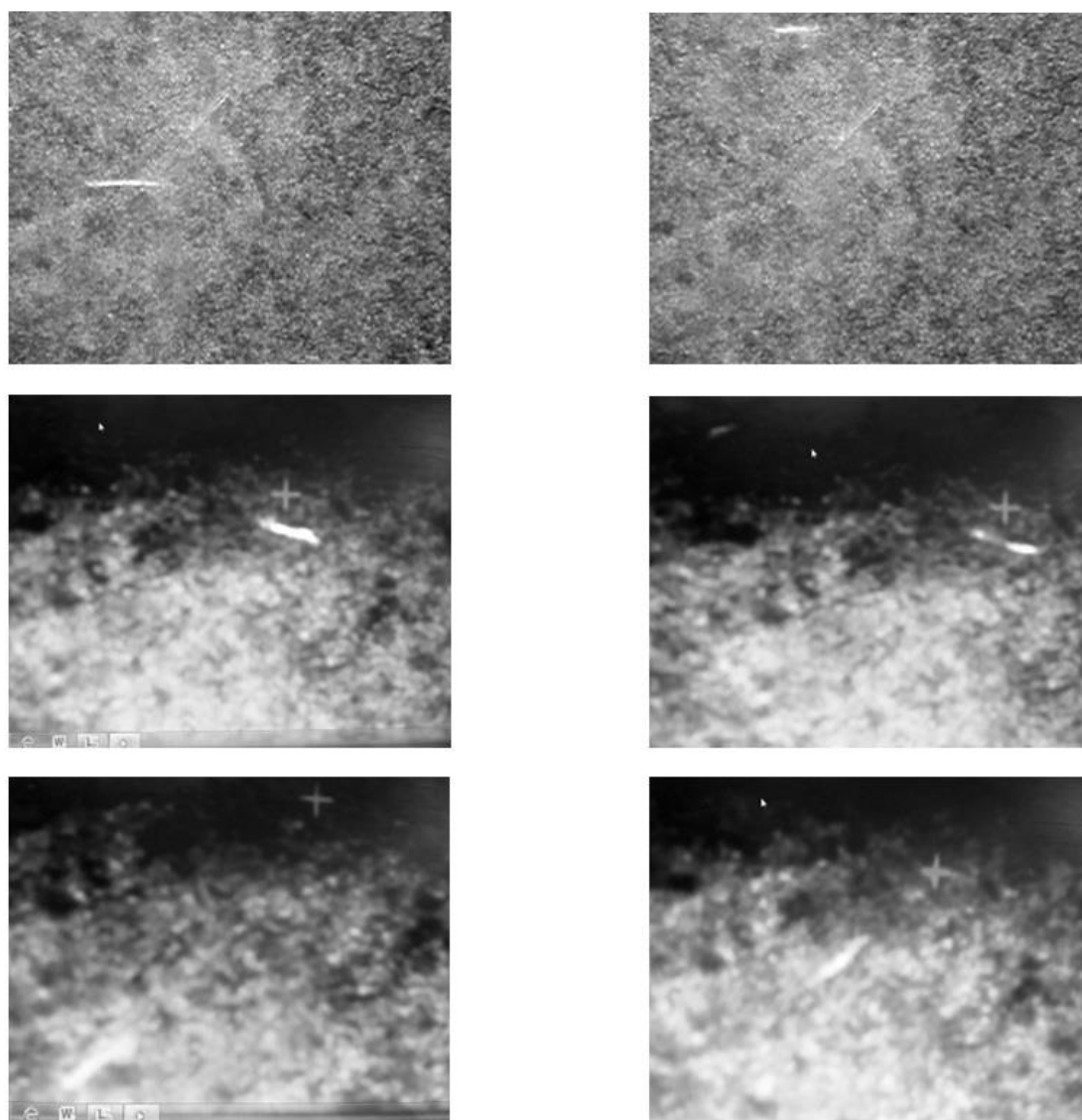


Рис. 3. Суспензия митохондрий, выделенных из гомогената сердца после добавления нашатырного спирта. Мыши линии C57BL/6, состояние хронической боли, вторая неделя опухолевого роста. Наблюдаются эффекты холодного свечения – хемолуминесценции (ХЛ) с дислокацией комплексов – ассоциатов митохондрий сердца. Ув.×90 / Fig. 3. Suspension of mitochondria isolated from heart homogenate after adding liquid ammonia. C57BL/6 mice, chronic pain, second week of tumor growth. Effects of cold luminescence - chemoluminescence with dislocation of heart mitochondrial associate complexes are observed. Н. ×90

Дисбаланс энергетических процессов, сопряженный с поэтапной перестройкой биохимической среды и накоплением продуктов перекисного окисления липидов [7], определил наиболее чувствительное к нарушению свободнорадикальных процессов звено. По-видимому, выраженное сетевое комплексообразование ассоциатов митохондрий кардиоцитов в условиях роста опухоли на фоне болевого синдрома, с критически высокой прооксидантной активностью способствовало реализации эффекта химической реакции свечения на уровне электронных систем хондриома. Зафиксированный эффект ХЛ в условиях сочетания ХНБ с опухолевым

ростом убедительно свидетельствовал о значительной глубине молекулярно-клеточных нарушений и высокой энергетической стоимости обеспечения кардиоцитов в сравнении с монофакторным патологическим процессом.

При исследовании образцов суспензии митохондрий, выделенных из тканей групп животных с опухолью без болевого воздействия, испытывающих ХНБ, но без опухоли, не было зафиксировано спонтанной или индуцированной люминесценции, а также каких-либо других дифференциальных признаков, позволяющих выделить и классифицировать определенным образом ту или иную группу.

Заключение

Согласно [4, 5], в норме митохондрии в клетках образуют митохондриально-ретикулярную сеть. При патологических состояниях происходят ее разрушение, а также диссоциация крупных митохондриальных комплексов и ассоциатов. При выделении нативных митохондрий из гомогенатов тканей (печень, мозг, сердце) у животных в разном функциональном состоянии (интактные, с ХНБ, ростом опухоли, сочетанием патологических процессов) была подтверждена обратимость их самоорганизации и образование комплексов-ассоциаций. Полученные нами результаты свидетельствуют, что в норме у животных без опухолевого роста и сопутствующего болевого синдрома в мазках суспензии митохондрий печени и мозга визуализируется образование мелких гранул ассоциатов нитевидной структуры. Только в препаратах митохондрий кардиомиоцитов у животных с ростом опухоли на фоне ХНБ можно было видеть значительные площади ассоциатов, образующих комплексы и пространственно усложненную самоорганизованную сетевую структуру. Все это указывает на важную роль заряда поверхности мембран митохондрий в образовании межмитохондриальных контактов. Внесение активно диссоциирующих реагентов (NH_4OH) вызывало на основе доминирования свободнорадикальных процессов электрохимические реакции, сопровождающиеся ярким свечением – ХЛ, зафиксированной видео- и фотокамерой.

Происходящие *in vitro* события указывали на крайне высокое напряжение энергетического метаболизма при росте опухолей, модифицированного ХНБ. Отмеченный нами эффект ХЛ ассоциатов митохондрий сердца, индуцированный NH_4OH , мы связываем с имеющимися в литературе представлениями об особой структуре митохондриальных цепей кардиомиоцитов [18]. Их высокоорганизованная ультраструктура, полученная путем самосборки из множества отдельных митохондрий, имеет уникальную систему межмитохондриальных контактов, которые связывают митохондрии в трехмерную цепь. По мнению автора, такой тип хондриома служит целям синхронного сокращения всех саркомеров в миофибриллах кардиоцитов. Именно такую кооперативную координацию могут обеспечивать множественные митохондриальные контакты.

Пример использования технологии окраски родамином 123 с облучением лазерным микропучком доказывает, что гашение свечения группы митохондрий, связанных межмитохондриальными контактами, происходит вследствие электрического

пробоя митохондриальной мембраны. Такие контакты, как клеммы, объединяют в единую цепь потенциалы одиночных митохондрий. Это говорит о чрезвычайно важной биологической роли этих структур в постоянно и интенсивно работающих кардиомиоцитах. Можно полагать, что увеличение числа межмитохондриальных контактов в клетках кардиомиоцитов при высоких функциональных нагрузках способствует усилению проводниковой системы в условиях ХНБ и роста опухоли. Болевая стимуляция, модифицируя патогенез опухоли, детерминирует единственный путь энергообеспечения через самоорганизацию длинных электронно-транспортных путей, трансмембранного перемещения протонов и повышения разности потенциалов на мембране с последующими фотоэффектами свечения в реактивной среде, активированной NH_4OH . Укрупненность размеров перемещающихся в пространстве светящихся агрегаций указывает на их сложную многомерную организацию. Очевидно, критически высокая нагрузка сердца в условиях интеграции ХНБ и роста опухоли реализуется благодаря высокому уровню самоорганизации митохондриома как ключевого фактора жизнеобеспечения.

Литература

1. Kondrashova M.N. The Structural and Kinetic Organization of the Tricarboxylic Acid Cycle during the Active Functioning of Mitochondria // *Biophysics*. 1989. № 34 (3). P. 450–459.
2. Сельков Е.Е. Анализ иерархической организации полиферментных систем. Методологические и теоретические проблемы биофизики. М.: Наука, 1979. С. 140–161.
3. Kit O.I., Shikhlyarova A.I., Maryanovskaya G.Ya., Barsukova L.P., Kuzmenko T.S., Zhykova G.V. Theory of health: successful translation into the real life. General biological prerequisites // *Cardiometry*. 2015. № 7. P. 11–17.
4. Егорова М.В., Афанасьев С.А. Выделение митохондрий из клеток и тканей животных и человека: современные методические приемы // *Сиб. мед. журн.* 2011. Т. 26, № 1. С. 22–28.
5. Захарченко М.В., Темнов А.В., Кондрашова М.Н. Влияние карнозина на самоорганизацию ансамблей митохондрий в гомогенате печени крысы // *Биохимия*. 2003. № 68 (9). С. 1226–1230.
6. Темнов А.В. Самоорганизация ассоциатов митохондрий и влияние отрицательных аэроионов воздуха // *Биофизика*. 2000. Т. 45, № 1. С. 83–88.
7. Франциянц Е.М. Перекисное окисление липидов в патогенезе опухолевой болезни: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Ростов н/Д., 1997. 50 с.

8. Фрелих Г.А., Полomeева Н.Ю., Васильев А.С., Удут В.В. Современные методы оценки функционального состояния митохондрий // Сиб. мед. журн. 2013. Т. 28, № 3. С. 7–13.
9. Скулачев В.П. Эволюция биологических механизмов запасаения энергии // Соросовский образ. журн. 1997. № 5. С. 11–19.
10. Зеркаленкова Е.А. Влияние малой ГТФазы Rac1 на взаимодействие виментиновых промежуточных филаментов с митохондриями: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2015. 140 с.
11. Кондрашова М.Н., Сирота Т.В., Темнов А.В., Белоусова Ж.В., Петруняк В.В. Обратимая организация митохондрий в ассоциаты как фактор регуляции дыхания // Биохимия. 1997. Т. 62, № 6. С. 154–163.
12. Маевский Е.И., Гришина Е.В., Розенфельд А.С., Зякун А.М., Верещagina И.М., Кондрашова М.Н. Анаэробное образование сукцината и облегчение его окисления – возможные механизмы адаптации клетки к кислородному голоданию // Биофизика. 2000. Т. 45, № 3. С. 509–513.
13. Сапон Н.А., Читаева Г.Е. Экспериментальное моделирование и оценка интенсивности невропатического болевого синдрома // Укр. нейрохирург. журн. 2006. № 1. С. 111–117.
14. Степанов А.В., Байдюк Е.В., Сакута Г.А. Характеристики митохондрий кардиомиоцитов крыс с хронической сердечной недостаточностью // Цитология. 2016. Т. 58, № 11. С. 875–882.
15. Судаков Н.П., Никифоров С.Б., Константинов Ю.М., Якубов Л.А., Новикова Н.А., Карамышева А.Н. Механизмы участия митохондрий в развитии патологических процессов, сопровождающихся ишемией и реперфузией // Бюл. ВСНЦ СО РАМН. 2006. № 5. С. 332–336.
16. Skulachev V.P. Mitochondrial filaments and clusters as intracellular power-transmitting cables // Trends Biochem Sci. 2001. Vol. 26 (1). P. 23–29.
17. Шихлярова А.И. Роль биотропных параметров электромагнитных полей в повышении неспецифической противоопухолевой резистентности : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Ростов н/Д., 2001. 50 с.
18. Ченцов Ю.С. Цитология с элементами целлюлярной патологии : учеб. пособие для университетов и медицинских вузов. М.: МИА, 2010. 361 с.
19. Kit O.I., Shikhlyarova A.I., Maryanovskaya G.Ya., Barsukova L.P., Kuzmenko T.S., Zhykova G.V. Theory of health: successful translation into the real life. General biological prerequisites. *Cardiometry*. 2015, No. 7, pp. 11–17.
20. Egorova M.V., Afanas'ev S.A. Vydelenie mitokhondrii iz kletok i tkanei zhivotnykh i cheloveka: sovremennye metodicheskie priemy [Isolation of mitochondria from cells and tissues of animals and human: modern methodical approaches]. *Sib. med. zhurn.* 2011, vol. 26, No. 1, pp. 22–28.
21. Zakharchenko M.V., Temnov A.V., Kondrashova M.N. Vliyanie karnozina na samoorganizatsiyu ansamblei mitokhondrii v gomogenate pecheni krysy [Effect of carnosine on self-organization of mitochondrial assemblies in rat liver homogenate]. *Biokhimiya*. 2003, No. 68 (9), pp. 1226–1230.
22. Temnov A.V. Samoorganizatsiya assotsiatov mitokhondrii i vliyanie otritsatel'nykh aerionov vozdukh [Self-organization of mitochondrial associates and effects of negative air ions]. *Biofizika*. 2000, vol. 45, No. 1, pp. 83–88.
23. Frantsiyants E.M. *Perekisnoe okislenie lipidov v patogeneze opukholevoi bolezni*: avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk [Lipid peroxidation in the pathogenesis of tumor disease]. Rostov-on-Don, 1997, 50 p.
24. Frelikh G.A., Polomeeva N.Yu., Vasil'ev A.S., Udut V.V. Sovremennye metody otsenki funktsional'nogo sostoyaniya mitokhondrii [Modern methods for assessing the functional state of mitochondria]. *Sib. med. zhurn.* 2013, vol. 28, No. 3, pp. 7–13.
25. Skulachev V.P. Evolyutsiya biologicheskikh mekhanizmov zapasaniya energii [Evolution of biological mechanisms of energy storage]. *Sorosovskii obraz. zhurn.* 1997, No. 5, pp. 11–19.
26. Zerkalenskova E.A. Vliyanie maloi GTFazy Rac1 na vzaimodeistvie vimentinovykh promezhutochnykh filamentov s mitokhondriyami: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk [Effect of small GTPase Rac1 on the interaction of vimentin intermediate filaments with mitochondria]. Moscow, 2015, 140 p.
27. Kondrashova M.N., Sirota T.V., Temnov A.V., Belousova Zh.V., Petrunyaka V.V. Obratimaya organizatsiya mitokhondrii v assotsiaty kak faktor regul'yatsii dykhaniya [Reversible organization of mitochondria into associates as a factor in the regulation of respiration]. *Biokhimiya*. 1997, vol. 62, No. 6, pp. 154–163.
28. Maevskii E.I., Grishina E.V., Rozenfel'd A.S., Zyakun A.M., Vereshchagina I.M., Kondrashova M.N. Anaerobnoe obrazovanie suksinata i oblegchenie ego okisleniya – vozmozhnye mekhanizmy adaptatsii kletki k kislorodnomu golodaniyu [Anaerobic formation of succinate and facilitation of its oxidation - possible mechanisms of cell adaptation to oxygen deficiency]. *Biofizika*. 2000, vol. 45, No. 3, pp. 509–513.
29. Sapon N.A., Chitaeva G.E. Eksperimental'noe modelirovanie i otsenka intensivnosti nevropaticheskogo

References

bolevogo sindroma [Neurological pain syndrome experimental design and intensity estimation]. *Ukr. neirokhirurg. zhurn.* 2006, No. 1, pp. 111-117.

14. Stepanov A.V., Baidyuk E.V., Sakuta G.A. Kharakteristiki mitokhondrii kardiomiotsitov kry's s khronicheskoi serdechnoi nedostatochnost'yu [Characteristics of rat cardiomyocytes mitochondria in chronic heart failure]. *Tsitologiya.* 2016, vol. 58, No. 11, pp. 875-882.

15. Sudakov N.P., Nikiforov S.B., Konstantinov Yu.M., Yakubov L.A., Novikova N.A., Karamysheva A.N. Mekhanizmy uchastiya mitokhondrii v razvitii patologicheskikh protsessov, soprovozhdayushchikhsya ishemiei i reperfuziei [The mechanisms of mitochondria participation in development of different pathologic processes associ-

ated with ischemia and reperfusion]. *Byul. VSNTs SO RAMN.* 2006, No. 5, pp. 332-336.

16. Skulachev V.P. Mitochondrial filaments and clusters as intracellular power-transmitting cables. *Trends Biochem Sci.* 2001, vol. 26 (1), pp. 23-29.

17. Shikhlyarova A.I. Rol' biotropnykh parametrov elektromagnitnykh polei v povyshenii nespetsificheskoi protivopukholevoi rezistentnosti : avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk [The role of biotropic parameters of electromagnetic fields in enhancing nonspecific antitumor resistance]. Rostov-on-Don, 2001, 50 p.

18. Chentsov Yu.S. *Tsitologiya s elementami tsellyul'arnoi patologii* [Cytology with elements of cellulite pathology]. A textbook for universities and medical schools. Moscow: MIA, 2010, 361 p.

Поступила в редакцию / Received

1 марта 2019 г. / March 1, 2019

УДК 631.46; 57.044

DOI 10.23683/0321-3005-2019-2-106-111

ИЗМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕРОПЕСКОВ ПОСЛЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НАНОЧАСТИЦАМИ Cu, Zn И Ni*

© 2019 г. А.Н. Тимошенко¹, С.И. Колесников¹, К.Ш. Казеев¹, Ю.В. Акименко¹

¹Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

THE CHANGE IN THE BIOLOGICAL INDICATORS OF GRAY SAND AFTER CONTAMINATION WITH NANOPARTICLES Cu, Zn AND Ni

A.N. Tymoshenko¹, S.I. Kolesnikov¹, K.Sh. Kazeev¹, Yu.V. Akimenko¹

¹Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Тимошенко Алена Николаевна – аспирант, кафедра экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, пр. Стачки, 194/1, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: aly9215@mail.ru

Alena N. Tymoshenko - Postgraduate, Department of Ecology and Natural Management, Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Stachki Ave, 194/1, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: aly9215@mail.ru

Колесников Сергей Ильич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, пр. Стачки, 194/1, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: kolesnikov@sfedu.ru

Sergei I. Kolesnikov - Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of Ecology and Natural Management Department, Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Stachki Ave, 194/1, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: kolesnikov@sfedu.ru

Казеев Камил Шагидулович – доктор географических наук, профессор, кафедра экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, пр. Стачки, 194/1, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: Kamil_kazeev@mail.ru

Kamil Sh. Kazeev - Doctor of Geography, Professor, Department of Ecology and Natural Management, Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Stachki Ave, 194/1, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: Kamil_kazeev@mail.ru

Акименко Юлия Викторовна – кандидат биологических наук, доцент, кафедра экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, пр. Стачки, 194/1, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: akimenkojuliya@mail.ru

Yuliya V. Akimenko - Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Ecology and Natural Management, Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Stachki Ave, 194/1, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: akimenkojuliya@mail.ru

Быстрое развитие и применение нанотехнологий привели к растущей обеспокоенности экологическими последствиями выпущенных наноматериалов и потенциальным рискам. Информация о воздействии наноматериалов на окружающую среду, в том числе на почву, по-прежнему недостаточна. Лабораторное исследование показало, что загрязнение серопесков наночастицами меди, никеля и цинка ухудшает их биологические свойства: снижаются общая численность бактерий и обилие бактерий рода *Azotobacter*, активность каталазы, дегидрогеназ, всхожесть семян и длина корней редиса. Наиболее сильное воздействие оказали наночастицы меди, наименее токсичны наночастицы никеля.

Стимулирующего действия исследуемых веществ на биологические свойства серопесков не обнаружено.

В наибольшей степени ухудшаются микробиологические и фитотоксические свойства серопесков. Ферментативная активность менее чувствительна к загрязнению наночастицами меди, цинка и никеля.

Ключевые слова: наночастицы, серопески, токсичность, почва, чувствительность, устойчивость.

* Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (5.5735.2017/8.9) и гранта Президента Российской Федерации (НШ-3464.2018.11).

*The rapid development and application of nanotechnology has led to growing concern about the environmental impacts of released nanomaterials and potential risks. Information on the impact of nanomaterials on the environment, including soil, is still insufficient. The laboratory study showed that the contamination of gray sand with copper, nickel and zinc nanoparticles worsens their biological properties: the total number of bacteria, the abundance of bacteria of the genus *Azotobacter*, catalase activity, dehydrogenase activity, seed germination and the length of radish roots are reduced. The strongest effect of nanoparticles of copper was the least toxic of the nickel nanoparticles.*

Stimulating action of the test substances on the biological properties of gray sand was not observed.

To the greatest extent deteriorated microbiological, and phytotoxic properties of gray sand, and enzymatic activity is less sensitive to contamination by nanoparticles of copper, zinc and nickel.

Keywords: nanoparticles, gray sand, toxicity, soil, sensitivity, stability.

Введение

В последние годы все большее распространение получает развитие отрасли нанотехнологий. В связи с тем, что наноматериалы являются новым классом продукции, характеристика их потенциальной опасности для здоровья человека и состояния среды обитания является крайне актуальной. Инженерные наночастицы уже широко используются в электронике, пищевых технологиях, энергетике фармацевтических препаратов. Их оценочная глобальная рыночная стоимость €20 млрд [1]. Хотя наночастицы имеют много полезных применений, есть опасения по поводу того, что может произойти в случае попадания их в окружающую среду. Одним из основных рецепторов наночастиц является почва. Однако о возможном воздействии наночастиц на химические, физические и биологические свойства почв известно на настоящий момент немного.

Проблеме оценки влияния наночастиц на компоненты окружающей среды посвящается все больше работ. Исследовано влияние нанопорошков на растения [2–5], животных [6–9], бактерии [10–13]. Влияние наночастиц на ферменты исследовано в меньшей степени [14–16].

Цель исследования – сравнение устойчивости биологических показателей серопесков после загрязнения наночастицами Cu, Zn и Ni.

Объекты и методы исследования

Были проведены лабораторные модельные эксперименты по загрязнению чернозема обыкновенного супесчаного (серопесков) наночастицами меди, никеля и цинка. Почва отобрана из пахотного слоя (0–25 см) чернозема (Россия, Ростовская область, ст. Верхнекундрюченская, 47°46'0.57"N 40°51'41.69"E).

Серопески характеризуются средним содержанием гумуса в верхнем горизонте – 2,3 %, нейтральной реакцией среды – pH = 6,8, супесчаным грану-

лометрическим составом, плохой оструктуренностью, средней биологической активностью. Общая численность бактерий – 2,6 млрд/г почвы, активность каталазы – 4,0 мл O₂/г почвы за 1 мин, активность дегидрогеназы – 12,3 мг ТФФ/10 г почвы за 24 ч, обилие бактерий рода *Azotobacter* – 100 % комочков обрастания.

Нанопорошки Cu, Ni и Zn вносили в почву в концентрациях 100, 1000 и 10000 мг/кг.

Загрязненную почву инкубировали в пластиковых сосудах при комнатной температуре (20 – 22 °C) и оптимальном увлажнении (60 % от полевой влагоемкости). Повторность – трехкратная. Биологические свойства серопесков определяли через 10 сут после загрязнения.

После инкубации всю массу почвы извлекали из вегетационного сосуда и перемешивали; тем самым получали средний образец, из которого отбирали пробы на определение биологических показателей – по 3 пробы из каждого сосуда.

Определяли общую численность бактерий, обилие бактерий рода *Azotobacter*, активность каталазы и дегидрогеназ, фитотоксические свойства почвы. Общую численность бактерий в почве учитывали методом люминесцентной микроскопии (n = 720: 3 инкубационных сосуда с почвой × 3 образца почвы × 4 квадратных сантиметра на предметных стеклах × 20 полей зрения); *Azotobacter* – методом комочков обрастания на среде Эшби (n = 180: 3 инкубационных сосуда с почвой × 3 образца почвы в чашках Петри × 20 комочков обрастания); активность каталазы – по скорости разложения перекиси водорода (n = 36: 3 инкубационных сосуда с почвой × 3 образца почвы × 4 аналитические повторности); активность дегидрогеназ – по скорости превращения хлорида трифенилтетразолия в трифенилформаза (n = 36: 3 инкубационных сосуда с почвой × 3 образца почвы × 4 аналитические повторности); о фитотоксичности почв судили по всхожести семян редиса (n = 180: 3 инкубационных сосуда с почвой × 3 образца почвы в чашках Петри × 20 семян редиса).

Результаты исследования и их обсуждение

Загрязнение серопесков наночастицами Cu, Ni и Zn во всех вариантах эксперимента вызвало ухудшение биологических свойств (рис. 1). Снижались все биологические показатели: общая численность бактерий, обилие бактерий рода *Azotobacter*, активность каталазы и дегидрогеназ, всхожесть семян редиса. Степень ухудшения биологических свойств зависела от концентрации веществ в почве и от природы металла. Наиболее чувствительными к загрязнению наночастицами меди оказались фитотоксические показатели (всхожесть и длина корней редиса), наименее – ферментативные свойства серопесков (активность каталазы и дегидрогеназ).

Наночастицы цинка оказали чуть меньшее влияние на биологические свойства серопесков, чем наночастицы меди. Наиболее сильно загрязнение наночастицами цинка повлияло на фитотоксические (всхожесть и длина корней редиса) и микробиологические свойства (общая численность бактерий и обилие бактерий рода *Azotobacter*).

Наночастицы никеля оказали также негативное влияние на биологические свойства серопесков. Наиболее сильно снизились при этом, как и в случаях загрязнения наночастицами меди и цинка, всхожесть и длина корней редиса, а также общая численность бактерий. Активность ферментов снижалась в наименьшей степени.

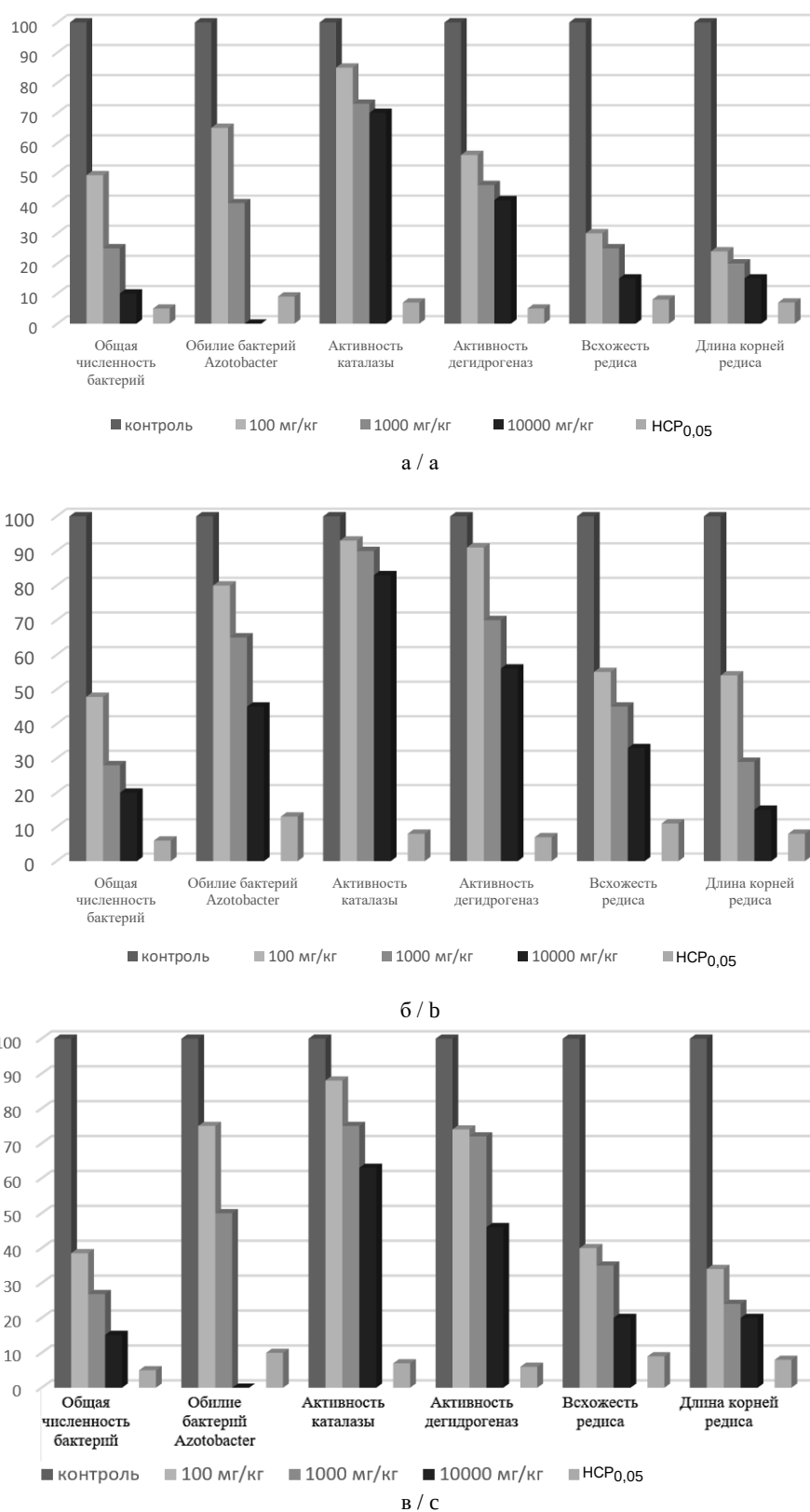


Рис. 1. Влияние наночастиц меди (а), цинка (б), никеля (в) на биологические показатели серопесков, % от контроля / Fig. 1. The effect of copper (a), zinc (b), nickel (c) nanoparticles on biological indicators of gray sand, % of control

На основе вышеперечисленных биологических показателей определяется интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) почвы [17], дающий информативную картину протекающих в почве биологических процессов и её экологического состояния (рис. 2).

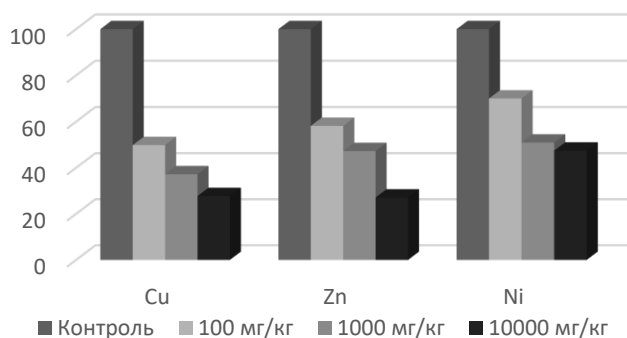


Рис. 2. Влияние загрязнения серопесков наночастицами Ni, Zn и Cu на ИПБС, % от контроля / Fig. 2. The impact of gray sand pollution by nanoparticles of Ni, Zn and Cu on the IPBS, % of control

Наибольшее влияние на ИПБС серопесков оказали наночастицы меди, несколько меньшее воздействие вызвали наночастицы Zn, а наночастицы Ni проявили наименее существенное влияние на биологические свойства серопесков.

Заключение

В результате загрязнения серопесков наночастицами меди, цинка и никеля происходит ухудшение их биологических свойств: снижаются общая численность бактерий и обилие бактерий рода *Azotobacter*, активность каталазы и дегидрогеназ, всхожесть семян и длина корней редиса. Наиболее сильное воздействие оказали наночастицы меди, наименее токсичны наночастицы никеля.

Стимулирующего действия исследуемых веществ на биологические свойства серопесков не наблюдалось. Это свидетельствует о высокой токсичности наночастиц меди, цинка и никеля, большей, чем водорастворимых солей и оксидов этих металлов.

В наибольшей степени ухудшаются микробиологические и фитотоксические свойства серопесков, а ферментативная активность менее чувствительна к загрязнению наночастицами меди, цинка и никеля.

Литература

1. Policy issues. URL: http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/policy_en.htm (дата обращения: 20.02.2019).

2. Райкова А.П., Паничкин Л.А., Райкова Н.Н. Исследование влияния ультрадисперсных порошков металлов, полученных различными способами, на рост и развитие растений // Нанотехнологии и информационные технологии – технологии XXI века : материалы Междунар. науч.-практ. конф. М., 2006. С. 108–111.

3. Дерябина Т.Д. Оценка безопасности ионов, нано- и микрочастиц железа и меди в тесте прорастания семян *Triticum aestivum* // Вестн. Оренбургского гос. ун-та. 2011. № 12 (131). С. 386–389.

4. Терехова В.А., Гладкова М.М. Инженерные наноматериалы в почве: проблемы оценки их воздействия на живые организмы // Почвоведение. 2014. № 1. С. 82–90.

5. Короткова А.М. Влияние нано- и ионных форм меди на пигментный состав пшеницы обыкновенной // Химия растительного сырья. 2014. № 3. С. 133–138.

6. Meyer J.N., Lord C.A., Yang X.Y., Turner E.A., Badireddy A.R., Marinakos S.M., Chilkoti A., Wiesner M.R., Auffan M. Intracellular uptake and associated toxicity of silver nanoparticles in *Caenorhabditis elegans* // Aquatic Toxicology. 2010. Vol. 100, № 2. P. 140–150.

7. Unrine J.M., Tsyusko O.V., Hunyadi S.E., Judy J.D., Bertsch P.M. Effects of particle size on chemical speciation and bioavailability of copper to earthworms (*Eisenia fetida*) exposed to copper nanoparticles // Environ. 2010. Vol. 39. P. 1942–1953.

8. Глущенко Н.Н., Скальный А.В. Токсичность наночастиц цинка и его биологические свойства // Актуальные проблемы транспортной медицины. 2010. № 3 (21). С. 118–121.

9. Handy R.D., Cornelis G., Fernandes T., Tsyusko O., Decho A., Sabo/Attwood T., Metcalfe C., Steevens J.A., Klaine S.J., Koelmans A.A., Horne N. Ecotoxicity test methods for engineered nanomaterials: practical experiences and recommendations from the bench // Environmental Toxicology and Chemistry. 2012. Vol. 31, № 1. P. 15–31.

10. Баклицкая О. Наночастицы серебра могут быть опасны // Наука и жизнь. 2011. 19 апр. URL: <http://www.nkj.ru/news/19470/> (дата обращения: 01.03.2016).

11. Мамонова И.А., Бабушкина И.В. Антибактериальная активность наночастиц никеля II // Инфекция и иммунитет. 2012. Т. 2, № 1–2. С. 225.

12. Гульченко С.И., Гусев А.А., Захарова О.В. Перспективы создания антибактериальных препаратов на основе наночастиц меди // Вестн. Тамбовского ун-та. Естеств. и техн. науки. 2014. № 5. С. 1397–1399.

13. Якушева Е.В., Сизова Е.А., Гавриш И.А., Лебедев С.В., Каюмов Ф.Г. Действие наночастиц Al_2O_3 на почвенный микробиоценоз, состояние антиоксидантной системы и микрофлору кишечника красного калифорнийского червя (*Eisenia foetida*) // Сельскохозяйств. биология. 2017. Т. 52, № 1. С. 191–199.

14. Shin Y.J., Kwak J.I., An Y.J. An evidence for the inhibitory effects of silver nanoparticles on the activities of soil exoenzymes // Chemosphere. 2012. Vol. 88, № 4. P. 524–529.

15. Peyrot C., Wilkinson K.J., Desrosiers M., Sauvé S. Effects of silver nanoparticles on soil enzyme activities with and without added organic matter // *Environ. Toxicol. Chem.* 2014. Vol. 33, № 1. P. 115–25.

16. Устинова В.И., Кремнёва Н.Е., Осипов А.А., Мишуклова Т.Г. Влияние наночастиц железа на почвенную активность каталазы в присутствии гуминовых кислот // *Современные фундаментальные и прикладные исследования.* 2015. № 3 (18). С. 11–15.

17. Menéndez-Serra M., Triado-Margarit X., Castaneda C., Herrero J., Casamayor O.F. Microbial composition, potential functional roles and genetic novelty in gypsum-rich and hypersaline soils of Monegros and Gallocanta (Spain) // *Science of the Total Environment.* 2019. Vol. 650, № 1. P. 343–353.

References

1. Policy issues. Available at: http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/policy_en.htm (accessed 20.02.2019)

2. Raikova A.P., Panichkin L.A., Raikova N.N. [Study of the effect of ultrafine metal powders obtained by various methods on the growth and development of plants]. *Nanotekhnologii i informatsionnye tekhnologii – tekhnologii XXI veka* [Nanotechnologies and information technology - technologies of the 21st century]. Materials of the International Scientific-Practical Conference. Moscow, 2006, pp. 108-111.

3. Deryabina T.D. Otsenka bezopasnosti ionov, nano- i mikrochastits zheleza i medi v teste prorastaniya semyan Triticum aestivum [Safety assessment of ions, nano- and microparticles of iron and copper in the seed germination test of Triticum aestivum]. *Vestn. Orenburgskogo gos. un-ta.* 2011, No. 12 (131), pp. 386-389.

4. Terekhova V.A., Gladkova M.M. Inzhenernye nanomaterialy v pochve: problemy otsenki ikh vozdeistviya na zhivye organizmy [Engineering nanomaterials in soil: problems of assessing their impact on living organisms]. *Pochvovedenie.* 2014, No. 1, pp. 82-90.

5. Korotkova A.M. Vliyanie nano- i ionnykh form medi na pigmentnyi sostav pshenitsy obyknovЕННОй [The influence of nano- and ionic forms of copper on the pigment composition of wheat ordinary]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya.* 2014, No. 3, pp. 133-138.

6. Meyer J.N., Lord C.A., Yang X.Y., Turner E.A., Badireddy A.R., Marinakos S.M., Chilkoti A., Wiesner M.R., Auffan M. Intracellular uptake and associated toxicity of silver nanoparticles in *Caenorhabditis elegans*. *Aquatic Toxicology.* 2010, vol. 100, No. 2, pp. 140-150.

7. Unrine J.M., Tsyusko O.V., Hunyadi S.E., Judy J.D., Bertsch P.M. Effects of particle size on chemical speciation and bioavailability of copper to earthworms (*Eisenia fetida*) exposed to copper nanoparticles. *Environ.* 2010, vol. 39, pp. 1942-1953.

8. Glushchenko N.N., Skal'nyi A.V. Toksichnost' nanochastits tsinka i ego biologicheskie svoystva [Toxicity of zinc nanoparticles and its biological properties]. *Aktual'nye problemy transportnoi meditsiny.* 2010, No. 3 (21), pp. 118-121.

9. Handy R.D., Cornelis G., Fernandes T., Tsyusko O., Decho A., Sabo/Attwood T., Metcalfe C., Steevens J.A., Klaine S.J., Koelmans A.A., Horne N. Ecotoxicity test methods for engineered nanomaterials: practical experiences and recommendations from the bench. *Environmental Toxicology and Chemistry.* 2012, vol. 31, No. 1, pp. 15-31.

10. Baklitskaya O. Nanochastitsy serebra mogut byt' opasny [Silver nanoparticles can be dangerous]. *Nauka i zhizn'.* 2011, April 19. Available at: <http://www.nkj.ru/news/19470/> (accessed 01.03.2016).

11. Mamonova I.A., Babushkina I.V. Antibakterial'naya aktivnost' nanochastits nikelya II [Antibacterial activity of nickel nanoparticles II]. *Infektsiya i immunitet.* 2012, vol. 2, No. 1-2, p. 225.

12. Gul'chenko S.I., Gusev A.A., Zakharova O.V. Perspektivy sozdaniya antibakterial'nykh preparatov na osnove nanochastits medi [Prospects for the creation of antibacterial drugs based on copper nanoparticles]. *Vestn. Tambovskogo un-ta. Estestv. i tekhn. nauki.* 2014, No. 5, pp. 1397-1399.

13. Yakusheva E.V., Sizova E.A., Gavrish I.A., Lebedev S.V., Kayumov F.G. Deistvie nanochastits Al_2O_3 na pochvennyi mikrobiotsenoz, sostoyanie antioksidantnoi sistemy i mikrofluoru kishechnika krasnogo kaliforniiskogo chervya (*Eisenia foetida*) [The effect of Al_2O_3 nanoparticles on the soil microbiocenosis, the state of the antioxidant system and the intestinal microflora of the red Californian worm (*Eisenia foetida*)]. *Sel'skokhoz. biologiya.* 2017, vol. 52, No. 1, pp. 191-199.

14. Shin Y.J., Kwak J.I., An Y.J. An evidence for the inhibitory effects of silver nanoparticles on the activities of soil exoenzymes. *Chemosphere.* 2012, vol. 88, No. 4, pp. 524-529.

15. Peyrot C., Wilkinson K.J., Desrosiers M., Sauvé S. Effects of silver nanoparticles on soil enzyme activities with and without added organic matter. *Environ. Toxicol. Chem.* 2014, vol. 33, No. 1, pp. 115-125.

16. Ustinova V.I., Kremneva N.E., Osipov A.A., Mishukova T.G. Vliyanie nanochastits zheleza na pochvennuyu aktivnost' katalazy v prisutstvii guminovykh kislot [The effect of iron nanoparticles on the soil activity of catalase in the presence of humic acids]. *Covremennye fundamental'nye i prikladnye issledovaniya.* 2015, No. 3 (18), pp. 11-15.

17. Menéndez-Serra M., Triado-Margarit X., Castaneda C., Herrero J., Casamayor O.F. Microbial composition, potential functional roles and genetic novelty in gypsum-rich and hypersaline soils of Monegros and Gallocanta (Spain). *Sci. Total Environ.* 2019, vol. 650, No. 1, pp. 343-353.

НАУЧНАЯ ЖИЗНЬ

SCIENTIFIC LIFE

DOI 10.23683/0321-3005-2019-2-111-112

IX МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ ОПЕРАТОРОВ И ГАРМОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ-IX (ОТНА-2019)»

(Ростов-на-Дону, 21–26 апреля 2019 г.)

9th INTERNATIONAL CONFERENCE “MODERN METHODS, PROBLEMS AND APPLICATIONS OF OPERATOR THEORY AND HARMONIC ANALYSIS, 9 (OTNA 2019)”

(Rostov-on-Don, April 21-26, 2019)

Завершила работу очередная ежегодная Международная научная конференция «Современные методы и проблемы теории операторов и гармонического анализа и их приложения – IX» (аббревиатура ОТНА – Operator Theory and Harmonic Analysis), которая состоялась 21–26 апреля 2019 г. в Южном федеральном университете. В работе конференции приняли очное участие более 130 человек из ведущих научных и образовательных мировых центров – математики из России, Китая, США, Великобритании, Израиля, Финляндии, Испании, Португалии, Швеции, Швейцарии, Мексики, Колумбии, Армении, Азербайджана, Иордании, Ирана, Ирака, ОАЭ, Беларуси, Украины, Казахстана, Польши, Узбекистана, Сирии. Уже стало традицией, что все пленарные лекции и часть секционных докладов – на английском языке, что позволяет привлечь большое количество зарубежных математиков. Большая часть пленарных лекторов – это ведущие зарубежные ученые. Количество иностранных участников увеличивается с каждым годом, хотя показательным является не само количество, а расширение географии участников (российских и зарубежных).

Представлены научные и научно-прикладные лекции и доклады. В рамках конференции были организованы секции: «Функциональный анализ и теория операторов», «Теория функций и теория аппроксимаций», «Дифференциальные уравнения и

математическая физика», «Вероятностно-аналитические модели и методы», «Биоинформатика и математическое моделирование», «Операторы Хаусдорфа и смежные вопросы». Таким образом, направленность конференции фундаментальная, но были также и прикладные секции. Четыре последние секции являются предметом сотрудничества с коллективами ученых вузов, Академии наук и зарубежными исследователями.

У конференции имеется YouTube-канал, где размещаются видео пленарных выступлений разных лет: <https://www.youtube.com/channel/UCMC1h55SjWn5hkRShZ7fhEw>.

Начиная с 2015 г. избранные работы участников конференции публикуются в высокорейтинговых журналах и специальных выпусках издательства «Шпрингер/Биркхойзер». В 2019 г. достигнуто соглашение об опубликовании статей пленарных лекторов и приглашённых докладчиков в высокорейтинговом журнале *Mathematical Methods in Applied Sciences* (<https://onlinelibrary.wiley.com/journal/10991476>). В данный момент идет работа по сбору статей и рецензированию.

В этом году конференцию посетила редактор математического направления издательства «Шпрингер» Дороти Мазлум (<https://www.springer.com/gp/authors-editors/dorothy-mazlum/5298>), которая рассказала о работе издательства, обсудила с участниками конференции возможности сотрудни-

чества. Дороти также привезла с собой и подарила Южному федеральному университету существенное количество книг, опубликованных недавно издательством «Шпрингер».

В рамках сотрудничества с математическим сообществом ISAAC (Международное сообщество анализа, его приложений и исчисления) был организован конкурсный отбор среди молодых ученых для получения специальной премии – постоянного членства в сообществе ISAAC. Такой награды были удостоены молодые математики Джоэль Ре-

стрепо, сотрудник регионального научно-образовательного математического центра ЮФУ, и Элина Шишкина из Воронежского государственного университета. Премию вручал вице-президент ISAAC профессор Хоаким Тофт из Университета Линнеус, Швеция.

Конференция организована и проведена региональным научно-образовательным математическим центром ЮФУ совместно с Институтом математики, механики и компьютерных наук им. И.И. Воровича ЮФУ, при поддержке РФФИ и сообщества ISAAC.

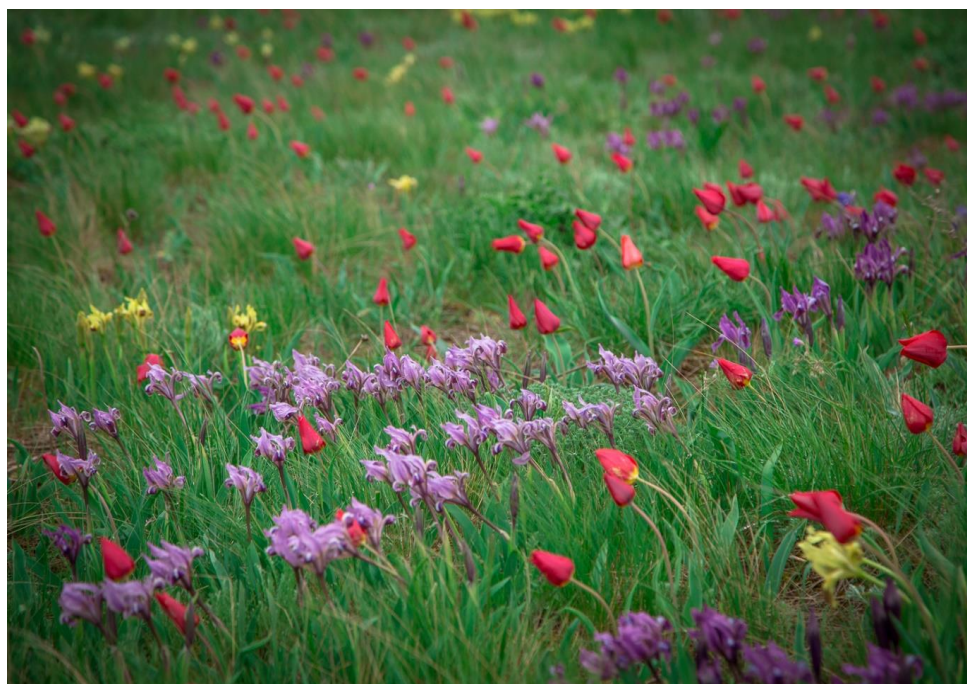
*А.Н. Карапетянц, доктор физико-математических наук, профессор,
Южный федеральный университет*

DOI 10.23683/0321-3005-2019-2-113-115

VIII ДОНСКОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФЕСТИВАЛЬ «ВОСПЕТАЯ СТЕПЬ»

8th DON ECOLOGICAL FESTIVAL "SUNG STEPPE"

На Дону уже стало традицией встречать весну фестивалем «Воспетая степь». Он объединяет всех неравнодушных к природе людей, прежде всего школьников, студентов, учителей, представителей многочисленных экологических организаций и ответственных за охрану природы представителей власти. Все фестивали, за исключением второго, приуроченного к осенним перелетам журавлей, проходили в апреле, когда пробуждаются от зимнего покоя растения и животные, а люди после долгих ожиданий стремятся увидеть красоту нашей природы. Первые 3 фестиваля, организованные Ассоциацией «Живая природа степи» (далее Ассоциация), проходили в Центре редких животных европейских степей (хут. Кундрюченский) и в стационаре Ассоциации в окр. пос. Маныч Орловского района Ростовской области (РО). Количество участников в каждом последующем фестивале возрастало. Они стали привлекать людей из различных районов РО и других регионов России, заинтересовали власти. С IV фестиваля ответственность за его проведение взяло минприроды РО, а местом проведения стала степь охранной зоны заповедника.



Организаторами VIII фестиваля стали минприроды РО, департамент МЧС по РО, Ассоциация «Живая природа степи», заповедник «Ростовский», администрация Орловского района. В его работе участвовали замгубернатора РО В.В. Артемов, министр минприроды РО М.В. Фишкин, председатель попечительского совета Ассоциации А.М. Узденов, директор заповедника Л.В. Клец, академик РАН В.Н. Большаков, член комитета Совета Федерации (СФ) по аграрно-продовольственной политике и природопользованию ФС РФ Т.А. Гигель, зампреда ЗС РО А.Ю. Скрыбин, депутат ЗС РО В.Ю. Ревенко, сопредседатель Совета по сохранению природного наследия в СФ В.В. Зотов, настоятель храма Святого Георгия Победоносца Ростова-Дону В. Волощук, главы большинства районов РО и другие известные лица. Здесь собралось более 10 тыс. жителей РО, Калмыкии, Ставрополя, Кубани, Москвы, Санкт-Петербурга, Мурманска и других мест. На центральной площадке (3 км от визит-центра заповедника) располагалась сцена, на которой 20 апреля 2019 г. выступили творческие коллективы, школьников посвятили в эколят – молодых защитников природы, награждали активистов охраны природы Дона. Вокруг сцены находился палаточный экогородок, в котором 28 муниципальных образований РО представили интересные культурно-творческие направления дополнительного экологического образования. Можно было познакомиться с экспозициями ЮНЦ РАН, ЮФУ, ЮРГПУ им. М.И. Платова, ДГАУ, РГЭУ (РИНХ), ДГТУ, ГМЗ М.А. Шолохова и др. Опытом внедрения природоохранных технологий поделились Ростовская атомная станция, филиал «Южный территориальный округ» ФГУП «РосРАО», ООО ППФ «Техноэколог», АО «Ростовводоканал», ПАО «Тагмет», ЗАО «Аксинья» и иные хозяйствующие субъекты. Художник О. Майборода представил большую выставку своих картин.

Отдельные площадки со своими названиями посвящались разным объектам донской природы, их сохранению: «Найди мой дом» – участникам предлагалось из паззлов собрать среду обитания растений и животных, «Цветущие сезоны» – определить время цветения растений, «Увидеть скрытое» – познакомиться с коллекциями насекомых, «Краснокнижные путешественники» – определить птиц РО и их принадлежность к краснокнижным, «Следы животных» – познакомиться с отпечатками, оставленными животными на песке, «Степные ароматы» – по аромату определить степные травы (мята, душица, ромашка, чабрец, полынь) и т.д.

Должное внимание было уделено и важной экологической проблеме – уборке и утилизации отходов. На экспозиции «Я за чистый дом! Мой дом –

Тихий Дон!» было 9 интерактивных площадок, где иллюстрировалась деятельность с отходами и слоган «Разделяй, культурный человек!». ООО «Эко-Центр» – региональный оператор по обращению с твердыми коммунальными отходами – организовал тематическую площадку и установил контейнеры для раздельного накопления пластика. На площадке «Раздельный сбор» предлагалось рассортировать твердые коммунальные отходы по контейнерам для их раздельного накопления.

Наиболее важной площадкой была окружающая природа маньчжских степей с солеными озерами, сочными красками цветущих растений на фоне свежей зелени, ярким весенним солнцем, голубым небом, голосами многочисленных птиц. Крутые склоны соленых озер (Лопуховатое, Круглое, Грузское) покрылись коврами с красными, желтыми, фиолетовыми и другими включениями цветущих тюльпанов, ирисов, весеннего чистяка, одуванчика, дикой герани, пастушьей сумки и иных растений. В этом ковре экологуры находили жуужелиц, пчел и других насекомых, ящериц, уужей и полозов, норы полёвок. Воздух звенел от голосов жаворонков, скворцов, ласточек, удоов, чаек. Многие участники наблюдали пеликанов, хоулоуочников, курганников и других представителей краснокнижных видов. Некоторые посетили питомник Ассоциации с пасущимися в степи лошадьми Пржевальского, верблюдами, ламами, бизонами, буйволами, яками, сайгаками, каннами, другие группы познакомились с жизнью мустангов. Здесь участники фестиваля отдыхали душой, дышали чистым воздухом, наблюдали красоту степей, рисовали и делали селфи.

С каждым годом популярность маньчжских степей, заповедника, Ассоциации и фестиваля «Воспелая степь» растёт (в 2017 г. его включили в мероприятия федерального плана по проведению Года экологии и ООПТ). Если на I фестиваль подали заявки около 300 человек, II – 500, III – 630, то на IV – уже 3500, V – 7 тыс., VI – более 7 тыс., VII – 10 тыс. человек. Появление большого количества людей, строений, автомашин (в 2019 г. на автостоянке одновременно находились сотни машин) на ограниченной территории может негативно повлиять на растительность, отрицательно сказаться на животных в питомнике Ассоциации, затруднить работу экскурсоводов на крутых обрывистых берегах оз. Маньч-Гудило и т.д. Это заставляет перестраивать организацию фестиваля. В 2019 г. ограничили посещение о-ва Водный с мустангами, обрывистых берегов оз. Маньч-Гудило, питомника с животными Ассоциации. Здесь экскурсии проводились по заранее согласованному плану и небольшими группами. Официальная часть проходила 20 апреля, когда на центральной площадке присутствовали около 7 тыс.

заранее зарегистрированных экотуристов. Многие участники, прежде всего жители близлежащих поселков и районов, не заезжая на официальную площадку, знакомились с весенней степью и отдыхали на берегах озер, участках с массой цветущих растений в других местах под контролем инспекторов. Всего на фестивале было более 10 тыс. человек.

По срокам фестиваль и знакомство экотуристов с маньчской степью растянулись с 13 апреля по майские праздники. ООО «Сага Вояж» организовало дневные экотуры: экскурсия по экотропе «Загадки Маньчской долины» и «Лазоревый цветок», знакомство с раскопками археологов и историей территории, с краснокнижными животными и растениями, их охраной. 13–15 апреля была межрегиональная экопросветительская экспедиция «Везем весну – 2019» по заповедникам Крыма, Кавказа, Ростовской и других областей до Мурманска. В её состав входили эксперты заповедного дела, специалисты по инфраструктуре размещения туристов, представители международных организаций и СМИ, а также лидеры общественного мнения. Ростовчане познакомили их с историей и современной деятельностью заповедника и Ассоциации, рассказали о планах, презентовали итоги реализации проекта президентского гранта «Жители Дона за сохранение природно-заповедного фонда». Цель этой экспедиции не только привлечь внимание российских и иностранных туристов к уникальным природным объектам нашей страны, но и заложить основу для создания международного экотуристического бренда России. Новые межрегиональные маршруты, в том числе и выходного дня, будут доступны широкому кругу туристов из разных регионов и стран, а информационный портал упростит поиск информации о

туристических возможностях национальных парков и заповедников.

В рамках фестиваля состоялась рабочая встреча сотрудников Ассоциации и ЮНЦ РАН с участием председателя попечительского совета Ассоциации А.М. Узденова, директора Ассоциации В.И. Данькова, председателя Президиума ЮНЦ РАН академика Г.Г. Матишова, председателя ЮНЦ РАН С.В. Бердникова, зампреда РАН по научной работе академика Ю.Ю. Балегу, ведущего эколога страны академика РАН В.Н. Большакова, других специалистов. Обсуждались планы совместной работы по природоохранной деятельности, задачи проекта «Жители Дона за сохранение природно-заповедного фонда» и пути его реализации. Сотрудники Ассоциации передали ЮНЦ РАН книги «Живая природа Маньчской долины», изданные в рамках реализации проекта президентского гранта.

Начиная с 13 апреля ежедневно в маньчской степи встречается много легковых машин и автобусов, развозящих людей по наиболее красивым и интересным природным участкам. Здесь неоднократно были студенты и научные сотрудники ЮФУ, ЮНЦ РАН, работники ООО «Газпром межрегионгаз Ростов-на-Дону» и других организаций, жители ряда районов и городов. За период экологического фестиваля познакомились с весенними достопримечательностями степи, отдохнули, оценили её красоту, богатства и необходимость их сохранения более 15 тысяч экотуристов. Нет здесь оставленных кострищ, разбитых бутылок, брошенных букетов сорванных тюльпанов, но есть богатая информация о природе степей, природоохранные знания, тысячи фотографий и селфи, хорошее настроение, бодрое самочувствие и понимание роли природы в нашей жизни.

*В.А. Миноранский, доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
Южный федеральный университет*

ЗАМЕТКИ О КНИГАХ

BOOKS REVIEW

DOI 10.23683/0321-3005-2019-2-116-118

КНИГА СТА ГИПОТЕЗ

(Тимофеев Д.Н. Природа космических тел Солнечной системы. Железногорск: Космическая технология, 2018. 225 с.)

BOOK OF ONE HUNDRED HYPOTHESIS

(Timofeev D.N. The Nature of the Cosmic Bodies of the Solar System. Zheleznogorsk: Kosmicheskaya technology, 2018. 225 p.)

Среди большого количества публикаций на темы о космических телах и системах, их происхождении монография Д.Н. Тимофеева выделяется тем, что в ней существенное место отведено глубинно-мантийному происхождению углеводородов – нефти и газа. Многие аспекты, изложенные в книге, были представлены на научных конференциях и свидетельствуют о длительной (не менее десяти лет) работе над тематикой монографии. В обзоре опубликованных работ приведены «Научные чтения Ю.П. Булашевича. Геодинамика, глубинное строение, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей»; доклады автора в 2009, 2011, 2013 гг. на всероссийских симпозиумах по вулканологии и палеовулканологии; доклад «Связь вулканических явлений с залежами углеводородов на примере района Тунгусского взрыва 1908 г.», Всероссийская конференция по глубинному генезису нефти и газа «Кудрявцевские чтения»; доклад «Структура Земли и генерация углеводородов в свете законов ядерной физики, химии и химической термодинамики» 2013 г., а также доклады 2018 г. и др.

Необычно организовано изложение материала книги, ее можно образно назвать книгой ста гипотез, каждая в своем разделе. На самом деле гипотез даже больше, 111, их описание и другие материалы представлены в 15 главах; приведен список литературы, охватывающий различные направления науки.

В сферу исследований, мнений, выводов автора включены такие опорные положения, как базовые законы и химические специализации термодинамики; широко использован и положен в основу важнейших выводов такой показатель, как изобарно-изотермический потенциал пород и химических соединений.

Объектами действия процессов являются Солнечная система в целом, Солнце (как звезда), планеты Солнечной системы, иные космические тела. Основной объект исследований – планета Земля, геосферы Земли – ядро, мантия, кора, отдельные части этих крупных сфер; выделены твердая и подвижная фазы геосфер, их термобарические параметры и позиции в шкале глубин. Во все объекты вложен определенный авторский смысл.

В соответствии с научными интересами авторов рецензии среди всех гипотез, прежде всего, привлекла внимание гипотеза 68 с подзаголовком «Законы образования нефти». Основной заголовок – «Увеличение изобарного потенциала пород с глубиной залегания», и в этом разделе представлен один из базовых критериев трансформации состава и структуры вещества геосфер и даны выводы о закономерностях изменения термодинамического показателя. Весь ход рассуждений, исследования поведения и самих значений этой величины подчас говорит о более сложном законе изменения, о моментах его инверсии, о явной потребности связи показателя не только с глубиной, но и с термобарическими величинами.

Д.Н. Тимофеевым предложена концепция эволюции планеты Земля в целом, а также её геохимического состава и многих других свойств, начиная от зарождения, связанного с распадом нейтронной звезды, образования атомов элементов, их дифференциации, формирования и трансформации геосфер, химического, вещественного состава, их дальнейшей динамики, образования земной коры и ее полезных ископаемых, прежде всего руд и нефтяных, газовых углеводородов. В системе нашли место химические элементы, входящие в состав нефтей и газов.

Эта концепция, несмотря на многие проблемные стороны, производит впечатление стройной системы с системообразующими параметрами, системными связями и движущими силами. Сравнение системы с глобальными построениями других авторов (хотя бы по докладам на Кудрявцевских чтениях) в целом в пользу автора – по основательности и динамичности выстроенной картины. Например, в одной из работ автор начинает свой анализ с утверждения, что существуют «специфические углерод-водородные автономные восстановленные мантийные флюидные системы. Именно восстановительный флюидный режим систем, формирующихся при низкой фугитивности кислорода, и определяет их специфический состав и свойства».

Одним из системообразующих параметров распределения элементов в протогеосферах и последующих вариантах автором принята *плотность атомов*, рассчитанная по атомным весам и объемам атомов. По сути дела, предложена авторская система химических элементов, которая позволила определиться со многими проблемами. Например, определиться с комплексом химических элементов ядра, мантии на начальных этапах, рассчитать теоретический вариант строения, взаимного расположения, объема протогеосфер элементов, прогнозировать состав химических соединений в объектах и др.

Таблицы значений плотностей атомов повторяются во многих разделах книги, что подчеркивает значимость этого параметра для автора.

Последовательное продолжение и детализация нефтегенерационной темы описаны в разделах «Образование в глубинах Земли подвижного вещества – «силановой нефти»» (гипотеза 72) и «Образование нитронейфти» (гипотеза 74).

Процессы глубинного образования углеводородов в схеме эволюции начинаются с первичной дифференциации химических элементов в соответствии с их атомными плотностями; процессы разграничения (сепарации) элементов и их соединений продолжаются в течение всей истории существования Земли, проявляются и в настоящее время. Это непрерывное, неравномерное, сложное по форме перемещение вещества со сложной морфологией потоков с неперенной направленностью от самых глубоких геосфер вверх до земной коры, возможно, отражено в сложных формах геофизических полей современных наблюдений. Автор привел много примеров (карт, разрезов) геофизических данных и их интерпретацию – от протогеосфер моноэлементов до сложнейшей картины распределения вещества Земли. Он моделирует многие важнейшие особенности течения этих грандиозных процессов.

Преимущественное состояние вещества в глубинных зонах Земли, как считает автор, особое газообразное. Авторский «кристаллический газ», а также жидкие легкоподвижные вещества увлекают за собой при движении соединения углерода, кремния, железа. Вещество сложного состава, многофазное, меняющееся во времени и причудливо распределенное в пространстве. Существенную роль в этой сложной массе играют газ силан SiH_4 (аналог метана CH_4) и его гомологи. Отсюда название всей остальной многоликкой, очень подвижной, химически активной субстанции – «силановая нефть». Последняя взаимодействует с веществом верхних геосфер, земной корой, и в результате вероятно образование аккумуляций углеводородов и всего многообразия рудных полезных ископаемых. Модельные построения позволили автору обосновать такие величины, как весовое количество элементов, поднявшихся из мантии в земную кору; составить карту размещения «силановой нефти» на современном этапе динамики вещества внутренних оболочек. Появление «силановой нефти» – это, по мнению автора, наиболее вероятное проявление взрывной внутренней энергии, усиления вулканических проявлений, образования рудных скоплений.

По представлениям автора, в мантии углеводороды находятся в виде элементоорганических соединений, особенно нитросоединений («нитронейфть»), а многие металлы – в виде металлоорганических комплексов; все они способны растворяться в подвижной фазе и подниматься вместе с ней в земную кору.

Вероятность процессов сложной динамики в глубинных геосферах велика, так как они отмечены и в реальной природной среде (что широко известно) и составляют, например, физико-химическую основу группы эффективных геоэлектрхимических методов поисков рудных и нефтегазовых залежей, показывающих высокую глубинность (несколько километров) результатов (Н.И. Сафронов, Ю.С. Рысс и др.). На основании полевых данных и лабораторного моделирования был обоснован газопузырьковый (в основном метан, водород, азот) квазиконвективный механизм подъема металлоорганических соединений и формирования струйных ореолов рассеяния.

Построенная автором модель перемещения химических соединений (и углеводородов) в глубинах нижних геосфер и выше, в земную кору дополнена (обогащена) тем, что используется показатель свободной энергии химических соединений; вовлечены в анализ такие легкие подвижные соединения с высоким изобарным потенциалом, как силан, дисилан

и другие вещества этого ряда; введением неординарных, но вполне приемлемых понятий-терминов, как «силановая нефть», «нитронепфть»; явлением высвобождения свободной энергии химических соединений в виде взрыва при снижении термобарических показателей; осаждением трансформированных веществ в земной коре.

Анализ всех прогнозируемых процессов сопровождается многочисленными примерами химических соединений и реакций. И здесь приходит отчетливое понимание того, что одного используемого термодинамического показателя недостаточно для адекватного моделирования всех невероятно сложных физико-химических процессов. Книга Д.Н. Тимофеева интересна еще и тем, что заставляет понять необходимость использования дополнительных системных параметров.

В 15 главах изложены актуальные направления основной темы – «Природа космических тел Солнечной системы»: «Образование Солнечной системы» (и здесь же «Некоторые особенности образования и строения Солнечной системы»), «Состав космических тел Солнечной системы», «Солнце, его строение и природа горения», «Ядро Земли», «Мантия Земли». Огромный круг проблем автор взял в разработку, предложил 111 гипотез по многим из них. Смущает, что среди направлений о мироздании есть и такие приземленные (в прямом и переносном смысле) темы, как «Явления самопроизвольного выхода природного газа», где все свелось к поверхностным наблюдениям и есть такие выражения, как «состав газа, наверное...».

Интеллектуальная нагрузка глав книги, обоснований гипотез изменяется в широком диапазоне. И роль каждого из разделов в раскрытии основной

темы также разная. К тем или иным научным проблемам автор обращается не один раз, возможно, в разных аспектах, и это хороший прием изложения, особенно для тех, кто начинает знакомство с данной предметной областью.

Д.Н. Тимофеевым предложена концепция природы космических тел Солнечной системы: от распада нейтронной звезды до современного состояния планет. Изложено много интересных фактов и выводов, например, о вероятностной природе законов возникновения химических элементов.

Полагаем, монография будет полезна студентам нефтегеологической специализации как пример широкого подхода к освоению естественных законов природы. Она побуждает к творческой мысли, освоению новых областей и направлений науки, сомнениям и разумной критике.

Книга прекрасно издана: печать и бумага хорошего качества, много иллюстраций, таблиц, большой формат, гляцевая обложка со стильным красочным изображением.

В заключение приводим слова автора монографии Дмитрия Николаевича Тимофеева: «В моей монографии есть предположения, которые изменяют картину глубинного строения Земли не только учёных, но и всех, кто получает в жизни самые общие представления о нашей планете, начиная с уроков естествознания в школе. Например, вид ядра Земли из разноцветных слоёв элементов, перемещение этих слоёв между собой с течением времени, образование элементов в процессе взрыва непонятного вещества нейтронной звезды, “термониз”, понятие “кристаллического газа”, расчетная температура в центре Земли в 780 000 градусов».

Э.С. Сианисян, доктор геолого-минералогических наук, профессор,
Южный федеральный университет

Г.Н. Прозорова, кандидат геолого-минералогических наук, доцент,
Южный федеральный университет

**НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЖУРНАЛ
«ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ.
СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ РЕГИОН. ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ»**

Рецензируемый журнал «Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки» продолжает приём работ. Он имеет статус центрального издания и включён в перечень ВАК по следующим отраслям:

- физико-математические науки (математика, механика);
- науки о Земле.

Принимаются работы и по другим отраслям науки. Также печатаются материалы в разделах «Заметки о книгах»; «Научная жизнь»; «Штрихи к портрету».

Журнал издается с периодичностью 4 номера в год. С электронной версией можно ознакомиться на сайте Научной электронной библиотеки http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7362. Опубликованные статьи индексируются в российских и международных электронных библиотеках и наукометрических базах данных: РИНЦ (RSCI), РУКОНТ, «Киберленинка», ЭБС «Университетская библиотека онлайн», Ulrich, EBSCO, Chemical Abstracts.

Авторы, сохраняя за собой авторские права на работу и передавая журналу «Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки» право первой публикации, автоматически принимают на себя обязательство не печатать её ни полностью, ни частично в каком-либо другом издании без указания ссылки на оригинальную публикацию в этом журнале.

Издательские услуги оплачиваются организацией или автором после утверждения статьи на редколлегии.

Оформление работ осуществляется согласно правилам:

1. Представляется статья в электронном виде. После заголовка указать индекс УДК.
2. Текст должен быть набран в редакторе MicroSoft Office Word 2000, 2003, 2007, 2010, 2016 через 1,5 интервала, шрифтом Times New Roman, размером 14 пт, страницы пронумерованы.
3. Сопроводительное или рекомендательное письмо, если статья представляется от организации. Экспертное заключение.
4. Полное название организации и её адрес на русском и английском языках.
5. Сведения об авторах с указанием адреса, по которому будет вестись переписка, на русском и английском языках.
6. Название статьи и фамилии авторов на русском и английском языках.
7. Аннотация на русском и английском языках (1000–1500 знаков / 150–200 слов).
8. Ключевые слова на русском и английском языках (8–10 слов).

Журнал распространяется по подписке – через ОАО «Роспечать». Подписной индекс – 70415 (подписка на полугодие). В неподписной период отдельные номера журнала за нынешний и прошлые годы можно приобрести в редакции.

Адрес для переписки: 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, 105/42, ЮФУ, редакция журнала «Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки».

Тел./факс главной редакции (863) 218-40-00 добавочный 11-093, 11-094.

E-mail: izvestiya@sfedu.ru

Адрес в Интернете: www.izvestiya.sfedu.ru

ISSN 0321-3005. DOI 10.23683/0321-3005-2019-1. Известия высших учебных заведений.

Северо-Кавказский регион. Естественные науки.

2019. № 2