

ISSN 0321–3005

DOI 10. 23683/0321-3005

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

*Северо-Кавказский
регион*

ЕСТЕСТВЕННЫЕ

НАУКИ

2016

1

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)

Редакционный совет:

В.А. Бабешко, Б.С. Карамурзов, В.И. Колесников, Ю.Ф. Коробейник, А.Г. Кусраев,
В.Г. Лобанов, Г.Г. Матишов, В.И. Минкин, М.Х. Рабаданов, Э.З. Эмирбеков

Редакционная коллегия:

В.Е. Закруткин – председатель редколлегии (д. г.-м.н., профессор), А.В. Абанин (д.ф.-м.н., профессор),
В.В. Внуков (д.б.н., профессор), Л.С. Ворович (к.ф.-м.н., доцент), Ю.М. Гуфан (д.ф.-м.н., профессор),
О.Н. Демина (д.б.н.), А.Г. Захаров (д.техн.н., профессор), Л.М. Зубов (д.ф.-м.н., профессор),
Я.М. Ерусалимский (д.техн.н., профессор), С.Б. Климентов (д.ф.-м.н., профессор),
Г.В. Куповых (д.ф.-м.н., профессор), С.В. Курбатов (д.х.н., профессор),
А.М. Лерер (д.ф.-м.н., профессор), В.А. Миноранский (д.с.-х.н., профессор),
А.Ф. Пожарский (д.х.н., профессор), З.А. Темердашев (д.х.н., профессор),
В.Н. Труфанов – зам. пред. редколлегии (д.г.-м.н., профессор),
Ю.А. Устинов (д.ф.-м.н., профессор), Ю.А. Федоров (д.г.н., профессор),
С.П. Чернышева (к.ф.-м.н., доцент), О.М. Шабанов (д.х.н., профессор)

Учредители:

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

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

Подписано в печать 24.03.2016 г.
Формат 60×84/8. Гарнитура "Таймс".
Усл. печ.л. 12,09. Уч.-изд. л. 12,23.
Тираж 200 экз. Заказ №

Адрес редакции и издателя (для переписки): 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42, ЮФУ, журнал «Известия вузов. Северо-Кавказский регион»

E-mail: izvestiya@sfedu.ru

Адрес в Интернете: www.izvestiya.sfedu.ru

Адрес редколлегии серии «Естественные науки»: г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 200/1, корп. 2, к. 110,
тел.: 218-40-00 доб. 11-093; 218-40-00 доб. 11-094.

Адрес типографии: 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 111, Центр универсальной полиграфии.

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ РЕГИОН

Регистрационный номер 011019
Комитета Российской Федерации по печати
Научно-образовательный и прикладной журнал
Издается с 1973 г.
Периодичность серии 4 номера в год
№ 1 (189) 2016 г.

DOI 10.18522/0321-3005-2016-1

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКО- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Балкизов Ж.А.</i> Краевая задача для вырождающегося внутри области гиперболического уравнения.....	5
<i>Белявский Г.И., Данилова Н.В.</i> Расчёт справедливой цены барьерного опциона в модели (B,S)-рынка с переключением параметров.....	11
<i>Каплицкий В.М., Дронов А.К.</i> Интерполяционные теоремы для операторов, ограниченных на конусах в весовых пространствах числовых последовательностей.....	17
<i>Магдесян В.А., Усов А.Б.</i> Моделирование социального партнерства в банковской системе.....	21
<i>Норкин М.В.</i> Образование дополнительных кавитационных зон при вертикальном ударе кругового цилиндра, полностью погруженного в жидкость.....	26
<i>Пожарский Д.А., Артамонова Е.А., Смирнов Ю.В.</i> Полосовые разрезы в транслопном упругом теле.....	32
<i>Умархаджиев С.М.</i> Ограниченность максимального оператора в гранд-пространствах Лебега на R^n	35

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И.</i> Устойчивость микробоценоза чернозема обыкновенного североприазовского к загрязнению антибиотиками.....	39
<i>Васильченко И.С., Зайченко С.Б., Бичеров А.В., Бородкин Г.С., Балакшина Е.Н., Бурлов А.С.</i> Комплексообразование продукта конденсации изатина и салицилоилгидразида.....	45
<i>Водопьянов С.О., Титова С.В., Водопьянов А.С., Олейников И.П., Лысова Л.К.</i> Анализ внутривидовой конкуренции <i>Vibrio cholerae</i> в биопленках.....	49
<i>Жуков В.В., Кожин А.А., Мрыхин В.В.</i> Биологическая активность красного и инфракрасного лазерного излучения в экспериментальных моделируемых условиях.....	54
<i>Казеев К.Ш., Черникова М.П., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Козунь Ю.С., Полуянова В.С., Быхалова О.Н.</i> Биологическая диагностика экологического состояния почв мониторинговых площадок заповедника «Утриш»	61
<i>Колесников С.И., Кузина А.А., Евстегнеева Н.А., Казеев К.Ш.</i> Оценка устойчивости бурых лесных оподзоленных почв Черноморского побережья Кавказа к химическому загрязнению.....	66
<i>Колесников С.И., Тимошенко А.Н., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В.</i> Влияние загрязнения наночастицами оксидов никеля и железа на биологические свойства чернозема обыкновенного североприазовского.....	71
<i>Нагоева М.А., Шаов М.Т., Пшикова О.В.</i> Динамика показателей ЭКГ под влиянием модели «Сфигмотон».....	76
<i>Титова С.В., Веркина Л.М., Лысова Л.К.</i> Потенциальная возможность инфицирования водных объектов биоплёнками холерного вибриона.....	80

НАУКИ О ЗЕМЛЕ	<i>Астахова А.А., Хардигов А.Э.</i> Литогенез пермских толщ Аян-Юряхского антиклинория Яно-Колымской складчатой области.....	84
	<i>Микерова В.Н., Дорофеев А.А., Тарасов А.Б., Фоменко Л.Н.</i> Многовариантное компьютерное моделирование поверхности фундамента Южно-Якутского угольного бассейна.....	90
	<i>Федоров Ю.А., Морозова М.А., Трубник Р.Г.</i> О связи физико-химических параметров и содержания восстановленных газов с сульфитредуцирующими кластридиями в донных отложениях малых рек.....	95
ЗАМЕТКИ О КНИГАХ	<i>Миноранский В.А.</i> Природные богатства Донской земли («Живая природа Манычской долины»).....	101

IZVESTIYA VUZOV. SEVERO-KAVKAZSKII REGION

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

№ 1 (189) 2016.

DOI 10.18522/0321-3005-2016-1

NATURAL SCIENCE

CONTENTS

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

<i>Balkizov Zh.A.</i> The Boundary Value Problem for a Degenerate Hyperbolic Equation in the Area.....	5
<i>Belyavskii G.I., Danilova N.V.</i> The Fair Price Calculation of the Barrier Option in the (B,S)-Market Model with Stochastic Changing of Parameters.....	11
<i>Kaplitskii V.M., Dronov A.K.</i> Interpolation Theorems for Operators that are Bounded on Cones in Weighted Spaces of Numerical Sequences.....	17
<i>Magdesyan V.A., Usov A.B.</i> Modeling of Social Partnership in the Banking System.....	21
<i>Norkin M.V.</i> Formation of Additional Cavitation Zones at Vertical Impact of the Circular Cylinder which is Completely Shipped in Liquid.....	26
<i>Pozharskii D.A., Artamonova E.A., Smirnov Yu.V.</i> Strip Cuts in a Transtropic Elastic Solid.....	32
<i>Umarkhadzhiev S.M.</i> The Boundedness of the Maximal Operator in Grand Lebesgue Spaces on R^n	35

BIOLOGICAL SCIENCE

<i>Akimenko Yu.V., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I.</i> Microbiocenosis's Stability of the Chernozem Ordinary to Pollution by Antibiotics.....	39
<i>Vasil'chenko I.S., Zaichenko S.B., Bicherov A.V., Borodkin G.S., Balakshina E.N., Burlov A.S.</i> Complexation of the Condensation Product of Isatin and Salicyloylhydrazide	45
<i>Vodop'yanov S.O., Titova S.V., Vodop'yanov A.S., Oleinikov I.P., Lysova L.K.</i> Analysis of Intraspecific Competition in <i>Vibrio Cholerae</i> Biofilms.....	49
<i>Zhukov V.V., Kozhin A.A., Mrykhin V.V.</i> Biological Activity of Red and Infrared Laser Radiation in the Experimental Simulated Conditions.....	54
<i>Kazeev K.Sh., Chernikova M.P., Kolesnikov S.I., Akimenko Yu.V., Kozun' Yu.S., Poluvyanova V.S., Bykhalova O.N.</i> Biological Diagnosis of Environmental Condition of the Soil Monitoring Plots Reserve «Utrish».....	61
<i>Kolesnikov S.I., Kuzina A.A., Evstegneeva N.A., Kazeev K.Sh.</i> Assessment of Stability of Brown Forest Acidic Podzolized Soils of Black Sea Coast of the Caucasus to Chemical Pollution.....	66
<i>Kolesnikov S.I., Timoshenko A.N., Kazeev K.Sh., Akimenko Yu.V.</i> Effects of Pollution by Nanoparticles of Nickel and Iron Oxides on Biological Properties of Ordinary Chernozem.....	71
<i>Nagoeva M.A., Shaov M.T., Pshikova O.V.</i> The Dynamics of the ECG (Electrocardiogram) Under the Influence of the Model «Sfigmaton».....	76
<i>Titova S.V., Verkina L.M., Lysova L.K.</i> The Possibility of Water Objects Infection by <i>Vibrio Cholerae</i> Biofilms.....	80

SCIENCE OF EARTH	<i>Astakhova A.A., Khardikov A.E.</i> Lithogenesis of the Permian Formation of the Ayan-Yurakhsky Anticlinorium.....	84
	<i>Mikerova V.N., Dorofeev A.A., Tarasov A.B., Fomenko L.N.</i> Multiversion Computer Simulation of South-Jakut Coal Basin Foundation Surface.....	90
	<i>Fedorov Yu.A., Morozova M.A., Trubnik R.G.</i> About Connection Physicochemical Parameters and the Content of Recovered Gas with Sulfite-Reducing Clostridia in the Bottom Sediments of Small Rivers.....	95
BOOKS REVIEW	<i>Minoranskii V.A.</i> The Natural Wealth of the Don Land («Wildlife of Manych Valley»)...	101

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 517.95

DOI 10.18522/0321-3005-2016-1-5-10

КРАЕВАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ ВЫРОЖДАЮЩЕГОСЯ ВНУТРИ ОБЛАСТИ ГИПЕРБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

© 2016 г. Ж.А. Балкизов

Балкизов Жираслан Анатольевич – научный сотрудник,
Институт прикладной математики и автоматизации,
ул. Шортанова, 89а, г. Нальчик, КБР, 360017, e-mail:
Giraslan@yandex.ru

Balkizov Zhiraslan Anatolievich – Scientific Researcher,
Institute of Applied Mathematics and Automations,
Shortanov St., 89a, Nalchik, KBR, 360017, Russia, e-mail:
Giraslan@yandex.ru

Найдено решение задачи Гурса для вырождающегося внутри области гиперболического уравнения. Доказана теорема об однозначной разрешимости рассматриваемой задачи. Показано, что в случае, когда нарушено условие теоремы, однородная задача, соответствующая исследуемой задаче, имеет бесчисленное множество линейно независимых решений.

Ключевые слова: вырождающееся гиперболическое уравнение, задача Гурса, задача Коши, уравнение Абеля, уравнение Вольтерра второго рода.

We found the solution of the Goursat problem for a degenerate hyperbolic equation in the region. We prove a theorem on the unique solvability of the problem. It is shown that when the broken condition of the theorem, the homogeneous problem corresponding to the problem under study has an infinite number of linearly independent solutions.

Keywords: degenerate hyperbolic equation, Goursat problem, Cauchy equation, Abel equation, Volterra equation of the second kind.

Постановка задачи

На евклидовой плоскости независимых переменных x и y рассмотрим уравнение

$$0 = \begin{cases} (-y)^m u_{xx} - u_{yy} + a(-y)^{(m-2)/2} u_x, & y < 0, \\ y^n u_{xx} - u_{yy} + b y^{(n-2)/2} u_x, & y > 0, \end{cases} \quad (1)$$

где $a, b, m, n = \text{const}$, $m > 0$, $n > 0$.

Через Ω_1 обозначим область, ограниченную ха-

рактеристиками $\sigma_1 = AC_1: x - \frac{2}{m+2}(-y)^{(m+2)/2} = 0$,

$\sigma_2 = C_1B: x + \frac{2}{m+2}(-y)^{(m+2)/2} = r$ уравнения (1)

при $y < 0$, выходящими из точек $A = (0, 0)$,

$B = (r, 0)$ ($r > 0$) и пересекающимися в точке

$C_1 = (r/2, y_1)$, и отрезком AB прямой $y = 0$, а через

Ω_2 – область, ограниченную характеристиками

$$\sigma_3 = AC_2: x - \frac{2}{n+2}y^{(n+2)/2} = 0,$$

$\sigma_4 = C_2B: x + \frac{2}{n+2}y^{(n+2)/2} = r$ уравнения (1) при

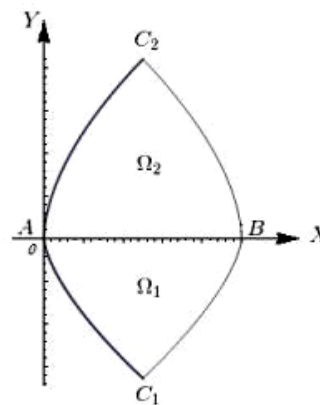
$y > 0$, выходящими из точек A и B , пересекаю-

щимися в точке $C_2 = (r/2, y_2)$, и отрезком AB пря-

мой $y = 0$; $y_1 = -\left[\frac{r(m+2)}{4}\right]^{2/(m+2)} < 0$;

$y_2 = \left[\frac{r(n+2)}{4}\right]^{2/(n+2)} > 0$; $\Omega = \Omega_1 \cup \Omega_2 \cup J$;

$J = \{(x, 0): 0 < x < r\}$ (рисунок).

Область Ω_1, Ω_2

Методами функционального анализа и интегральных уравнений в работе [1] исследована краевая задача со смещением для уравнения (1) в случае, когда $\Omega_1 \equiv \emptyset$ и коэффициент $b = 0$. В [2] поставлены и исследованы характеристическая задача Коши и задача Гурса для класса вырождающихся внутри области гиперболических уравнений. В [3] сделаны некоторые обобщения по постановке и исследованию первой и второй задач Дарбу для вырождающегося внутри области гиперболического уравнения. В [4] в описанной выше области Ω исследована краевая задача с разрывными условиями склеивания для уравнения (1) при $a = 0$, $b = 0$ в случае, когда данные задаются на противоположных характеристиках σ_2 и σ_3 . Исследованию краевых задач со смещением для уравнения (1) в области Ω , когда $a = 0$, $b = 0$, посвящена работа [5]. Задачи со смещением для вырождающегося внутри области гиперболического уравнения, содержащего слагаемые с младшими производными, исследованы в работе [6]. В [7] получена априорная оценка решения первой и второй задач Дарбу для общего вырождающегося гиперболического уравнения

$$u_{yy} - k(y)u_{xx} + a(x, y)u_x + b(x, y)u_y + c(x, y)u = f(x, y) \quad (2)$$

с коэффициентом $k(y)$, удовлетворяющим условию $yk(y) > 0$ при $y \neq 0$, который может обращаться в нуль при $y = 0$. В случае, когда в уравнении (2) коэффициент $k(y) = (-y)^m$, $m \equiv 1 \pmod{2}$, а функции $a(x, y)$, $b(x, y)$, $c(x, y)$, $f(x, y)$ удовлетворяют условиям Геллерстедта, в [8] доказаны существование и единственность функции Грина – Адамара $G(x, y; \xi, \eta)$, с помощью которой выписано решение второй задачи Дарбу для уравнения (2). Достаточно полная библиография по вырождающимся гиперболическим уравнениям имеется в монографиях [9–13].

Регулярным в области Ω решением уравнения (1) назовем функцию $u = u(x, y)$ из класса $C(\bar{\Omega}) \cap C^1(\Omega) \cap C^2(\Omega_1 \cup \Omega_2)$, такую что $u_x, u_y \in L(J)$, при подстановке которой уравнение (1) обращается в тождество.

В работе исследуется

Задача. Найти регулярное в области Ω решение уравнения (1), удовлетворяющее условиям

$$u(x, y) = \psi_1(x) \quad \forall (x, y) \in \sigma_1, \quad (3)$$

$$u(x, y) = \psi_2(x) \quad \forall (x, y) \in \sigma_3, \quad (4)$$

где $\psi_1(x)$, $\psi_2(x)$ – заданные функции из класса $C^1[0, r/2]$, причем $\psi_1(0) = \psi_2(0)$.

Задача относится к классу задачи Гурса, которая была сформулирована и изучена в работе [2].

Обозначения

Введем обозначения:

$$\alpha_1 = \frac{m-2a}{2(m+2)}; \quad \beta_1 = \frac{m+2a}{2(m+2)};$$

$$\gamma_1 = \frac{2\Gamma(1-\alpha_1)\Gamma(\alpha_1+\beta_1)}{\Gamma(\beta_1)\Gamma(1-\alpha_1-\beta_1)[2(1-\alpha_1-\beta_1)]^{\alpha_1+\beta_1}};$$

$$\alpha_2 = \frac{n-2b}{2(n+2)}; \quad \beta_2 = \frac{n+2b}{2(n+2)};$$

$$\gamma_2 = \frac{2\Gamma(1-\alpha_1)}{\Gamma(1-\alpha_1-\beta_1)[2(1-\alpha_1-\beta_1)]^{\alpha_1+\beta_1}};$$

$$\gamma_3 = \frac{2^{1-\beta_1}(1-\beta_1)^{-\beta_1}}{\Gamma(1-\beta_1)};$$

$$\gamma_4 = \frac{2\Gamma(1-\alpha_2)\Gamma(\alpha_2+\beta_2)}{\Gamma(\beta_2)\Gamma(1-\alpha_2-\beta_2)[2(1-\alpha_2-\beta_2)]^{\alpha_2+\beta_2}};$$

$$\gamma_5 = \frac{2\Gamma(1-\alpha_2)}{\Gamma(1-\alpha_2-\beta_2)[2(1-\alpha_2-\beta_2)]^{\alpha_2+\beta_2}};$$

$$\gamma_6 = \frac{2^{1-\beta_2}(1-\beta_2)^{-\beta_2}}{\Gamma(1-\beta_2)};$$

$$\delta = (\alpha_2 + \beta_2) - (\alpha_1 + \beta_1) = \frac{2(n-m)}{(m+2)(n+2)};$$

$$F_1(x) = \frac{1}{2\gamma_1} \times \left[\gamma_2 x^{-\beta_1} D_{0x}^{\alpha_1} t^{\alpha_1+\beta_1} \psi_1' \left(\frac{t}{2} \right) + \gamma_5 D_{0x}^{\alpha_1+\beta_1} t^{\alpha_2} D_{0t}^{-\beta_2} \psi_2' \left(\frac{s}{2} \right) \right];$$

$$F_2(x) = \frac{1}{2\gamma_1} \left[\gamma_2 x^{-\beta_1} D_{0x}^{\alpha_1} t^{\alpha_1+\beta_1} \psi_1' \left(\frac{t}{2} \right) + \gamma_6 D_{0x}^{-\delta} \psi_2' \left(\frac{t}{2} \right) \right];$$

$$F_3(x) = \frac{1}{2\gamma_3} \left[\gamma_3 \psi_1' \left(\frac{x}{2} \right) + \gamma_5 D_{0x}^{\beta_1} t^{\alpha_2} D_{0t}^{-\beta_2} \psi_2' \left(\frac{s}{2} \right) \right];$$

$$F_4(x) = \frac{1}{2\gamma_3} \left[\gamma_3 \psi_1' \left(\frac{x}{2} \right) + \gamma_6 D_{0x}^{-\delta} \psi_2' \left(\frac{t}{2} \right) \right].$$

Исследование задачи

Основным результатом исследования задачи является следующая

Теорема. Пусть $|a| \leq \frac{m}{2}$, $|b| \leq \frac{n}{2}$, причем $(2a+m)^2 + (2b+n)^2 \neq 0$. Тогда существует единственное решение задачи.

Действительно, пусть

$$u(x, 0) = \tau(x), \quad 0 \leq x \leq r, \quad (5)$$

$$u_y(x, 0) = \nu(x), \quad 0 < x < r. \quad (6)$$

Решение задачи Коши (5)–(6) для уравнения (1) имеет вид [10, с. 12]:

$$u(x, y) = \frac{1}{B(\alpha_1, \beta_1)} \times \int_0^1 \tau \left[x + \frac{2}{l+2} |y|^{(l+2)/2} (2t-1) \right] t^{\beta_1-1} (1-t)^{\alpha_1-1} dt + \frac{y}{B(1-\alpha_1, 1-\beta_1)} \times \int_0^1 \nu \left[x + \frac{2}{l+2} |y|^{(l+2)/2} (2t-1) \right] t^{-\alpha_1} (1-t)^{-\beta_1} dt, \quad |a| < \frac{l}{2}, \quad (7)$$

$$u(x, y) = \tau \left[x + \frac{2}{l+2} |y|^{(l+2)/2} \right] + \frac{2y}{l+2} \int_0^1 \nu \left[x + \frac{2}{l+2} |y|^{(l+2)/2} (2t-1) \right] (1-t)^{-\beta_1} dt, \quad a = \frac{l}{2}, \quad (8)$$

$$u(x, y) = \tau \left[x - \frac{2}{l+2} |y|^{(l+2)/2} \right] + \frac{2y}{l+2} \int_0^1 \nu \left[x + \frac{2}{l+2} |y|^{(l+2)/2} (1-2t) \right] (1-t)^{-l/(l+2)} dt, \quad a = -\frac{l}{2}, \quad (9)$$

где $l=m$ при $y < 0$; $l=n$ при $y > 0$;

$B(p, q) = \int_0^1 t^{p-1} (1-t)^{q-1} dt$ – интеграл Эйлера первого рода (бета-функция).

Удовлетворяя (7) и (8) условию (3) с учетом свойства оператора дробного дифференцирования порядка α , $0 < \alpha \leq 1$ [14, с. 11]:

$$D_{0x}^\alpha \varphi(t) = \frac{x^{-\alpha} \varphi(0)}{\Gamma(1-\alpha)} + D_{0x}^{\alpha-1} \varphi'(t), \quad \varphi'(x) \in L[0, r],$$

находим следующие фундаментальные соотношения между функциями $\tau(x)$ и $\nu(x)$, принесенные из области Ω_1 на линию вырождения $y=0$:

$$\nu(x) = \gamma_1 D_{0x}^{-\alpha_1-\beta_1} \tau'(t) - \frac{\gamma_2}{2} x^{\alpha_1} D_{0x}^{-\beta_1} \psi_1' \left(\frac{t}{2} \right), \quad |a| < \frac{m}{2}, \quad (10)$$

$$\nu(x) = \gamma_3 D_{0x}^{-\beta_1} \tau'(t) - \frac{\gamma_3}{2} D_{0x}^{-\beta_1} \psi_1' \left(\frac{t}{2} \right), \quad a = \frac{m}{2}. \quad (11)$$

Из (9) при условии (3) приходим к равенству

$$\nu(x) = -(2-2\alpha_1)^{-\alpha_1} x^{\alpha_1} \psi_1' \left(\frac{x}{2} \right), \quad a = -\frac{m}{2}. \quad (12)$$

Аналогично, удовлетворяя представления (7)–(9) условию (4), в зависимости от значения коэффициента b находим следующие фундаментальные соотношения:

$$\nu(x) = -\gamma_4 D_{0x}^{-\alpha_2-\beta_2} \tau'(t) + \frac{\gamma_5}{2} x^{\alpha_2} D_{0x}^{-\beta_2} \psi_2' \left(\frac{t}{2} \right), \quad |b| < \frac{n}{2}; \quad (13)$$

$$\nu(x) = -\gamma_6 D_{0x}^{-\beta_2} \tau'(t) + \frac{\gamma_6}{2} D_{0x}^{-\beta_2} \psi_2' \left(\frac{t}{2} \right), \quad b = \frac{n}{2}; \quad (14)$$

$$\nu(x) = (2-2\alpha_2)^{-\alpha_2} x^{\alpha_2} \psi_2' \left(\frac{x}{2} \right), \quad b = -\frac{n}{2}. \quad (15)$$

Из метода Трикоми, основанного на установлении знакоопределенности интеграла вида $I = \int_0^r u(x, 0) u_y(x, 0) dx$, из полученных выше фундаментальных соотношений и из свойства положительности оператора дробного (в смысле Римана – Лиувилля) интегро-дифференцирования D_{0x}^α порядка $\alpha \leq 1$ [14, с. 45–46] следует единственность решения задачи, при соблюдении условий теоремы.

Перейдем к доказательству существования решения задачи. Пусть $|a| < \frac{m}{2}$ и $|b| < \frac{n}{2}$. Для определенности предположим, что $m < n$. В случае, когда $m > n$, исследование проводится аналогично. Исключая из соотношений (10) и (13) неизвестную функцию $\nu(x)$ с учетом условий (3)–(4), относительно $\tau(x)$ приходим к краевой задаче для обыкновенного дифференциального уравнения дробного порядка

$$\begin{aligned} & \gamma_1 D_{0x}^{-(\alpha_1+\beta_1)} \tau'(t) + \gamma_4 D_{0x}^{-(\alpha_2+\beta_2)} \tau'(t) = \\ & = \frac{\gamma_2}{2} x^{\alpha_1} D_{0x}^{-\beta_1} \psi_1' \left(\frac{t}{2} \right) + \frac{\gamma_5}{2} x^{\alpha_2} D_{0x}^{-\beta_2} \psi_2' \left(\frac{t}{2} \right), \\ & 0 < x < r, \\ & \tau(0) = \psi_0, \end{aligned} \quad (16)$$

где $\psi_0 = \psi_1(0) = \psi_2(0)$.

Разделив обе части уравнения (16) на γ_1 ($\gamma_1 \neq 0$), затем применив оператор $D_{0x}^{\alpha_1+\beta_1}$ к обеим частям полученного уравнения, а также пользуясь свойством композиции операторов интегро-дифференцирования с одинаковыми началами [15, с. 44]

$$D_{0x}^\alpha t^{\alpha+\beta} D_{0t}^\beta \varphi(s) = x^\beta D_{0x}^{\alpha+\beta} t^\alpha \varphi(t)$$

для любых $\alpha \in [0, 1]$, $\beta < 0$ и $\varphi(x) \in L[0, r]$, уравнение (19) перепишем в виде

$$\tau'(x) + \frac{\gamma_4}{\gamma_1} D_{0x}^{-\delta} \tau'(t) = F_1(x). \quad (18)$$

Относительно функции $\tau'(x)$ уравнение (18) является интегральным уравнением Вольтерра второго

го рода, решение которого выписывается в явном виде по формуле [16, с. 123]

$$\tau'(x) = F_1(x) - \frac{\gamma_4}{\gamma_1} \int_0^x (x-t)^{\delta-1} E_{1/\delta} \left[-\frac{\gamma_4}{\gamma_1} (x-t)^\delta; \delta \right] F_1(t) dt,$$

где $E_{1/\delta}(z; \mu) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^k}{\Gamma(\delta k + \mu)}$ – функция типа Миттаг –

Леффлера.

$$\begin{aligned} \tau(x) &= \tau(0) + \\ &+ \int_0^x \left\{ 1 - \frac{\gamma_4}{\gamma_1} (x-t)^\delta E_{1/\delta} \left[-\frac{\gamma_4}{\gamma_1} (x-t)^\delta; \delta + 1 \right] \right\} F_1(t) dt. \end{aligned} \quad (19)$$

При $|a| < \frac{m}{2}$ и $b = \frac{n}{2}$ из соотношений (10) и (14)

приходим к уравнению относительно $\tau'(x)$

$$\begin{aligned} \gamma_1 D_{0x}^{-(\alpha_1 + \beta_1)} \tau'(t) + \gamma_6 D_{0x}^{-\beta_2} \tau'(t) &= \\ = \frac{\gamma_2}{2} x^{\alpha_1} D_{0x}^{-\beta_1} \psi_1' \left(\frac{t}{2} \right) + \frac{\gamma_6}{2} D_{0x}^{-\beta_2} \psi_2' \left(\frac{t}{2} \right). \end{aligned} \quad (20)$$

Решение уравнения (20) имеет вид

$$\tau(x) = \tau(0) + \int_0^x \left\{ 1 - \frac{\gamma_6}{\gamma_1} (x-t)^\delta E_{1/\delta} \left[-\frac{\gamma_6}{\gamma_1} (x-t)^\delta; \delta + 1 \right] \right\} F_2(t) dt. \quad (21)$$

Если $|a| < \frac{m}{2}$ и $b = -\frac{n}{2}$, то из соотношений (10) и (15) относительно искомой функции $\tau'(x)$ получаем интегральное уравнение Абеля

$$\begin{aligned} \gamma_1 D_{0x}^{-(\alpha_1 + \beta_1)} \tau'(t) &= \frac{\gamma_2}{2} x^{\alpha_1} D_{0x}^{-\beta_1} \psi_1' \left(\frac{t}{2} \right) + \\ &+ (2 - 2\alpha_2)^{-\alpha_2} x^{\alpha_2} \psi_2' \left(\frac{x}{2} \right), \end{aligned}$$

решение которого имеет вид

$$\begin{aligned} \tau(x) &= \tau(0) + \frac{\gamma_2}{2\gamma_1} \int_0^x t^{-\beta_1} D_{0t}^{\alpha_1} s^{\alpha_1 + \beta_1} \psi_1' \left(\frac{s}{2} \right) dt + \\ &+ (2 - 2\alpha_2)^{-\alpha_2} \gamma_1^{-1} D_{0x}^{\alpha_1 + \beta_1 - 1} t^{\alpha_2} \psi_2' \left(\frac{t}{2} \right). \end{aligned} \quad (22)$$

Пусть далее $a = \frac{m}{2}$ и $|b| < \frac{n}{2}$. В этом случае из системы (11), (13) относительно $\tau'(x)$ получается уравнение

$$\begin{aligned} \gamma_3 D_{0x}^{-\beta_1} \tau'(t) + \gamma_4 D_{0x}^{-(\alpha_2 + \beta_2)} \tau'(t) &= \\ = \frac{\gamma_3}{2} D_{0x}^{-\beta_1} \psi_1' \left(\frac{t}{2} \right) + \frac{\gamma_5}{2} x^{\alpha_2} D_{0x}^{-\beta_2} \psi_2' \left(\frac{t}{2} \right). \end{aligned} \quad (23)$$

Решение задачи (17) для уравнения (23) имеет вид

$$\begin{aligned} \tau(x) &= \tau(0) + \\ &+ \int_0^x \left\{ 1 - \frac{\gamma_4}{\gamma_3} (x-t)^\delta E_{1/\delta} \left[-\frac{\gamma_4}{\gamma_3} (x-t)^\delta; \delta + 1 \right] \right\} F_3(t) dt. \end{aligned} \quad (24)$$

Если $a = \frac{m}{2}$ и $b = \frac{n}{2}$, то решение уравнения

$$\begin{aligned} \gamma_3 D_{0x}^{-\beta_1} \tau'(t) + \gamma_6 D_{0x}^{-\beta_2} \tau'(t) &= \\ = \frac{\gamma_3}{2} D_{0x}^{-\beta_1} \psi_1' \left(\frac{t}{2} \right) + \frac{\gamma_6}{2} D_{0x}^{-\beta_2} \psi_2' \left(\frac{t}{2} \right), \end{aligned}$$

получающегося из системы (11), (14), определяется по формуле

$$\begin{aligned} \tau(x) &= \tau(0) + \\ &+ \int_0^x \left\{ 1 - \frac{\gamma_6}{\gamma_3} (x-t)^\delta E_{1/\delta} \left[-\frac{\gamma_6}{\gamma_3} (x-t)^\delta; \delta + 1 \right] \right\} F_4(t) dt. \end{aligned} \quad (25)$$

При $a = \frac{m}{2}$ и $b = -\frac{n}{2}$ решение уравнения Абеля

$$\begin{aligned} \gamma_3 D_{0x}^{-\beta_1} \tau'(t) &= \frac{\gamma_3}{2} D_{0x}^{-\beta_1} \psi_1' \left(\frac{t}{2} \right) + \\ &+ (2 - 2\alpha_2)^{-\alpha_2} x^{\alpha_2} \psi_2' \left(\frac{x}{2} \right) \end{aligned}$$

имеет вид

$$\tau(x) = \psi_1 \left(\frac{x}{2} \right) + (2 - 2\alpha_2)^{-\alpha_2} \gamma_3^{-1} D_{0x}^{\beta_1 - 1} t^{\alpha_2} \psi_2' \left(\frac{t}{2} \right). \quad (26)$$

Пусть теперь $a = -\frac{m}{2}$, $|b| < \frac{n}{2}$. Тогда из системы (12), (13) приходим к интегральному уравнению Вольтерра первого рода со слабой особенностью

$$\begin{aligned} \gamma_4 D_{0x}^{-(\alpha_2 + \beta_2)} \tau'(t) &= (2 - 2\alpha_1)^{-\alpha_1} x^{\alpha_1} \psi_1' \left(\frac{x}{2} \right) + \\ &+ \frac{\gamma_5}{2} x^{\alpha_2} D_{0x}^{-\beta_2} \psi_2' \left(\frac{t}{2} \right), \end{aligned}$$

решение которого имеет вид

$$\begin{aligned} \tau(x) &= \tau(0) + (2 - 2\alpha_1)^{-\alpha_1} \gamma_4^{-1} D_{0x}^{\alpha_2 + \beta_2 - 1} t^{\alpha_1} \psi_1' \left(\frac{t}{2} \right) + \\ &+ \frac{\gamma_5}{2\gamma_4} \int_0^x t^{-\beta_2} D_{0t}^{\alpha_2} s^{\alpha_2 + \beta_2} \psi_2' \left(\frac{s}{2} \right) dt. \end{aligned} \quad (27)$$

При $a = -\frac{m}{2}$, $b = \frac{n}{2}$ решение уравнения

$$\begin{aligned} \gamma_6 D_{0x}^{-\beta_2} \tau'(t) &= (2 - 2\alpha_1)^{-\alpha_1} x^{\alpha_1} \psi_1' \left(\frac{x}{2} \right) + \\ &+ \frac{\gamma_6}{2} D_{0x}^{-\beta_2} \psi_2' \left(\frac{t}{2} \right), \end{aligned}$$

удовлетворяющее условию (17), имеет вид

$$\tau(x) = \psi_2 \left(\frac{x}{2} \right) + (2 - 2\alpha_1)^{-\alpha_1} \gamma_6^{-1} D_{0x}^{\beta_2 - 1} t^{\alpha_1} \psi_1' \left(\frac{t}{2} \right). \quad (28)$$

Если нарушено условие теоремы, т.е. если имеет место равенство $(2a + m)^2 + (2b + n)^2 = 0$, то однородная задача, соответствующая исследуемой неоднородной задаче, имеет бесчисленное множество линейно независимых решений вида $u(x, y) = g \left(x - \frac{2}{l+2} |y|^{(l+2)/2} \right) - g(0)$, где $g(x)$ – про-

извольная функция из класса $C^1[0, r] \cap C^2]0, r[$. При этом из равенств (12), (15) следует, что для существования решения задачи (2)–(3) для уравнения (1) необходимо, чтобы заданные функции $\psi_1(x)$, $\psi_2(x)$ обладали свойством

$$(2 - 2\alpha_1)^{-\alpha_1} x^{\alpha_1} \psi_1' \left(\frac{x}{2} \right) + (2 - 2\alpha_2)^{-\alpha_2} x^{\alpha_2} \psi_2' \left(\frac{x}{2} \right) = 0. \quad (29)$$

Если имеет место равенство (29), то общее решение неоднородной задачи будет определяться по формуле

$$u(x, y) = g \left(x - \frac{2}{l+2} |y|^{(l+2)/2} \right) - g(0) + \frac{2y}{l+2} \int_0^1 v^* \left[x + \frac{2}{l+2} |y|^{(l+2)/2} (1-t) \right] (1-t)^{-l/(l+2)} dt,$$

$$\text{где } v^*(x) = -(2 - 2\alpha_1)^{-\alpha_1} x^{\alpha_1} \psi_1' \left(\frac{x}{2} \right) = (2 - 2\alpha_2)^{-\alpha_2} x^{\alpha_2} \psi_2' \left(\frac{x}{2} \right).$$

Таким образом, для каждого из значений $|a| \leq \frac{m}{2}$, $|b| \leq \frac{n}{2}$, $(2a+m)^2 + (2b+n)^2 \neq 0$ найдена функция $u(x, 0) = \tau(x)$, которая в зависимости от значений коэффициентов a и b уравнения (1) определяется по одной из формул: (19), (21), (22), (24)–(28). Показано, что в случае, когда $(2a+m)^2 + (2b+n)^2 = 0$, функция $\tau(x)$ не может быть найдена из соответствующих фундаментальных соотношений, и, что в этом случае однородная задача, соответствующая исследуемой задаче, имеет бесчисленное множество линейно независимых решений. После того как функция $\tau(x)$ найдена по одной из перечисленных выше формул, функцию $v(x)$ легко найти из соответствующих фундаментальных соотношений. Тогда решение исследуемой задачи выписывается как решение задачи Коши для уравнения (1) в соответствующей области Ω_1 или Ω_2 по формулам (7)–(9).

В заключение хотелось бы выразить благодарность А.М. Нахушеву за постановку задачи, а также за постоянное внимание и поддержку моих научных работ.

Литература

1. Нахушев А.М. Новая краевая задача для одного вырождающегося гиперболического уравнения // Докл. АН СССР. 1969. Т. 187, № 4. С. 736–739.
2. Кальменов Т.Ш. О характеристической задаче Коши для одного класса вырождающихся гиперболических уравнений // Диф. уравнения. 1973. Т. IX, № 1. С. 84–96.

3. Нахушев А.М. К теории краевых задач для вырождающихся гиперболических уравнений // Сообщения Академии наук Грузинской ССР. 1975. Т. 77, № 3. С. 545–548.
4. Кумыкова С.К., Нахушева Ф.Б. Об одной краевой задаче для гиперболического уравнения, вырождающегося внутри области // Диф. уравнения. 1978. Т. XIV, № 1. С. 50–64.
5. Кумыкова С.К. Краевая задача со смещением для вырождающегося внутри области гиперболического уравнения // Диф. уравнения. 1980. Т. XVI, № 1. С. 93–104.
6. Салахитдинов М.С., Мирсабуров М. О некоторых краевых задачах для гиперболического уравнения, вырождающегося внутри области // Диф. уравнения. 1981. Т. XVII, № 1. С. 129–136.
7. Нахушев А.М. О задаче Дарбу для вырождающихся гиперболических уравнений // Диф. уравнения. 1971. Т. VII, № 1. С. 49–56.
8. Gellerstedt S. Sur un equation lineaire aux derivees partielles de type mixte // Arkiv Math. Astr. och Fysik. 1937. № 29, 26A. P. 1–25.
9. Смирнов М.М. Вырождающиеся эллиптические и гиперболические уравнения. М., 1966. 292 с.
10. Смирнов М.М. Вырождающиеся гиперболические уравнения. Минск, 1977. 160 с.
11. Репин О.А. Краевые задачи со смещением для уравнений гиперболического и смешанного типов. Самара, 1992. 161 с.
12. Нахушев А.М. Задачи со смещением для уравнений в частных производных. М., 2002. 288 с.
13. Кальменов Т.Ш. К теории начально-краевых задач для дифференциальных уравнений // Цикл научных работ Т.Ш. Кальменова. Алматы, 2013. 406 с.
14. Нахушев А.М. Дробное исчисление и его применение. М., 2003. 272 с.
15. Нахушев А.М. Уравнения математической биологии. М., 1995. 301 с.
16. Джрбабян М.М. Интегральные преобразования и представления функций в комплексной плоскости. М., 1966. 672 с.

References

1. Nakhushhev A.M. Novaya kraevaya zadacha dlya odnogo vyrozhdayushchegosya giperbolicheskogo uravneniya [The new boundary value problem for a degenerate hyperbolic equation]. Dokl. AN SSSR, 1969, vol. 187, no 4, pp. 736–739.
2. Kal'menov T.Sh. O kharakteristicheskoi zadache Koshi dlya odnogo klassa vyrozhdayushchikh giperbolicheskikh uravnenii [On the characteristic Cauchy problem for a class of degenerate hyperbolic equations]. Dif. uravneniya, 1973, vol. IX, no 1, pp. 84–96.
3. Nakhushhev A.M. K teorii kraevykh zadach dlya vyrozhdayushchikh giperbolicheskikh uravnenii [To the theory of boundary value problems for degenerate hyperbolic equations]. Soobshcheniya Akademii nauk Gruzinskoi SSR, 1975, vol. 77, no 3, pp. 545–548.
4. Kumykova S.K., Nakhushcheva F.B. Ob odnoi kraevoi zadache dlya giperbolicheskogo uravneniya, vyrozhdayushchegosya vnutri oblasti [A boundary value problem for hyperbolic equations degenerating inside the domain]. Dif. uravneniya, 1978, vol. XIV, no 1, pp. 50–64.

5. Kumykova S.K. Kraevaya zadacha so smeshcheniem dlya vyrozhdayushchegosya vnutri oblasti giperbolicheskogo uravneniya [A boundary value problem with shift for a degenerate hyperbolic equation in the field]. *Dif. uravneniya*, 1980, vol. XVI, no 1, pp. 93-104.
6. Salakhitdinov M.S., Mirsaburov M. O nekotorykh kraevykh zadachakh dlya giperbolicheskogo uravneniya, vyrozhdayushchegosya vnutri oblasti [On some boundary value problems for hyperbolic equations degenerating inside the domain]. *Dif. uravneniya*, 1981, vol. XVII, no 1, pp. 129-136.
7. Nakhushev A.M. O zadache Darbu dlya vyrozhdayushchikhsya giperbolicheskikh uravnenii [On the Darboux problem for degenerate hyperbolic equations]. *Dif. uravneniya*, 1971, vol. VII, no 1, pp. 49-56.
8. Gellerstedt S. Sur un equation lineaire aux derivees partielles de type mixte. *Arkiv Math. Astr. och Fysik.*, 1937, no 29, 26A, pp. 1-25.
9. Smirnov M.M. *Vyrozhdayushchiesya ellipticheskie i giperbolicheskie uravneniya* [Degenerate elliptic and hyperbolic equations]. Moscow, 1966, 292 p.
10. Smirnov M.M. *Vyrozhdayushchiesya giperbolicheskie uravneniya* [Degenerate hyperbolic equations]. Minsk, 1977, 160 p.
11. Repin O.A. *Kraevye zadachi so smeshcheniem dlya uravnenii giperbolicheskogo i smeshannogo tipov* [Boundary-value problems with a shift for the hyperbolic and mixed types of equations]. Samara, 1992, 161 p.
12. Nakhushev A.M. *Zadachi so smeshcheniem dlya uravnenii v chastnykh proizvodnykh* [Problems with shift for partial differential equations]. Moscow, 2002, 288 p.
13. Kal'menov T.Sh. [On the theory of boundary value problems for differential equations]. *Tsikl nauchnykh rabot T.Sh. Kal'menova* [The cycle of T.Sh. Kalmenov scientific works]. Almaty, 2013, 406 p.
14. Nakhushev A.M. *Drobnoe ischislenie i ego primeneniye* [Fractional calculus and its application]. Moscow, 2003, 272 p.
15. Nakhushev A.M. *Uravneniya matematicheskoi biologii* [Equations of mathematical biology]. Moscow, 1995, 301 p.
16. Dzhrbashyan M.M. *Integral'nye preobrazovaniya i predstavleniya funktsii v kompleksnoi ploskosti* [Integral transforms and representations of functions in the complex plane]. Moscow, 1966, 672 p.

УДК 519.2

DOI 10.18522/0321-3005-2016-1-11-16

РАСЧЁТ СПРАВЕДЛИВОЙ ЦЕНЫ БАРЬЕРНОГО ОПЦИОНА В МОДЕЛИ (B,S)-РЫНКА С ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕМ ПАРАМЕТРОВ*

© 2016 г. Г.И. Белявский, Н.В. Данилова

Белявский Григорий Исаакович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой высшей математики и исследования операций, Институт математики, механики и компьютерных наук имени И.И. Воровича Южного федерального университета, ул. Мильчакова, 8а, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: beliaivsky@hotmail.com

Belyavskii Grigorii Isaakovich – Doctor of Technical Science, Professor, Head of High Mathematics and Operations Research Department, Vorovich Institute of Mathematics and Computer Science of the Southern Federal University, Milchakov St., 8a, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: beliaivsky@hotmail.com

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

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

Рассматривается модель (B,S)-рынка со случайным переключением параметров, которые изменяются при достижении стоимости акции некоторого барьера. В качестве задачи рассматривается расчёт справедливой цены барьерного опциона входа, который имеет ненулевую выплату, если цена акции не достигла фиксированного барьера. Получены аналитические формулы для расчёта справедливой цены в случае как непрерывного, так и дискретного времени.

Ключевые слова: случайное блуждание, винеровский процесс, мартингальная мера, барьерный опцион, момент остановки, рынок, теорема Гирсанова, принцип отражения, модель Блэка – Шоулса, формула Ито.

The (B,S)-market model with stochastic changing of parameters is presented. The parameters of the model change when the price of the stock becomes more than the given barrier. For this model the problem of the fair price calculation in the case of the barrier option is considered. This option does not equal to zero, if the price of the stock is greater or equal then given barrier. The analytic formulas are obtained for the cases of continuous and discrete times.

Keywords: random walk, Wiener process, martingale measure, barrier option, stopping time, market, Girsanov theorem, reflection principle, Black-Scholes model, Ito formula.

Одна из основных тем финансовой математики – анализ производных ценных бумаг, или платёжных обязательств, т.е. активов, выплаты по которым зависят от первичных активов и в некоторых случаях от других факторов. В статье в качестве производных ценных бумаг рассматриваются барьерные опционы. Выплата по барьерному опциону зависит от того, достигнет ли цена акции определённого уровня до момента погашения. Большинство барьерных опционов – это либо опционы входа, либо опционы выхода. В статье рассматривается барьерный опцион входа, который имеет ненулевую выплату, если цена акции достигла фиксированного барьера.

В качестве задачи рассматривается расчёт справедливой цены барьерного опциона входа. Оцениванию цены барьерных опционов посвящена об-

ширная литература, в которой исследуются различные модели поведения рискового актива и различные вычислительные методы, связанные с конкретными моделями, например, в [1] приводится алгоритм оценивания барьерных опционов в моделях Леви с помощью быстрой факторизации Винера – Хопфа, в [2] – аналитическая формула для справедливой цены барьерного опциона в бинарной модели (B,S)-рынка. При выводе формулы использован принцип отражения П. Андре [2]. В статье также используется принцип отражения для диффузионной и бинарной моделей (B,S)-рынка с переключением параметров и выводятся формулы для расчёта справедливой цены барьерного опциона. Основная особенность класса моделей с переключением параметров заключается в том, что для непрерывного времени коэффициенты стохастиче-

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

ского дифференциального уравнения $dX_t = f(X_t)dt + \phi(X_t)dW_t, X_0 = x_0$ являются кусочно-постоянными функциями и не удовлетворяют ни локальным, ни глобальным условиям Липшица, поэтому уравнение имеет бесконечное число сильных решений. Единственности можно добиться, добавив требование о непрерывности траекторий случайного процесса X . Подробнее – работа [3].

Непрерывное время

Базовой моделью является модель Блэка – Шоулса [4]:

$$\begin{cases} dS_t = S_t(rdt + \sigma dW_t) \\ dB_t = B_t rdt \end{cases} \quad (1)$$

Процесс $(S_t)_{t \in [0, T]}$ описывает стоимость акции, $(B_t)_{t \in [0, T]}$ – банковского счёта. Параметры модели: r – процентная ставка; $\sigma > 0$ – волатильность. В качестве источника случайности рассматриваются винеровский процесс $(W_t)_{t \in [0, T]}$ и естественная фильтрация $F_0 = \{\emptyset, \Omega\}, F_t = \sigma(W_s, s \leq t)$. Заметим, что дисконтированный процесс стоимости акции $\left(\frac{S_t}{B_t}\right)_{t \in [0, T]}$ является мартингалом относительно исходной (рыночной) меры P , порождаемой моделью (1).

Заметим, что с помощью формулы Ито [5], примененной для первого уравнения, модель (1) можно представить в виде

$$\begin{cases} S_t = S_0 \exp\left(\left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)t + \sigma W_t\right) \\ B_t = B_0 \exp(rt) \end{cases} \quad t \in [0, T].$$

Рассмотрим модель с барьером [6], для этого определим момент остановки

$$\tau = \inf\{t \in [0, T] : S_t = M\},$$

где $M > S_0$ – заданный барьер. С помощью момента остановки определим процентную ставку и волатильность

$$\begin{aligned} r_t &= \tilde{r}_1 I(t < \tau) + \tilde{r}_2 I(t \geq \tau), \\ \sigma_t &= \tilde{\sigma}_1 I(t < \tau) + \tilde{\sigma}_2 I(t \geq \tau). \end{aligned}$$

В качестве финансового обязательства рассмотрим верхний колл-опцион входа

$$f_T = \begin{cases} (S_T - K)^+, & \text{если } \max_{t \in [0, T]} S_t \geq B \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (2)$$

Задачу вычисления справедливой цены можно рассматривать как задачу вычисления $\min_{\gamma} X_0$

при ограничениях

$$\begin{aligned} d\left(\frac{X_t}{B_t}\right) &= \gamma_t d\left(\frac{S_t}{B_t}\right), \\ X_T &\geq f_T. \end{aligned}$$

Измеримый процесс γ – рисковая составляющая портфеля: $\pi = (\gamma, \beta)$. Процесс $(X_t)_{t \in [0, T]}$ – капитал портфеля; оптимальное значение $X_0^* = C$ – справедливая цена финансового обязательства.

В силу единственности мартингальной меры [5] формула для расчёта справедливой цены имеет вид

$$C = B_0 E\left(\frac{f_T}{B_T}\right).$$

Математическое ожидание вычисляется по единственной мартингальной мере. Для рассматриваемой модели формула для расчёта справедливой цены имеет вид

$$X_0 = C = \int_0^T C(x)p(x)dx + C(T)\left(1 - \int_0^T p(x)dx\right),$$

где $C(x)$ – справедливая цена рассматриваемого платёжного обязательства (2) при условии, что момент остановки $\tau < T$; $C(T)$ – справедливая цена финансового обязательства при условии, что $\tau \geq T$; $p(x)$ – плотность распределения момента остановки τ , которая в данном случае имеет вид [4]

$$\begin{aligned} p(x) &= \sqrt{\frac{b}{2\pi}} e^{\sqrt{ab}} \frac{1}{x^{3/2}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(ax + \frac{b}{x}\right)\right), \\ \sqrt{a} &= \frac{1}{\tilde{\sigma}_1} \left(\tilde{r}_1 - \frac{\tilde{\sigma}_1^2}{2}\right), \sqrt{b} = \frac{1}{\tilde{\sigma}_1} \ln\left(\frac{M}{S_0}\right). \end{aligned}$$

Далее понадобится следующая

Теорема 1 [7]. Совместная плотность распределения W_T и $\max_{0 \leq t \leq T} W_t$ имеет вид

$$g(x, y, T) = \sqrt{\frac{2}{\pi T^3}} (2y - x) \exp\left(-\frac{(2y - x)^2}{2T}\right).$$

Теорема 1 позволяет доказать теорему 2. Содержание теоремы 2 устанавливает формулы для $C(x)$ и $C(T)$.

Теорема 2. Если $\tau \in [0, T)$, то

$$\begin{aligned} C(x) &= \exp\left(-\left(\tilde{r}_1 + \frac{a_1^2}{2}\right)x - \left(\tilde{r}_2 + \frac{a_2^2}{2}\right)(T - x)\right) \times \\ &\times \frac{1}{\sqrt{2\pi x}} \times \\ &\times \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{b_1}^{+\infty} \int_{\max(u, c_1)}^{+\infty} \left[\left(S_0 \exp((\tilde{\sigma}_1 + a_1)z + (\tilde{\sigma}_2 + a_2)u) - \right. \right. \\ &\left. \left. - K \exp(a_1 z + a_2 u) \right) g(u, y, T - x) \exp\left(-\frac{z^2}{2x}\right) \right] dudyz, \end{aligned}$$

где

$$b_1 = \frac{1}{\tilde{\sigma}_2} \left(\ln \left(\frac{K}{S_0} \right) - \tilde{\sigma}_1 z \right); c_1 = \frac{1}{\tilde{\sigma}_2} \left(\ln \left(\frac{B}{S_0} \right) - \tilde{\sigma}_1 z \right),$$

$$a_1 = \frac{1}{\tilde{\sigma}_1} \left(\tilde{r}_1 - \frac{\tilde{\sigma}_1^2}{2} \right), a_2 = \frac{1}{\tilde{\sigma}_2} \left(\tilde{r}_2 - \frac{\tilde{\sigma}_2^2}{2} \right).$$

Если $\tau \geq T$, то

$$C(T) = \exp \left(- \left(\tilde{r}_1 + \frac{a_1^2}{2} \right) T \right) \times$$

$$\times \int_0^{+\infty} \int_0^{+\infty} (S_0 \exp((a_1 + \tilde{\sigma}_1)x) - K \exp(a_1 x)) \times$$

$$\frac{1}{\tilde{\sigma}_1} \ln \left(\frac{K}{S_0} \right) \max \left(x, \frac{1}{\tilde{\sigma}_1} \ln \left(\frac{B}{S_0} \right) \right)$$

$$\times g(x, y, T) dx dy.$$

Доказательство. Докажем теорему для $\tau \in [0, T)$. Если $\tau \geq T$, то доказательство проводится аналогично.

Формулы для стоимости акции и банковского счёта имеют вид

$$S_T =$$

$$= S_0 \exp \left(\left(\tilde{r}_1 - \frac{\tilde{\sigma}_1^2}{2} \right) \tau + \left(\tilde{r}_2 - \frac{\tilde{\sigma}_2^2}{2} \right) (T - \tau) + \tilde{\sigma}_1 W_\tau + \tilde{\sigma}_2 W_{T-\tau} \right),$$

$$B_T = B_0 \exp(\tilde{r}_1 \tau + \tilde{r}_2 (T - \tau)).$$

Избавимся от сноса при помощи перехода от меры P к мере \tilde{P} и введения процессов, являющихся винеровскими по мере \tilde{P} . Они имеют вид $\tilde{W}_\tau = W_\tau - a_1 \tau$, $\tilde{W}_{T-\tau} = W_{T-\tau} - a_2 (T - \tau)$; выражения для a_1 и a_2 приведены в формулировке теоремы.

Формула для стоимости акции $S_T = S_0 \exp(\tilde{\sigma}_1 \tilde{W}_\tau + \tilde{\sigma}_2 \tilde{W}_{T-\tau})$. Процесс плотности перехода от меры P к мере \tilde{P}

$$Z_T = \exp \left(-a_1 \tilde{W}_\tau - a_2 \tilde{W}_{T-\tau} + \frac{1}{2} a_1^2 \tau + \frac{1}{2} a_2^2 (T - \tau) \right).$$

Формула для справедливой цены имеет вид

$$\tilde{N}(\tau) = \frac{B_0}{B_T} \tilde{E} \left(\frac{f_T}{Z_T} \right) =$$

$$= \exp \left(- \left(\tilde{r}_1 + \frac{a_1^2}{2} \right) \tau - \left(\tilde{r}_2 + \frac{a_2^2}{2} \right) (T - \tau) \right) \times$$

$$\times \tilde{E} \left(S_0 \exp((\tilde{\sigma}_1 - a_1) \tilde{W}_\tau) - K \exp((\tilde{\sigma}_2 - a_2) \tilde{W}_{T-\tau}) - \right.$$

$$\left. - K \exp(-a_1 \tilde{W}_\tau - a_2 \tilde{W}_{T-\tau}) \right).$$

$$\max_{\tau \leq t \leq T} \tilde{W}_{t-\tau} \geq \frac{1}{\tilde{\sigma}_2} \times$$

$$\times \left(\ln \left(\frac{B}{S_0} \right) - \tilde{\sigma}_1 \tilde{W}_\tau \right), \tilde{W}_{T-\tau} \geq \frac{1}{\tilde{\sigma}_2} \left(\ln \left(\frac{K}{S_0} \right) - \tilde{\sigma}_1 \tilde{W}_\tau \right).$$

Учитывая, что случайная величина $\tilde{W}_\tau \sim N(0, \sqrt{\tau})$, а также применяя теорему 1, получаем требуемое равенство.

Теорема 2 доказана.

Дискретное время

Рассмотрим дискретную аппроксимацию модели (1). Для этого произведём разбиение временного отрезка $[0, T]$ на N частей с шагом $h = \frac{T}{N}$, введём новые параметры $r' = rh$, $\sigma' = \sigma \sqrt{h}$ и запишем формулы для стоимостей акции и банковского счёта в виде

$$\begin{cases} S_n = S_{n-1} \exp \left(\left(r' - \frac{\sigma'^2}{2} \right) + \sigma \varepsilon_n \right), \\ B_n = B_{n-1} \exp(r) \end{cases}$$

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

Процесс $(S_n)_{n=0}^N$ описывает стоимость акции, $(B_n)_{n=0}^N$ – банковского счёта. В качестве источника случайности рассматривается последовательность независимых, одинаково распределённых случайных величин $(\varepsilon_n)_{n=1}^N$, $\varepsilon_n \in \{-1, 1\}$, $P(\varepsilon_n = -1) = P(\varepsilon_n = 1)$, $n = 1, \dots, N$. Фильтрация $F_0 = \{\emptyset, \Omega\}$, $F_n = \sigma(\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n)$, $n = 1, \dots, N$.

Исходя из мартингалного равенства $E^* \left(\frac{S_n}{B_n} / F_{n-1} \right) = \frac{S_{n-1}}{B_{n-1}}$, $n = 1, \dots, N$, получаем формулы

для расчёта мартингалльной меры:

$$P^*(\varepsilon_n = 1) = p^* = \frac{\exp \left(\frac{\sigma'^2}{2} \right) - \exp(-\sigma')}{\exp(\sigma) - \exp(-\sigma)},$$

$$P^*(\varepsilon_n = -1) = 1 - p^* = \frac{\exp(\sigma) - \exp \left(\frac{\sigma'^2}{2} \right)}{\exp(\sigma) - \exp(-\sigma)}.$$

Заметим, что при $\lim_{\sigma \rightarrow 0} p^* = \frac{1}{2}$.

Рассмотрим случайную величину

$$\tau = \inf(n = 1, \dots, N : S_n \geq M),$$

где $M > S_0$ – заданный барьер.

Параметры модели имеют вид

$$r_n = r_1 I(n-1 < \tau) + r_2 I(n-1 \geq \tau),$$

$$\sigma_n = \sigma_1 I(n-1 < \tau) + \sigma_2 I(n-1 \geq \tau), \quad n = 1, \dots, N.$$

Предположим, что

$$r_i = \frac{\sigma_i^2}{2}, \quad i = 1, 2.$$

Тогда стоимость акции и банковский счёт примет вид

$$S_N = S_0 \exp\left(\sigma_1 \sum_{i=1}^{\tau} \varepsilon_i + \sigma_2 \sum_{i=\tau+1}^N \varepsilon_i\right),$$

$$B_N = B_0 \exp(r_1 \tau + r_2(N - \tau)).$$

Назовём полученную модель моделью с барьером без сноса.

В качестве финансового обязательства рассмотрим также верхний колл-опцион входа

$$f_N = \begin{cases} (S_N - K)^+, & \text{если } \max_{1 \leq n \leq N} S_n \geq B \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}. \quad (3)$$

Рассмотрим аналогичную задачу для дискретного времени:

$$\min X_0$$

$$\Delta \left(\frac{X_n}{B_n} \right) = \gamma_n \Delta \left(\frac{S_n}{B_n} \right), n = 1, \dots, N.$$

$$X_N \geq f_N$$

Процесс $(X_n)_{n=0}^N$ отражает оптимальный капитал портфеля; $X_0 = C$ – справедливая цена.

В силу единственности мартингалльной меры формула для расчёта справедливой цены имеет вид

$$X_0 = C = B_0 E^* \left(\frac{f_N}{B_N} \right).$$

Для модели с барьером без сноса формула для расчёта справедливой цены

$$X_0 = C = B_0 \sum_{i=1}^N E^* \left(\frac{f_N}{B_N} / \tau = i \right) P^*(\tau = i) =$$

$$= \sum_{i=1}^{N-1} C(i) P^*(\tau = i) + C(N) \left(1 - \sum_{i=1}^{N-1} P^*(\tau = i) \right), \quad (4)$$

где $C(i)$ – справедливая цена рассматриваемого платёжного обязательства (3) при условии, что момент остановки $\tau = i$.

Для того чтобы использовать (4), необходимо получить формулы для вычисления $C(i)$ и $P^*(\tau = i)$. Содержание теоремы 3 устанавливает формулы для $C(i)$, теоремы 4 – для $P^*(\tau = i)$.

Теорема 3. Пусть $\tau \in [0, N)$. Тогда

$$C(\tau) = \exp(-r_1 \tau - r_2(N - \tau)) (I_1(\tau) + I_2(\tau)).$$

$$I_1(\tau) = \sum_{j=0}^{\tau} i_0(S_0 \exp(\sigma_1(\tau - 2j))) \sum_{i=0}^{N-\tau} (S_0 \exp(\sigma_1(\tau - 2j) + \sigma_2(N - \tau - 2i)) - K)^+ \times$$

$$I_2(\tau) = \sum_{j=0}^{\tau} \sum_{i=k_0}^{N-\tau} \exp(2\sigma_2 \alpha(S_0 \exp(\sigma_1(\tau - 2j)))) \times$$

$$\times \left(\frac{p_2^*}{1 - p_2^*} \right)^{\alpha(S_0 \exp(\sigma_1(\tau - 2j)))} \times$$

$$\times (S_0 \exp(\sigma_1(\tau - 2j) + \sigma_2(N - \tau - 2i)) - K(S_0 \exp(\sigma_1(\tau - 2j))))^+ \times$$

$$\times C_{\tau}^j C_{N-\tau}^i (1 - p_1^*)^i (p_1^*)^{N-\tau-i} (1 - p_2^*)^j (p_2^*)^{\tau-j},$$

$$\alpha(S_{\tau}) = \left\lfloor \frac{\ln\left(\frac{B}{S_{\tau}}\right)}{\sigma_2} \right\rfloor + 1, i(S_{\tau}) =$$

$$= \left\lfloor \frac{1}{2}(N - \tau - \alpha(S_{\tau})) \right\rfloor, i_0(S_{\tau}) = \min(i(S_{\tau}), N - \tau),$$

$$k(S_{\tau}) = \left\lfloor \frac{1}{2}(N - \tau + \alpha(S_{\tau})) \right\rfloor + 1, k_0(S_{\tau}) = \max(k(S_{\tau}), 0),$$

$$K(S_{\tau}) = K \exp(-2\sigma_2 \alpha(S_{\tau})),$$

$$p_1^* = \frac{\exp\left(\frac{\sigma_1^2}{2}\right) - \exp(-\sigma_1)}{\exp(\sigma_1) - \exp(-\sigma_1)}, p_2^* = \frac{\exp\left(\frac{\sigma_2^2}{2}\right) - \exp(-\sigma_2)}{\exp(\sigma_2) - \exp(-\sigma_2)}.$$

Пусть $\tau \geq N$. Тогда $C(N) = \exp(-r_1 T) (I_1 + I_2)$,

$$I_1 = \sum_{i=0}^{\min(i_0, N)} (S_0 \exp(\sigma_1(N - 2i)) - K)^+ C_N^i (1 - p_1^*)^i (p_1^*)^{N-i},$$

$$I_2 = \exp(2\sigma_1 \alpha) \left(\frac{p_1^*}{1 - p_1^*} \right)^{\alpha} \times$$

$$\times \sum_{k=\max(k_0, 0)}^N (S_0 \exp(\sigma_1(N - 2k)) - K)^+ C_N^k (1 - p_1^*)^k (p_1^*)^{N-k},$$

$$\alpha = \left\lfloor \frac{\ln\left(\frac{B}{S_0}\right)}{\sigma_1} \right\rfloor + 1, i_0 = \left\lfloor \frac{1}{2}(N - \alpha) \right\rfloor, k_0 = \left\lfloor \frac{1}{2}(N + \alpha) \right\rfloor + 1, K =$$

$$= K \exp(-2\sigma_1 \alpha).$$

Доказательство. Докажем теорему для $\tau \in [0, N)$ (для $\tau \geq N$ доказательство проводится аналогично).

Учитывая формулу расчёта справедливой цены $C = X_0 = \exp(-r_1 \tau - r_2(N - \tau)) E^* f_N$, для доказательства теоремы вычислим $E^* f_N$.

В силу телескопического свойства условного математического ожидания $E^* f_N = E^*(E^*(f_N / F_{\tau}))$;

$E^*(f_N / F_\tau)$ с учётом того, что $\max_{0 \leq n \leq N} S_n = \max_{\tau \leq n \leq N} S_n$

для всех $\tau \in [0, N]$, можно записать следующим образом:

$$E^*(f_N / F_\tau) = E^* \left((S_N - K)^+ I \left(\max_{0 \leq n \leq N} S_n \geq B \right) / F_\tau \right) = E^* \left((S_N - K)^+ I(S_N \geq B) / F_\tau \right) + E^* \left((S_N - K)^+ I \left(\max_{\tau \leq n \leq N} S_n \geq B \right) I(S_N < B) / F_\tau \right).$$

Обозначим $J_1(\tau) = E^* \left((S_N - K)^+ I(S_N \geq B) / F_\tau \right)$,

$$J_2(\tau) = E^* \left((S_N - K)^+ I \left(\max_{\tau \leq n \leq N} S_n \geq B \right) I(S_N < B) / F_\tau \right),$$

$$I_1(\tau) = E^*(J_1(\tau)), I_2(\tau) = E^*(J_2(\tau)).$$

Введём обозначения: $Z_N = \sum_{i=1}^N \varepsilon_i, M_N = \max_{1 \leq n \leq N} Z_n$.

Стоимость акции

$$S_N = S_\tau \exp(\sigma_2 Z_{N-\tau}), S_\tau = S_0 \exp(\sigma_1 Z_\tau).$$

Вычислим $J_1(\tau)$.

$$J_1(\tau) = E^* \left((S_N - K)^+ I(S_N \geq B) / F_\tau \right) = E^* \left((S_N - K)^+ I(Z_{N-\tau} \geq \alpha(S_\tau)) / F_\tau \right) = \sum_{i=0}^{i_0(S_\tau)} \left(S_\tau \exp(\sigma_2(N-\tau-2i)) - K \right)^+ C_{N-\tau}^i (1-p_1^*)^i (p_1^*)^{N-\tau-i}.$$

Значения для $i_0(S_\tau)$ и $\alpha(S_\tau)$ имеют вид

$$\alpha(S_\tau) = \left\lfloor \frac{\ln \left(\frac{B}{S_\tau} \right)}{\sigma_2} \right\rfloor + 1; i(S_\tau) = \left\lfloor \frac{1}{2}(N-\tau-\alpha(S_\tau)) \right\rfloor,$$

$$i_0(S_\tau) = \min(i(S_\tau), N-\tau).$$

Вычислим $I_1(\tau)$.

$$I_1(\tau) = \sum_{j=0}^{\tau} \sum_{i=0}^{i_0(S_0 \exp(\sigma_1(\tau-2j)))} \left(S_0 \exp(\sigma_1(\tau-2j) + \sigma_2(N-\tau-2i)) - K \right)^+ C_{N-\tau}^j C_{N-\tau}^i (1-p_1^*)^i (p_1^*)^{N-\tau-i} (1-p_2^*)^j (p_2^*)^{\tau-j}.$$

Вычислим $J_2(\tau)$.

$$J_2(\tau) = E^* \left((S_N - K)^+ I \left(\max_{\tau \leq n \leq N} S_n \geq B \right) I(S_N < B) / F_\tau \right) =$$

$$E^* \left((S_N - K)^+ I(M_{N-\tau} \geq \alpha(S_\tau)) I(Z_{N-\tau} < \alpha(S_\tau)) / F_\tau \right).$$

Тогда

$$J_2(\tau) = \sum_{l=1}^{\alpha(S_\tau)} \left(S_\tau \exp(\sigma_2(\alpha(S_\tau)-l)) - K \right)^+ P^*(M_{N-\tau} \geq \alpha(S_\tau),$$

$$Z_{N-\tau} = \alpha(S_\tau) - l).$$

По принципу отражения [2]

$$P^*(M_{N-\tau} \geq \alpha(S_\tau), Z_{N-\tau} = \alpha(S_\tau) - l) = \left(\frac{p_2^*}{1-p_2^*} \right)^{\alpha(S_\tau)} \times$$

$$\times P^*(Z_{N-\tau} = -\alpha(S_\tau) - l),$$

что позволяет записать $J_2(\tau)$ в виде

$$J_2(\tau) = \exp(2\sigma_2 \alpha(S_\tau)) \left(\frac{p_2^*}{1-p_2^*} \right)^{\alpha(S_\tau)} \times$$

$$\times \sum_{l=1}^{\alpha(S_\tau)} \left(S_\tau \exp(\sigma_2(-\alpha(S_\tau)-l)) - K(S_\tau) \right)^+ P^* \times$$

$$\times (Z_{N-\tau} = -\alpha(S_\tau) - l) =$$

$$= \exp(2\sigma_2 \alpha(S_\tau)) \left(\frac{p_2^*}{1-p_2^*} \right)^{\alpha(S_\tau)} \times$$

$$\times E \left(\left(S_N - K(S_\tau) \right)^+ I(S_N < B(S_\tau)) / F_\tau \right),$$

где $K(S_\tau) = K \exp(-2\sigma_2 \alpha(S_\tau))$,

$B(S_\tau) = K \exp(-\sigma_2 \alpha(S_\tau))$.

Тогда

$$J_2(\tau) = \exp(2\sigma_2 \alpha(S_\tau)) \left(\frac{p_2^*}{1-p_2^*} \right)^{\alpha(S_\tau)} \times$$

$$\times \sum_{i=k_0(S_\tau)}^N \left(S_\tau \exp(\sigma_2(N-\tau-2i)) - K(S_\tau) \right)^+ \times C_{N-\tau}^i (1-p_1^*)^i (p_1^*)^{N-\tau-i},$$

$$I_2(\tau) = \sum_{j=0}^{\tau} \sum_{i=k_0(S_0 \exp(\sigma_1(\tau-2j)))}^N \exp(2\sigma_2 \alpha(S_0 \exp(\sigma_1(\tau-2j)))) \times$$

$$\times \left(\frac{p_2^*}{1-p_2^*} \right)^{\alpha(S_0 \exp(\sigma_1(\tau-2j)))} \times$$

$$\times (S_0 \exp(\sigma_1(\tau-2j) + \sigma_2(N-\tau-2i)) -$$

$$K(S_0 \exp(\sigma_1(\tau-2j))))^+ C_{N-\tau}^j C_{N-\tau}^i (1-p_1^*)^i (p_1^*)^{N-\tau-i} \times$$

$$\times (1-p_2^*)^j (p_2^*)^{\tau-j}.$$

Значение для $k_0(S_\tau)$

$$k(S_\tau) = \left\lfloor \frac{1}{2}(N-\tau+\alpha(S_\tau)) \right\rfloor + 1, k_0(S_\tau) = \max(k(S_\tau), 0).$$

Теорема 3 доказана.

Теорема 4 [8].

Пусть $L = \left\lfloor \frac{\ln \left(\frac{M}{S_0} \right)}{\sigma_1} \right\rfloor + 1$. Справедлива формула

для расчёта вероятностей $P(\tau = i), i = 1, \dots, N - 1$

$$P(\tau = i) = \begin{cases} \sum_{j=0}^L C_L^j \frac{(-1)^{k-j}}{k!} \prod_{l=0}^{k-1} \left(\frac{j}{2} - l \right), & \text{если } k = \frac{1}{2}(i + L), \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

$i = 1, \dots, N - 1, k = 0, 1, \dots$

Заключение

Полученные в работе результаты легко распространяются на случай, когда параметры модели изменяются несколько раз на интервале $[0, T]$, поэтому имеют общий характер для моделей со случайным переключением параметров.

Литература

1. Кудрявцев О.Е. Современные численные методы решения интегро-дифференциальных уравнений, возникающих в приложениях. М., 2010. 144 с.
2. Фельмер Г., Шид А. Введение в стохастические финансы. Дискретное время. М., 2008. 496 с.
3. Данилова Н.В., Белявский Г.И. Вычисление капитала оптимального портфеля с помощью комбинированного метода Монте-Карло в нелинейных моделях финансовых индексов // Сиб. электр. мат. изв. 2014. URL: <http://semr.math.nsc.ru/v11/p1021-1034.pdf> (дата обращения: 01.06.2015).
4. Ширяев А.Н. Основы стохастической финансовой математики. Т. 1: Факты, модели. М., 2004. 512 с.
5. Ширяев А.Н. Основы стохастической финансовой математики. Т. 2: Теория. М., 2004. 544 с.
6. Белявский Г.И., Данилова Н.В. Диффузионные модели со случайным переключением параметров. Расчёты и финансовые приложения. Lambert Academic Publishing, 2012. 32 с.
7. Ито К., Маккин Г. Диффузионные процессы и их траектории / пер. с англ.; под ред. Е.Б. Дынкина. М., 1968. 396 с.
8. Белявский Г.И., Данилова Н.В. Расчёт справедливой цены европейского опциона в модели (B,S)-рынка с барьером,

основанной на случайном блуждании // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2015. № 4. С. 25–28.

References

1. Kudryavtsev O.E. *Sovremennye chislennyye metody resheniya integro-differentsial'nykh uravnenii, vznikayushchikh v prilozheniyakh* [The modern numeric methods of integro-differential equations solving, arising in applications]. Moscow, 2010, 144 p.
2. Fel'mer G., Shid A. *Vvedenie v stokhasticheskie finansy. Diskretnoe vremya* [The introduction to stochastic finances]. Moscow, 2008, 496 p.
3. Danilova N.V., Belyavskii G.I. *Vychislenie kapitala optimal'nogo portfelya s pomoshch'yu kombinirovannogo metoda Monte-Karlo v nelineinykh modelyakh finansovykh indeksov* [The optimal portfolio capital calculation using the combined Monte-Carlo method in non-linear models of financial indexes]. *Sibirskie elektronnye matematicheskie izvestiya*, 2014. Available at: <http://semr.math.nsc.ru/v11/p1021-1034.pdf> (accessed 01.06.2015).
4. Shiryaev A.N. *Osnovy stokhasticheskoi finansovoi matematiki. T. 1: Fakty, modeli* [The base of stochastic mathematical finance. Vol. 1: Facts, models]. Moscow, 2004, 512 p.
5. Shiryaev A.N. *Osnovy stokhasticheskoi finansovoi matematiki. T. 2: Teoriya* [The base of stochastic mathematical finance. Vol. 2: Theory]. Moscow, 2004, 544 p.
6. Belyavskii G.I., Danilova N.V. *Diffuzionnye modeli so sluchainym pereklyucheniem parametrov. Raschety i finansovye prilozheniya* [The diffusion models with stochastic changing of parameters. Calculations and financial applications]. Lambert Academic Publishing, 2012, 132 p.
7. Ito K., Makkin G. *Diffuzionnye protsessy i ikh traektorii* [The diffusion processes and their trajectories]. Transl. from Engl.; Ed. E.B. Dynkin. Moscow, 1968, 396 p.
8. Belyavskii G.I., Danilova N.V. *Raschet spravedlivoi tseny evropeiskogo optionsa v modeli (B,S)-rynka s bar'erom, osnovannoi na sluchainom bluzhdanii* [The fair price calculation of the European option in the (B,S)-market model with barrier, based on the random walk]. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskii region. Estestvennyye nauki*, 2015, no 4, pp. 25-28.

УДК 517.98

DOI 10.18522/0321-3005-2016-1-17-20

ИНТЕРПОЛЯЦИОННЫЕ ТЕОРЕМЫ ДЛЯ ОПЕРАТОРОВ, ОГРАНИЧЕННЫХ НА КОНУСАХ В ВЕСОВЫХ ПРОСТРАНСТВАХ ЧИСЛОВЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

© 2016 г. В.М. Каплицкий, А.К. Дронов

Каплицкий Виталий Маркович – кандидат физико-математических наук, доцент, Южный федеральный университет, ул. Мильчакова, 8а, г. Ростов-на-Дону, 344090, e-mail: kaplitsky@donpac.ru

Kaplitskii Vitalii Markovich – Candidate of Physical and Mathematical Science, Assistant Professor, Southern Federal University, Milchakov St., 8a, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: kaplitsky@donpac.ru

Дронов Алексей Константинович – ассистент, Ростовский государственный экономический университет, ул. Большая Садовая, 69, г. Ростов-на-Дону, 344002, e-mail: floberrr@mail.ru

Dronov Aleksei Konstantinovich – Assistant, Rostov State Economical University, Bolshaya Sadovaya St., 69, Rostov-on-Don, 344002, Russia, e-mail: floberrr@mail.ru

Исследуются интерполяционные свойства тройки конусов, вложенных в банаховы пространства, по отношению к некоторой банаховой тройке. Сформулированы теоремы о наследовании интерполяционного свойства банаховой тройки тройкой вложенных конусов. Обсуждаются приложения этих результатов к теории базисов в ядерных пространствах Фреше числовых последовательностей.

Ключевые слова: банахово пространство, конус, интерполяция, метод вещественной интерполяции.

We study interpolation properties of triples of cones embedded in some Banach spaces with respect to another Banach triple. We formulate theorems on the inheritance of interpolation property of Banach triple by the triple of embedded cones. We discuss applications of these results to the theory of bases in nuclear spaces of numerical sequences.

Keywords: Banach space, cone, interpolation, the real interpolation method.

Теория интерполяции линейных операторов, ограниченных на конусах в банаховых пространствах, как и классическая теория интерполяции линейных операторов, ограниченных на паре банаховых пространств, может эффективно использоваться в различных задачах функционального анализа [1–9]. Например, интерполяционные теоремы для операторов, ограниченных на конусах в весовых пространствах числовых последовательностей, нашли применение в теории базисов в пространствах Фреше из классов (DN) и $(\bar{\Omega})$ (определение этих классов можно найти в [10]). Интерполяционная теорема из работы [11] позволяет доказать существование базиса в произвольном дополняемом подпространстве ядерного пространства Фреше с правильным базисом из класса $(\bar{\Omega})$ [12]. В статье мы приведем более общую теорему, которая доказывается тем же методом, который был использован в [11], и рассмотрим некоторые следствия из этой теоремы, не отмеченные в [11].

Предварительно напомним некоторые определения из теорий конусов и интерполяции операторов в банаховых пространствах. При этом будем использовать терминологию теории векторных

решеток, подробное изложение которой можно найти, например, в [13]. Подмножество Q линейного пространства E называется конусом, если для любых элементов $x, y \in Q$ и любого $\lambda \geq 0$ выполняется: $x + y \in Q$ и $\lambda x \in Q$. Конус Q линейного пространства E называется воспроизводящим, если его линейная оболочка $span(Q)$ совпадает с E . Конус Q линейного топологического пространства E называется тотальным, если его линейная оболочка $span(Q)$ плотна в E . Говорят, что конус Q обладает свойством нижней полурешетки, если $\min(x, y) \in Q$ для любых $x, y \in Q$. Конус Q в нормированном пространстве E называется несплюснутым, если существует такая константа $c = c(Q, E)$, что для любого $x \in E$ найдутся элементы $x^+, x^- \in Q : x = x^+ - x^-$, и при этом $\|x^+\| + \|x^-\| \leq c\|x\|$. Наименьшая из таких констант называется константой несплюснутости конуса Q и обозначается $\gamma = \gamma(Q, E)$.

Сформулируем постановку задачи теории интерполяции линейных операторов, ограниченных

на конусах [6, 7]. Пусть банахова тройка (E_0, E_1, E) интерполяционна относительно банаховой тройки (F_0, F_1, F) [14, с. 35]. Пусть $Q_0 \subset E_0$ и $Q_1 \subset E_1$ – конусы, и $Q \subset E$ – такой конус, что $Q_0 \cap Q_1 \subset Q \subset Q_0 + Q_1$. Говорят, что Q – промежуточный конус пары конусов (Q_0, Q_1) . Пусть $T: E_0 + E_1 \rightarrow F_0 + F_1$ – линейный оператор такой, что

$$\|Tx\|_{E_0} \leq M_0 \|x\|_{E_0}, \quad x \in Q_0,$$

$$\|Tx\|_{E_1} \leq M_1 \|x\|_{E_1}, \quad x \in Q_1.$$

Если для любого такого оператора T из этих неравенств следует неравенство

$$\|Tx\|_E \leq \tilde{n} \max\{M_0, M_1\} \|x\|_E, \quad x \in Q,$$

где $\tilde{n} = \tilde{n}(E_0, E_1, E, F_0, F_1, F)$, то говорят, что тройка конусов (Q_0, Q_1, Q) интерполяционна по отношению к банаховой тройке (F_0, F_1, F) .

Пусть $\{a(n)\}_{n=1}^{\infty}$ – некоторая последовательность положительных чисел. Мы будем рассматривать весовые пространства числовых последовательностей:

$$c_0(a) = \left\{ a(n)x(n) \in \tilde{n}_0 : \sup_{n \in N} a(n)|x(n)| < +\infty \right\}$$

с нормой $\|x\| = \sup_{n \in N} a(n)|x(n)|$.

Пусть $E_i = c_0(a_i)$, $F_i = c_0(b_i)$ ($i = 0, 1$), $E = c_0(a)$, $F = c_0(b)$. Через E_i^+, F_i^+, E^+ обозначим конусы $\omega^+ \cap E_i, \omega^+ \cap F_i, \omega^+ \cap E$ соответственно. Согласно теореме Петре [15], банахова тройка (E_0, E_1, E) интерполяционна по отношению к банаховой тройке (F_0, F_1, F) тогда и только тогда, когда существует постоянная $\tilde{N} > 0$ такая, что

$$\frac{b(m)}{a(n)} \leq C \max \left\{ \frac{b_0(m)}{a_0(n)}, \frac{b_1(m)}{a_1(n)} \right\} \quad (1)$$

при всех $m, n \in N$.

Теорема. Пусть E_0, E_1, E, F_0, F_1, F – пространства c_0 с весами, удовлетворяющими (1). Пусть Q – конус в $E_0 + E_1$ такой, что:

- 1) Q – нижняя полурешетка;
- 2) $Q \cap E_0^+ \cap E_1^+$ – тотальный конус в пространстве $E_0 \cap E_1$;
- 3) конус $Q \cap E_0^+ \cap E_1^+$ содержит строго положительный вектор.

Тогда тройка конусов $(E_0^+, Q \cap E_1^+, Q \cap E^+)$ обладает интерполяционным свойством по отношению к банаховой тройке (F_0, F_1, F) .

При этом, если $T: E_0 + E_1 \rightarrow F_0 + F_1$ – линейный ограниченный оператор такой, что

$$\|Tx\|_{F_0} \leq M_0 \|x\|_{E_0}, \quad x \in E_0^+,$$

$$\|Tx\|_{F_1} \leq M_1 \|x\|_{E_1}, \quad x \in Q \cap E_1^+,$$

то оператор T переводит конус $Q \cap E^+$ в пространство F и

$$\|Tx\|_F \leq c \max\{M_0, M_1\} \|x\|_E, \quad x \in Q \cap E^+,$$

где $c = c(E_0, E_1, E, F_0, F_1, F)$ – интерполяционная постоянная банаховой тройки (E_0, E_1, E) по отношению к банаховой тройке (F_0, F_1, F) .

В [11] эта теорема доказана при дополнительном условии вложенности пространств: $E_1 \subset E \subset E_0$ и $F_1 \subset F \subset F_0$, однако это условие несущественно и теорема справедлива в приведенной выше общей формулировке.

Следствие 1. Пусть выполняются условия теоремы и, кроме того, конус $Q \cap E_0^+$ является несплюсненным в пространстве E_0 . Тогда тройка конусов $(Q \cap E_0^+, Q \cap E_1^+, Q \cap E^+)$ обладает интерполяционным свойством по отношению к банаховой тройке (F_0, F_1, F) . При этом, если T – линейный ограниченный оператор из $E_0 + E_1$ в $F_0 + F_1$ такой, что

$$\|Tx\|_{F_0} \leq M_0 \|x\|_{E_0}, \quad x \in E_0^+,$$

$$\|Tx\|_{F_1} \leq M_1 \|x\|_{E_1}, \quad x \in Q \cap E_1^+,$$

то $T: Q \cap E^+ \rightarrow F$ и

$$\|Tx\|_F \leq \gamma c \max\{M_0, M_1\} \|x\|_E, \quad x \in Q \cap E^+,$$

где $c = c(E_0, E_1, E, F_0, F_1, F)$ – интерполяционная постоянная банаховой тройки (E_0, E_1, E) по отношению к банаховой тройке (F_0, F_1, F) , а $\gamma = \gamma(Q \cap E_0^+, E_0)$ – константа несплюсненности.

Доказательство. Пусть $x \in E_0^+$. Тогда существуют векторы $x_+, x_- \in Q \cap E_0^+$ такие, что $x = x^+ - x^-$, $\|x^+\|_{E_0} + \|x^-\|_{E_0} \leq \gamma \|x\|_{E_0}$. Так как

$$\|Tx\|_{E_0} \leq M_0 \|x\|_{E_0} \text{ при } x \in Q \cap E_0^+, \text{ то}$$

$$\|Tx\|_{F_0} \leq \|Tx^+\|_{E_0} + \|Tx^-\|_{F_0} \leq$$

$$\leq M_0 \left(\|x^+\|_{E_0} + \|x^-\|_{E_0} \right) \leq \gamma M_0 \|x\|_{E_0}.$$

Тогда в силу теоремы справедливо неравенство $\|Tx\|_F \leq \gamma c \max\{M_0, M_1\} \|x\|_E$ при $x \in Q \cap E^+$. Следствие доказано.

Следствие 2. Пусть выполняются условия теоремы и, кроме того, $Q \cap E_0^+$ – замкнутый воспроизводящий конус в пространстве E_0 . Тогда тройка $(Q \cap E_0^+, Q \cap E_1^+, Q \cap E^+)$ обладает интерполяционным свойством по отношению к банаховой тройке (F_0, F_1, F) .

Доказательство. По теореме Крейна – Шмульяна [16] всякий замкнутый воспроизводящий конус является несплюсненным, из чего следует утверждение следствия.

В связи с теоремой возникает следующий вопрос. Пусть Q – нижняя полурешетка и выполняются условия 2) и 3) теоремы. Верно ли, что тройка конусов $(Q \cap E_0^+, Q \cap E_1^+, Q \cap E^+)$ обладает интерполяционным свойством по отношению к банаховой тройке (F_0, F_1, F) ? Ответ пока неизвестен. Заметим, что в случае положительного ответа конструкция работы [12] позволила бы доказать существование базиса в произвольном дополняемом подпространстве ядерного пространства Фреше с правильным базисом. Заметим, что интерполяционное свойство банаховой тройки не всегда наследуется тройками конусов. Пример тройки конусов, не наследующей интерполяционное свойство, приведен в [11].

Литература

1. Мазья В.Г. Пространства С.Л. Соболева. Л., 1985. 416 с.
2. Бережной Е.И. Точные оценки операторов на конусах в идеальных пространствах // Тр. МИАН. 1993. Т. 204. С. 3–35.
3. Бережной Е.И., Буренков В.И. Улучшенные интерполяционные теоремы для одного класса операторов // Изв. РАН. Сер. мат. 1998. Т. 62, № 4. С. 3–24.
4. Берг Й., Лёфстрём Й. Интерполяционные пространства. Введение. М., 1980. 264 с.
5. Трибель Х. Теория интерполяции, функциональные пространства, дифференциальные операторы. М., 1980. 664 с.
6. Sagher Y. Some remarks on interpolation of operators and Fourier coefficients // *Studia Mathematica*. 1972. Vol. 44. P. 239–252.
7. Cedra J., Coll H. Function cones and interpolation // *Math. Nachr.* 2005. № 278. P. 227–239.
8. Cedra J., Martin J. Interpolation of operators on decreasing functions // *Math. Scand.* 1996. № 78. P. 233–245.
9. Трибель Х. Теория функциональных пространств. М., 1986. 448 с.

10. Захарюта В.П. Об изоморфизме декартовых произведений линейных топологических пространств // *Функциональный анализ и его приложения*. 1970. Т. 4, вып. 2. С. 87–89.
11. Каплицкий В.М., Дронов А.К. К теории интерполяции операторов, ограниченных на конусах в весовых пространствах числовых последовательностей // *Зап. науч. сем. ПОМИ*. 2014. № 424. С. 154–178.
12. Каплицкий В.М., Дронов А.К. Применение интерполяционных свойств операторов, ограниченных на конусах, к некоторым вопросам теории базисов в пространствах Фреше // *Мат. форум*. 2014. № 7. С. 88–103.
13. Вулик Б.З. Введение в теорию полуупорядоченных пространств. М., 1961. 410 с.
14. Крейн С.Г., Петунин Ю.И., Семенов Е.М. Интерполяция линейных операторов. М., 1978. 400 с.
15. Peetre J. A theory of interpolation of normed spaces // *Notas de mathematica*. 1968. Vol. 39. P. 1–86.
16. Abramovich Y.A., Aliprantis C.D. Positive operators // *Handbook of Geometry of Banach Spaces*. 2001. Vol. 1. P. 85–122.

References

1. Maz'ya V.G. *Prostranstva S.L. Soboleva* [V.G. Sobolev spaces]. Leningrad, 1985, 416 p.
2. Berezhnoi E. I. Tochnye otsenki operatorov na konusakh v ideal'nykh prostranstvakh [Sharp estimates for operators on cones in ideal spaces]. *Tr. MIAN*, 1993, vol. 204, pp. 3-35.
3. Berezhnoi E.I., Burenkov V.I. Uluchshennye interpolatsionnye teoremy dlya odnogo klassa operatorov [Improved interpolation theorems for a class of operators]. *Izv. RAN. Ser. mat.*, 1998, vol. 62, no 4, pp. 3-24.
4. Berg I., Lefstrem I. *Interpoliyatsionnye prostranstva. Vvedenie* [Interpolation spaces. Introduction]. Moscow, 1980, 264 p.
5. Tribel' Kh. *Teoriya interpoliyatsii, funktsional'nye prostranstva, differentsial'nye operatory* [Interpolation theory, functional spaces, differential operators]. Moscow, 1980, 664 p.
6. Sagher Y. Some remarks on interpolation of operators and Fourier coefficients. *Studia Mathematica*, 1972, vol. 44, pp. 239-252.
7. Cedra J., Coll H. Function cones and interpolation. *Math. Nachr.*, 2005, no 278, pp. 227-239.
8. Cedra J., Martin J. Interpolation of operators on decreasing functions. *Math. Scand.*, 1996, no 78, pp. 233-245.
9. Tribel' Kh. *Teoriya funktsional'nykh prostranstv* [The theory of functional spaces]. Moscow, 1986, 448 p.
10. Zakharyuta V.P. Ob izomorfizme dekartovykh proizvedenii lineinykh topologicheskikh prostranstv [Isomorphisms of Cartesian products of linear topological spaces]. *Funktsional'nyi analiz i ego prilozheniya*, 1970, vol. 4, no 2, pp. 87-89.
11. Kaplitskii V.M., Dronov A.K. K teorii interpoliyatsii operatorov, ogranichennykh na konusakh v vesovykh prostranstvakh chislovykh posledovatel'nostei [On the theory of interpolation of bounded operators on cones in weighted spaces of numerical sequences]. *Zap. nauch. sem. POMI*, 2014, no 424, pp. 154-178.
12. Kaplitskii V.M., Dronov A.K. Primenenie interpoliyatsionnykh svoystv operatorov, ogranichennykh na konusakh, k

- nekotorym voprosam teorii bazisov v prostranstvakh Freshe [Application of interpolation properties of bounded operators on cones, some questions in the theory of bases in Frechet spaces]. *Mat. forum*, 2014, no 7, pp. 88-103.
13. Vulikh B.Z. *Vvedenie v teoriyu poluuporyadochennykh prostranstv* [Introduction to the theory of partially ordered spaces]. Moscow, 1961, 410 p.
14. Krein S.G., Petunin Yu.I., Semenov E.M. *Interpolyatsiya lineinykh operatorov* [Interpolation of linear operators]. Moscow, 1978, 400 p.
15. Peetre J. A theory of interpolation of normed spaces. *Notas de mathematica*, 1968, vol. 39, pp. 1-86.
16. Abramovich Y.A., Aliprantis C.D. Positive operators. *Handbook of Geometry of Banach Spaces*, 2001, vol. 1, pp. 85-122.

Поступила в редакцию

26 октября 2015 г.

УДК 519.83±519.86

DOI 10.18522/0321-3005-2016-1-21-25

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЦИАЛЬНОГО ПАРТНЕРСТВА В БАНКОВСКОЙ СИСТЕМЕ*

© 2016 г. В.А. Магдесян, А.Б. Усов

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

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

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

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

Рассматривается проблема социального партнерства в банковской системе. В качестве субъектов выступают центральный банк (ведущий) и один или несколько коммерческих банков. Проблема социального партнерства в банковской системе, несомненно, актуальна. Она должна быть достаточно гибкой, чтобы обеспечить удобство взаимоотношений между людьми и банками. В качестве участников социального партнерства рассматриваются банковские учреждения, центральный банк, люди, пользующиеся услугами банков.

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

In this article we are going to analyze the problem of social partnership in the banking system. Without a doubt this problem is highly relevant. The system has to be flexible enough to provide comfortable relationship between people and banks. We will consider banks, the central bank and people, who use banking services, as the participants of this social partnership. The result of the partnership will be the income growth of the banks and the central bank.

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

Современные системы управления являются сложными многоуровневыми системами, отношения внутри которых построены на основе иерархии. Имеется один субъект управления верхнего уровня (начальник) и один или несколько субъектов нижнего уровня (подчиненных). Каждый из субъектов преследует свои индивидуальные эгоистические цели, часто не имеющие ничего общего с общесистемными целями, которые состоят в поддержании системы в устойчивом состоянии [1–4]. Проблемы иерархического управления устойчивым развитием представляются чрезвычайно актуальными для экономических, эколого-экономических, социальных и политических систем различной природы и структуры [5, 6]. Иерархическое управление устойчивым развитием предназначено для решения экологических проблем на глобальном, региональном и локальном уровнях, а также проблем управления предприятиями и организациями

различных секторов экономики и форм собственности, проблем государственного устройства и других [7, 8].

Во всех указанных случаях (воздействие человека на окружающую природную среду, управление предприятиями и организациями, территориальное взаимодействие) имеются определенные общие черты: изменение состояния управляемых систем происходит в результате воздействия субъектов управления разных уровней, имеющих собственные цели и интересы; отношения между субъектами управления строятся на основе иерархии; цели и интересы разных субъектов различны, как правило, являются несовпадающими, а порой и противоречивыми; реализация эгоистических целей различных субъектов может привести к нарушению устойчивого состояния системы, иметь негативные последствия; можно указать одного или нескольких субъектов, заинтересованных в поддержании всей

*Работа выполнена при финансовой поддержке Южного федерального университета, проект № 213.01-07.2014/07-ПЧВГ.

системы в устойчивом состоянии и располагающих определенными возможностями для достижения этой цели. Наличие этих общих черт позволяет построить содержательную теорию, включающую как дескриптивные, так и нормативные аспекты [9, 10].

В данной статье рассматривается проблема социального партнерства в банковской системе. В качестве субъектов – центральный банк (ведущий) и один или несколько коммерческих банков. Участники социального партнерства – это банковские учреждения, центральный банк, люди, пользующиеся услугами банков.

Математическая постановка задачи

Простейшей иерархически управляемой динамической системой является двухуровневая, включающая в себя [9, 10]:

- источник воздействия верхнего уровня (ведущий);
- источник воздействия нижнего уровня (ведомый);
- управляемую систему (УС).

Взаимоотношения внутри иерархической системы устроены следующим образом: ведущий воздействует на ведомого, ведомый – на УС. Воздействуя на УС, ведомый преследует какие-то свои эгоистические цели (например, получение максимальной прибыли в результате производства). Ведущий, воздействуя на ведомого, способен обеспечить поддержание УС в заданном состоянии. В системе присутствует обратная связь, а именно информация о текущем состоянии УС, полученная в результате прогнозирования или проведения мониторинга, поступает ко всем субъектам управления.

Рассматривается двухуровневая модель банковской системы, включающая:

- центральный банк (ЦБ);
- коммерческие банки (КБ);
- управляемую систему (УС, клиенты КБ).

ЦБ воздействует на КБ. Его главной целью является поддержание банковской системы в заданном состоянии. Кроме того, ЦБ преследует свои частные цели и стремится к максимизации своего дохода. Подобная организация взаимоотношений обусловила иерархию между субъектами управления системы, в соответствии с которой ЦБ выступает в качестве субъекта управления верхнего уровня, КБ – нижнего. Взаимоотношения между субъектами данной системы носят следующий характер: ЦБ воздействует на КБ, КБ – на УС. Непосредственное воздействие ЦБ на УС отсутствует.

Предполагается, что ЦБ стремится к максимизации своего дохода, и его целевая функция имеет вид

$$J_0 = KVD(v, PSL) \cdot v - R(KVD(v, PSL), v) -$$

$$-M(KVD(v, PSL), v) \rightarrow \max_v, \quad (1)$$

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

Целевая функция КБ

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

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

Функции $R(KVD, v)$, $M(KVD, v)$, $L(KVD, PSL)$, $S(KVD, PSL)$ являются выпуклыми возрастающими, а $KVD(v, PSL)$ – убывающей функцией своих аргументов.

В модели предполагается, что все взятые у ЦБ деньги выдаются КБ в качестве кредитов населению.

Ограничения на управления ЦБ и КБ берутся в виде

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

$$v_{\min} \leq v \leq v_{\max}, \quad (4)$$

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

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

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

где kv_{\min} , $kv_{\max} = const$.

Итак, исследуется модель социального партнерства, описываемая соотношениями (1)–(5).

Исследование модели

Для модели (1)–(5) строится равновесие Штакельберга согласно следующему алгоритму [2, 3, 8–10]:

1. Решается задача (2), (3). Определяются оптимальные стратегии КБ в зависимости от стратегии ЦБ.

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

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

Исследуем модель (1)–(5) согласно этому алгоритму для следующих входных функций:

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

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

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

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

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

Здесь $C_1, C_2, C_3, B_2, B_3 = const$. Вид входных функций обусловлен анализом данных из сети Интернет [11].

Подставим (6) в (1)–(5). Первыми решаются задачи КБ (2), (3). Решение проведем методом множителей Лагранжа. Найдем первую производную (2) и приравняем ее к нулю:

$$\frac{\partial J_1}{\partial PSL} = \frac{C_1}{v^2} - 2 \cdot B_2 \cdot \frac{PSL}{v} - B_3 \cdot \frac{2 \cdot PSL}{v^2} = 0.$$

Отсюда

$$PSL_1 = \frac{1}{2 \cdot B_2 \cdot v + 2 \cdot B_3}.$$

$$d^2 J_1 / d PSL^2 < 0.$$

Следовательно, если стратегия PSL_1 существует и принадлежит множеству допустимых управлений КБ, то она является для него оптимальной. Оптимальное управление ведомого определяется формулой

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

Обозначим

$$v_1 = \frac{1 - 2 \cdot PSL_{\min} \cdot B_3}{2 \cdot PSL_{\min} \cdot B_2}; \quad v_2 = \frac{1 - 2 \cdot PSL_{\max} \cdot B_3}{2 \cdot PSL_{\max} \cdot B_2}.$$

Решим задачу ЦБ. Его целевая функция имеет вид

$$J_0 = \frac{C_1}{v} - C_1 \cdot C_2 \cdot v \cdot PSL - C_1 \cdot C_3 \cdot v \cdot PSL^2.$$

Пусть $v_{\min} \leq v_2 \leq v_1 \leq v_{\max}$. Рассмотрим три возможных случая:

1) $v_{\min} \leq v < v_2$.

В этом случае $PSL^* = PSL_{\max}$,

$$J_0 = \frac{C_1}{v} - C_1 \cdot C_2 \cdot v \cdot PSL_{\max} - C_1 \cdot C_3 \cdot v \cdot PSL_{\max}^2.$$

Уравнение

$$\frac{\partial J_0}{\partial v} = -C_1 \cdot \frac{1}{v^2} - C_1 \cdot C_2 \cdot PSL_{\max} - C_1 \cdot C_3 \cdot PSL_{\max}^2 = 0$$

не имеет решений в области (4).

Следовательно, в этом случае равновесием является одна из стратегий (v_{\min}, PSL_{\max}) , (v_2, PSL_{\max}) ;

2) $v_2 \leq v < v_1$.

Тогда $PSL^* = PSL_1$ и

$$J_0 = C_1 \cdot \frac{1}{v} - C_1 \cdot C_2 \cdot \frac{1 - v}{2 \cdot (B_2 \cdot v + B_3)} - C_1 \cdot C_3 \cdot v \cdot \frac{(1 - v)^2}{4 \cdot (B_2 \cdot v + B_3)^2}.$$

Уравнение $\frac{\partial J_0}{\partial v} = 0$ не имеет вещественных решений. Следовательно, равновесием в этом случае является одна из пар стратегий: (v_1, PSL_1) , (v_2, PSL_1) ;

3) $v_1 \leq v < v_{\max}$.

Этот случай аналогичен первому, $PSL^* = PSL_{\min}$ и оптимальной является одна из стратегий (v_{\min}, PSL_{\min}) , (v_{\max}, PSL_{\min}) .

В результате равновесием системы является одна из точек

$$(v_{\min}, PSL_{\max}), (v_{\max}, PSL_{\max}), (v_1, PSL_1), (v_2, PSL_1), (v_{\min}, PSL_{\min}), (v_{\max}, PSL_{\min}), (v_1, PSL_{\max}), (v_2, PSL_{\max}).$$

Выбор одной из этих точек проводится после задания всех входных параметров задачи.

В случае входных функций общего вида равновесие строится путем имитации и перебора областей допустимых управлений ЦБ и КБ [8–10].

Результаты счета

Ниже приведены результаты проведенных расчетов для ряда характерных наборов входных данных в случае входных функций вида (6).

Пример 1. Пусть $PSL_{\min} = 0,05$; $PSL_{\max} = 0,3$; $v_{\min} = 0,05$; $v_{\max} = 0,14$; $B_2 = 15$ р.; $B_3 = 1,7$ р.; $C_1 = 15000$ р.; $C_2 = 12$ р.; $C_3 = 200$ р. Тогда $v = v_{\min} = 0,05$; $PSL = PSL_1 = 0,204$; $J_0 = 291915,87$ р.; $J_1 = 12244,897$ р.

Пример 2. Для входных данных примера 1 и $C_2 = 12$ р. получим, что оптимальные стратегии субъектов не изменятся и $J_0 = 350299,04$ р.; $J_1 = 14693,88$ р. Таким образом, при увеличении

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

Пример 3. Для входных данных примера 1 и $C_2 = 20$ р. оптимальные стратегии субъектов не изменятся и $J_0 = 290691,38$ р.; $J_1 = 12244,897$ р.

Пример 4. Для входных данных примера 1 и $C_3 = 500$ р. – $J_0 = 282544,78$ р.; $J_1 = 12244,897$ р. Таким образом, при увеличении затрат ЦБ на рекламу или на зарплату сотрудникам ЦБ его доход падает, а КБ – не меняется.

Пример 5. Для входных данных примера 1 и $B_2 = 15,5$ р. – $J_0 = 292060$ р.; $J_1 = 6060,6$ р.

Пример 6. Для входных данных примера 1 и $B_3 = 1,71$ р. – $J_0 = 291974,02$ р.; $J_1 = 9756,097$ р.

Следовательно, при изменении величин B_2 и B_3 в некотором диапазоне доход КБ падает, а ЦБ – меняется незначительно.

Пример 7. Для входных данных примера 1 и $B_3 = 1,5$ р.; $v_{\max} = 0,15$ в таблице указана зависимость доходов ЦБ и КБ от процента, под который КБ выдает деньги клиентам.

Доходы ЦБ и КБ

PSL_{\min}	PSL_{\max}	PSL^*	J_0 , р.	J_1 , р.
0,05	0,2	0,2	292200	60000
0,2	0,25	0,22	290592,59	66666,7
0,25	0,3	0,25	288375	56250
0,3	0,35	0,3	283800	15000

Таким образом, повышение процента, под который КБ выдает деньги клиентам, до определенного момента увеличивает его доход, а затем доход начинает падать (количество клиентов, обратившихся в банк, уменьшается). ЦБ в этом случае все время терпит убытки, так как количество кредитов, выданных КБ, уменьшается.

Заключение

В работе на основе теоретико-игрового и иерархического подходов построена математическая модель банковской системы, учитывающая субъектов управления двух уровней. Использован метод побуждения (в качестве метода иерархического управления в системе). Проведен ряд численных экспериментов исследования равновесия Штакельберга. Выявлены некоторые закономерности функционирования системы:

1. Построение равновесия Штакельберга с учетом требований к управляемой системе возможно. Ведущий может добиться поддержания системы в заданном состоянии.

2. Чем меньше процент, под который ЦБ выдает деньги КБ, тем больше прибыль ЦБ, но этот процент для используемых входных данных не должен опускаться ниже 5 %. Действительно, чем меньше процент, тем больше банков, которые берут кредиты у ЦБ.

3. При низком проценте, под который ЦБ выдает деньги КБ, КБ выгодно завышать процент, под который они выдают деньги клиентам.

4. Увеличение расходов на рекламу или зарплату сотрудникам уменьшает доход ЦБ, хотя эти рас-

ходы и можно увеличивать для привлечения новых клиентов.

5. Увеличение количества клиентов у КБ значительно увеличивает доход как КБ, так и ЦБ. Поэтому и КБ, и ЦБ выгодно в известном диапазоне уменьшать процент по кредитам для привлечения большего числа клиентов.

7. При увеличении различных затрат ЦБ или КБ основные убытки несет в любом случае КБ, доход ЦБ уменьшается незначительно.

Литература

1. Гермейер Ю.Б. Игры с противоположными интересами. М., 1976. С. 326.
2. Угольницкий Г.А., Усов А.Б. Динамические иерархические игры двух лиц в программных стратегиях и их приложения // Математическая теория игр и ее приложения. 2013. Т. 5, вып. 2. С. 82–104.
3. Угольницкий Г.А., Усов А.Б. Исследование дифференциальных моделей иерархических систем управления путем их дискретизации // АИТ. 2013. № 2. С. 109–122.
4. Угольницкий Г.А., Усов А.Б. Равновесия в моделях иерархически организованных динамических систем с учетом требований устойчивого развития // АИТ. 2014. № 6. С. 86–102.
5. Петросян Л.А., Ширяев В.Д. Иерархические игры. Саранск, 1986. С. 92.
6. Угольницкий Г.А. Иерархическое управление устойчивым развитием. М., 2010. С. 336.
7. Кононенко А.Ф. О многошаговых конфликтах с обменом информацией // Журн. вычисл. математики и мат. физики. 1977. № 4. С. 922–931.
8. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. М., 2012. 604 с.
9. Горелов М.А., Кононенко А.Ф. Динамические модели конфликтов. Иерархические игры // Автоматика и телемеханика. 2015. № 2. С. 89–106.

10. Губко М.В., Новиков Д.А. Теория игр в управлении организационными системами. М., 2002. С. 148
11. URL: <https://www.cbr.ru/ckki/> (дата обращения: 12.12.2015).

References

1. Germeier Yu.B. *Iгры s neprotivopolozhnyimi interesami* [Game with nonconflicting interests]. Moscow, 1976, p. 326.
2. Ugol'nitskii G.A., Usov A.B. Dinamicheskie ierarkhicheskie igry dvukh lits v programmnykh strategiyakh i ikh prilozheniya [Dynamic hierarchical two-person game in program strategies and their applications]. *Mat. teoriya igr i ee prilozheniya*, 2013, vol. 5, no 2, pp. 82-104.
3. Ugol'nitskii G.A., Usov A.B. Issledovanie differentsial'nykh modelei ierarkhicheskikh sistem upravleniya putem ikh diskretizatsii [Investigation of differential patterns of hierarchical control systems by means of their sampling]. *AiT*, 2013, no 2, pp. 109-122.
4. Ugol'nitskii G.A., Usov A.B. Ravnovesiya v modelyakh ierarkhicheski organizovannykh dinamicheskikh sistem s uchedom trebovaniy ustoichivogo razvitiya [Equilibrium models of hierarchically organized dynamic systems with the requirements of sustainable development]. *AiT*, 2014, no 6, pp. 86-102.
5. Petrosyan L.A., Shiryaev V.D. *Ierarkhicheskie igry* [Hierarchical games]. Saransk, 1986, p. 92.
6. Ugol'nitskii G.A. *Ierarkhicheskoe upravlenie ustoichivym razvitiem* [Hierarchical management of sustainable development]. Moscow, 2010, p. 336.
7. Kononenko A.F. O mnogoshagovykh konfliktakh s obmenom informatsiei [About multistage conflicts with the exchange of information]. *Zhurn. vychisl. matematiki i mat. fiziki*, 1977, no 4, pp. 922-931.
8. Novikov D.A. *Teoriya upravleniya organizatsionnymi sistemami* [Theory of control in organization systems]. Moscow, 2012, 604 p.
9. Gorelov M.A., Kononenko A.F. Dinamicheskie modeli konfliktov. Ierarkhicheskie igry [Dynamic models of conflict. Hierarchical games]. *Avtomatika i telemekhanika*, 2015, no 2, pp. 89-106.
10. Gubko M.V., Novikov D.A. *Teoriya igr v upravlenii organizatsionnymi sistemami* [Game theory in the management of organizational systems]. Moscow, 2002, p. 148.
11. Available at: <https://www.cbr.ru/ckki/> (accessed 12.12.2015).

УДК 519.634

DOI 10.18522/0321-3005-2016-1-26-31

ОБРАЗОВАНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ КАВИТАЦИОННЫХ ЗОН ПРИ ВЕРТИКАЛЬНОМ УДАРЕ КРУГОВОГО ЦИЛИНДРА, ПОЛНОСТЬЮ ПОГРУЖЕННОГО В ЖИДКОСТЬ*

© 2016 г. М.В. Норкин

Норкин Михаил Викторович – доктор физико-математических наук, доцент, профессор, кафедра вычислительной математики и математической физики, Институт математики, механики и компьютерных наук им. И.И. Воровича, Южного федерального университета, Мильчакова, 8а, г. Ростов-на-Дону, 344090, e-mail: norkinmi@mail.ru

Norkin Mikhail Viktorovich – Doctor of Physical and Mathematical Science, Associate Professor, Professor, Department of Mathematics and Mathematical Physics, Vorovich Institute of Mathematics, Mechanics and Computer Science of the Southern Federal University, Milchakov St., 8a, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: norkinmi@mail.ru

Исследуется динамическая смешанная задача о вертикальном ударе и последующем движении с постоянным ускорением кругового цилиндра, полностью погруженного в идеальную и несжимаемую жидкость. Показывается, что при определенных условиях наряду с зоной отрыва, вызванной ударом, образуются дополнительные кавитационные зоны, зависящие от закона движения цилиндра после удара и физических параметров задачи. Изучается влияние ускорения цилиндра на расположение зон отрыва и их связность.

Ключевые слова: идеальная несжимаемая жидкость, удар с отрывом, малые времена, асимптотический анализ, каверна, число Фруда, число кавитации, дополнительные кавитационные зоны.

The dynamic mixed task about vertical impact and the subsequent movement with continuous acceleration of the circular cylinder which is completely shipped in ideal and incompressible liquid is investigated. It is shown that under certain conditions, along with the zone of a separation caused by impact the additional cavitation zones depending on the law of the movement of the cylinder after impact and physical parameters of a task are formed. Influence of acceleration of the cylinder on an arrangement of zones of a separation and their connectivity is studied.

Keywords: ideal incompressible liquid, impact with a separation, small times, the asymptotic analysis, a cavity, Froude's number, cavitation number, additional cavitation zones.

Исследования по классическим смешанным задачам гидродинамического удара в постановке Л.И. Седова [1] позволяют сделать вывод о том, что отрыв жидкости от тела при ударе происходит в подавляющем большинстве случаев. При этом безотрывный удар возможен только для некоторого класса тел, плавающих на поверхности жидкости. Обсуждение этих вопросов, а также подробные обзоры работ по удару с отрывом приводятся в [2–5]. При изучении задачи об ударе с отрывом важную роль играют первоначальные зоны отрыва частиц жидкости, которые определяются на основе классической модели удара Л.И. Седова [1]. В момент удара положение механической системы не успевает измениться и образующаяся на поверхности тела зона отрыва характеризуется тем, что импульсивное давление в ней равняется нулю. В следующие после удара моменты времени внутренняя свободная граница отходит от поверхности тела и образу-

ется каверна, заполненная парами жидкости или газа [1]. Давление в каверне можно создавать также и искусственным путем, считая, например, что сразу после удара в каверну (со стороны тела) поступает газ постоянного давления.

В работах [6–8] исследовалась задача о движении кругового цилиндра в жидкости после отрывного удара на малых временах с постоянной скоростью. Положение точек отрыва внутренней свободной границы жидкости в каждый момент времени определялось из условия конечности скорости жидкости в этих точках (из условия Кутта – Жуковского). В результате для различных случаев, были построены регулярные асимптотические решения динамической задачи удара на малых временах. Наряду с условием Кутта – Жуковского должно также выполняться другое важное физическое условие – положительности давления на всей смоченной поверхности тела. Проведенные исследова-

*Работа выполнена в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности (задание № 1.1398.2014/к).

дования показывают, что последнее условие выполняется не во всех случаях. Нарушение условия положительности давления приводит к необходимости введения дополнительных кавитационных зон. Отметим, что близкая задача о начальном этапе движения кругового цилиндра в жидкости из состояния покоя с постоянным ускорением рассматривалась в [9].

Постановка задачи

Рассматривается задача о вертикальном ударе кругового цилиндра, плавающего под свободной поверхностью идеальной, несжимаемой, тяжелой жидкости. Предполагается, что до удара тело и жидкость покоились. После удара цилиндр движется поступательно в вертикальном направлении с постоянным ускорением. Удар цилиндра, полностью погруженного в жидкость, сопровождается отрывом частиц жидкости от его поверхности и образованием растущей присоединенной каверны позади тела. После удара, в зависимости от конкретной физической ситуации, могут появиться дополнительные кавитационные зоны, зависящие от закона движения цилиндра и физических параметров задачи. Существенно отметить, что классическая модель удара от этих факторов не зависит. Математическая постановка задачи, записанная в безразмерных переменных в подвижной системе координат, жестко связанной с цилиндром, имеет вид

$$\Delta\Phi = 0, \quad R \in \Omega(t), \quad (1)$$

$$\frac{\partial\Phi}{\partial n} = \mathcal{K}(t)n_y, \quad R \in S_{11}(t),$$

$$\frac{\partial\Phi}{\partial t} - \mathcal{K}(t)\frac{\partial\Phi}{\partial y} + \frac{1}{2}(\nabla\Phi)^2 +$$

$$+ Fr^{-2}(y+h(t)-H) - \zeta = 0,$$

$$\zeta = 0,5\chi, \quad R \in S_{12}(t); \quad \zeta = p_0, \quad R \in S_{13}(t),$$

$$\frac{\partial\Phi}{\partial r} - \mathcal{K}(t)\sin\theta = \frac{\partial r_f}{\partial\theta} \mathcal{G}(t) + \frac{\partial r_f}{\partial t}, \quad (2)$$

$$\mathcal{G}(t) = \frac{1}{(1+r_f(\theta,t))^2} \frac{\partial\Phi}{\partial\theta} - \frac{\mathcal{K}(t)\cos\theta}{1+r_f(\theta,t)},$$

$$\frac{\partial\Phi}{\partial t} - \mathcal{K}(t)\frac{\partial\Phi}{\partial y} + \frac{1}{2}(\nabla\Phi)^2 + Fr^{-2}(y+h(t)-H) = 0,$$

$$R \in S_2(t),$$

$$\frac{\partial\Phi}{\partial y} = \frac{\partial\xi}{\partial x} \frac{\partial\Phi}{\partial x} + \frac{\partial\xi}{\partial t}, \quad R \in S_2(t),$$

$$\Phi \rightarrow 0, \quad R \rightarrow \infty,$$

$$\Phi(x, y, 0) = \Phi_0(x, y), \quad \xi(x, 0) = 0, \quad r_f(\theta, 0) = 0, \quad (3)$$

$$\mathcal{K}(t) = \gamma + \omega t.$$

Течение жидкости в начальный момент времени, создаваемое ударом кругового цилиндра, имеет потенциал $\Phi_0(x, y)$, определяемый решением следующей смешанной краевой задачи теории потенциала с неизвестными априори областями контакта [1–5]:

$$\Delta\Phi_0 = 0, \quad R \in \Omega(0),$$

$$\frac{\partial\Phi_0}{\partial n} = \gamma n_y, \quad \Phi_0 \leq 0, \quad R \in S_{11}(0),$$

$$\frac{\partial\Phi_0}{\partial n} \geq \gamma n_y, \quad \Phi_0 = 0, \quad R \in S_{12}(0),$$

$$\Phi_0 = 0, \quad R \in S_2(0),$$

$$\Phi \rightarrow 0, \quad R \rightarrow \infty.$$

(4)

Переход к безразмерным переменным осуществляется по формулам

$$t' = \frac{a}{|\mathcal{G}_0|} t, \quad x' = ax, \quad y' = ay, \quad \Phi' = a |\mathcal{G}_0| \Phi,$$

$$p' = \rho \mathcal{G}_0^2 p,$$

где штрихами помечаются размерные величины.

Подвижные координаты x, y связаны с неподвижными X, Y соотношениями $X=x, Y=y+h(t)$.

Здесь и далее используются следующие обозначения: $\Phi(x, y, t)$ – потенциал скоростей абсолютного движения жидкости, записанный в подвижной системе координат; $\Omega(t)$ – область, занятая жидкостью; $S_{11}(t)$ – часть поверхности цилиндра, на которой не происходит отрыва частиц жидкости; $S_{12}(t), S_{13}(t)$ – оторвавшиеся от поверхности цилиндра внутренние свободные границы жидкости ($S_{12}(t)$ – основная, а $S_{13}(t)$ – дополнительная); $S_2(t)$ – свободная поверхность жидкости, которая первоначально была горизонтальной; $\rho = const$ – плотность жидкости; p – давление; a – радиус цилиндра; H – глубина его погружения в начальный момент времени; R – радиус-вектор с координатами (x, y) ; параметр γ характеризует направление удара (при $\gamma = -1$ цилиндр движется вглубь жидкости).

Задача (1)–(3) содержит безразмерные параметры:

$$Fr = \frac{|\mathcal{G}_0|}{\sqrt{ga}}, \quad \chi = 2 \frac{p_a - p_c}{\rho \mathcal{G}_0^2}, \quad \omega = \frac{w_0 a}{\mathcal{G}_0^2},$$

где Fr – число Фруда; χ – число кавитации (безразмерная разность давлений на внешней свободной поверхности жидкости и в основной каверне); p_a – атмосферное давление; p_c – давление в основной каверне; g – ускорение свободного падения; w_0 – ускорение цилиндра; ω – безразмерная величина w_0 .

Предполагается, что на внутренней свободной границе $S_{12}(t)$ давление $p = p_c$, где p_c – давление насыщенных паров жидкости или газа, либо давление газа в каверне при искусственной кавитации (в естественной ситуации, когда $p \approx 0$, справедливо равенство $\chi = 2p_0$). На дополнительных свободных границах $S_{13}(t)$ давление совпадает с давлением насыщенных паров ($p \approx 0$). На внешней свободной поверхности жидкости $p = p_a$.

На внешней и внутренних свободных границах ставятся динамические и кинематические условия (2). Кинематическое условие на $S_{12}(t)$ и $S_{13}(t)$ записывается в полярных координатах r, θ ($x = r \cos \theta$, $y = r \sin \theta$). Уравнения внешней и внутренних свободных границ относительно подвижной системы координат имеют вид

$$y = H - h(t) + \xi(x, t); \quad r = 1 + r_f(\theta, t).$$

В точках пересечения внутренних свободных границ с поверхностью цилиндра (в точках отрыва) ставится условие Кутта – Жуковского, означающее, что скорость жидкости в этих точках должна быть конечной.

После нахождения потенциала скоростей Φ давление в жидкости определяется на основании интеграла Коши – Лагранжа

$$p = p_0 - \left[\frac{\partial \Phi}{\partial t} - \kappa(t) \frac{\partial \Phi}{\partial y} + \frac{1}{2} (\nabla \Phi)^2 + Fr^{-2} (y + h(t) - H) \right], \quad (5)$$

где p_0 – безразмерное атмосферное давление.

Асимптотическое решение задачи на малых временах

Вначале остановимся на основных этапах построения асимптотики в случае одной зоны отрыва (без дополнительных свободных границ). Центральным моментом здесь является учет динамики точек отрыва внутренней свободной границы жидкости, благодаря которому удается удовлетворить условию Кутта – Жуковского. Действуя по аналогии с [6–8], запишем исходную задачу в полярных координатах и сделаем замену переменной по угловой координате θ

$$\alpha = \frac{\pi - 2\theta_{s1}}{\pi - 2\theta_{s1}(t)} [\theta - \theta_{s1}(t)] + \theta_{s1}, \quad (6)$$

где углы $\theta_{s1}(t), \theta_{s2}(t) = \pi - \theta_{s1}(t)$ определяют положение точек отрыва в момент времени t , $\theta_{s1}, \theta_{s2} = \pi - \theta_{s1}$ – в начальный момент времени.

В результате точки отрыва, зависящие от времени, перейдут в фиксированные точки отрыва, соответствующие начальному моменту времени.

В случае $\omega = 0$ полученная в результате преобразования дифференциальная система приведена в [8]. Ее отличие от рассматриваемого случая состоит только в виде конкретной функции $h(t)$.

В соответствии с [6–8] решение преобразованной задачи на малых временах будем разыскивать в виде асимптотических разложений ($t \rightarrow 0$)

$$\varphi = \varphi_0(\alpha, r) + t\varphi_1(\alpha, r) + o(t), \quad (7)$$

$$\eta(\alpha, t) = t\eta_0(\alpha) + t^2\eta_1(\alpha) + o(t^2), \quad (8)$$

$$\xi(x, t) = t\xi_0(x) + t^2\xi_1(x) + o(t^2), \quad (9)$$

$$\theta_{s1}(t) = \theta_{s1} + c_1 t + o(t), \quad \theta_{s2}(t) = \pi - \theta_{s1}(t), \quad (10)$$

где величина c_1 имеет смысл угловой скорости движения первой точки отрыва в начальный момент времени, а новые функции $\varphi = \varphi(\alpha, r, t)$ и $\eta = \eta(\alpha, t)$ определяются равенствами

$$\varphi(\alpha, r, t) = \Phi(r \cos \theta(\alpha, t), t); \quad \eta(\alpha, t) = r_f(\theta(\alpha, t), t).$$

Подставляя (7)–(10) в уравнение и граничные условия преобразованной задачи и осуществляя перенос краевых условий с возмущенных участков границы области $\Omega(t)$ на первоначально невозмущенный уровень, используя при этом разложения граничных функций в ряды на малых временах, получим для определения функций $\varphi_0 = \varphi_0(\alpha, r)$ и $\varphi_1 = \varphi_1(\alpha, r)$ смешанные краевые задачи в фиксированной области $\Omega(0)$

$$\Delta \varphi_0 = 0, \quad R \in \Omega(0); \quad \frac{\partial \varphi_0}{\partial r} = \gamma \sin \alpha, \quad R \in S_{11}(0), \quad (11)$$

$$\varphi_0 = 0, \quad R \in S_{12}(0) \cup S_2; \quad \varphi_0 \rightarrow 0, \quad R \rightarrow \infty, \quad (12)$$

$$\varphi_1 = c \frac{\partial \varphi_0}{\partial \alpha} \left(\alpha - \frac{\pi}{2} \right) + u, \quad (13)$$

$$\Delta u = 0, \quad R \in \Omega(0); \quad (14)$$

$$\frac{\partial u}{\partial r} = \omega \sin \alpha, \quad R \in S_{11}(0); \quad u = g_1, \quad R \in S_{12}(0), \quad (15)$$

$$u = g_2, \quad R \in S_2(0); \quad u \rightarrow 0, \quad R \rightarrow \infty, \quad (16)$$

$$g_1 = \gamma \frac{\partial \varphi_0}{\partial r} \sin \alpha - 0,5 \left(\frac{\partial \varphi_0}{\partial r} \right)^2 - Fr^{-2} (\sin \alpha - H) + 0,5\chi, \quad R \in S_{12}(0),$$

$$g_2 = \gamma \frac{\partial \varphi_0}{\partial y_\alpha} - 0,5 \left(\frac{\partial \varphi_0}{\partial y_\alpha} \right)^2,$$

$$c = -\frac{2c_1}{\pi - 2\theta_{s1}}, \quad x_\alpha = r \cos \alpha, \quad y_\alpha = r \sin \alpha.$$

Задача (11)–(12) полностью соответствует задаче об ударе с отрывом (4), определяющей течение жидкости в начальный момент времени. Для нахождения функции φ_1 используется уравнение Пуассона, которое сводится к уравнению Лапласа при помощи подстановки (13). После решения

краевых задач для φ_1 и u постоянная c_1 определяется из условия регулярности асимптотического разложения (7) в первой точке отрыва

$$\tilde{n}_1 = -\frac{a_2}{a_1}, \quad a_1 = \lim_{\alpha \rightarrow \theta_{s1}-0} \frac{\partial^2 \varphi_0}{\partial \alpha^2} \sqrt{\theta_{s1} - \alpha},$$

$$a_2 = \lim_{\alpha \rightarrow \theta_{s1}-0} \frac{\partial u}{\partial \alpha} \sqrt{\theta_{s1} - \alpha}.$$

Существенно отметить, что в силу регулярности решения задачи об ударе с отрывом функция u на $S_{12}(0)$ будет непрерывно дифференцируемой в точках отрыва, в чем можно убедиться, дифференцируя по α соответствующее граничное условие (вторая формула в (15)).

С помощью формул (5)–(10), (13) находится главное приближение для давления на смоченной поверхности цилиндра

$$p = p_0 - f(\varphi_0, u),$$

$$f(\varphi_0, u) = u - \gamma \frac{\partial \varphi_0}{\partial y} + 0,5(\nabla \varphi_0)^2 + Fr^{-2}(y - H), \quad (17)$$

Как показывают примеры, давление, определяемое по формуле (17), либо остается положительным на всей смоченной поверхности цилиндра, либо принимает отрицательные значения на некоторых участках границы тела. В первом случае делается вывод о том, что построенное на малых временах решение задачи вполне корректно (выполнены два важных физических условия: Кутта – Жуковского и положительности давления). Вторая ситуация приводит к необходимости введения дополнительных кавитационных зон.

Для определения новых кавитационных зон на малых временах формулируется задача с односторонними ограничениями, аналогичная классической задаче об ударе с отрывом

$$\Delta u = 0, \quad R \in \Omega(0);$$

$$\frac{\partial u}{\partial r} = \omega \sin \alpha, \quad p_0 - f(\varphi_0, u) \geq 0, \quad R \in S_{11}(0), \quad (18)$$

$$\frac{\partial u}{\partial r} \geq \omega \sin \alpha, \quad p_0 - f(\varphi_0, u) = 0, \quad R \in S_{13}(0), \quad (19)$$

$$u = g_1, \quad R \in S_{12}(0); \quad u = g_2, \quad R \in S_2(0);$$

$$u \rightarrow 0, \quad R \rightarrow \infty. \quad (20)$$

Здесь граничные условия типа равенств на $S_{11}(0)$, $S_{12}(0)$, $S_2(0)$ имеют такой же вид, как и в случае одной зоны отрыва (формулы (14)–(16)). На новых свободных границах $S_{13}(t)$ давление $p=0$ (формула (19)). На первоначальных зонах $S_{11}(0)$ и $S_{13}(0)$ ставятся граничные условия типа неравенств. Первое неравенство означает, что давление на смоченной поверхности цилиндра (в главном приближении по времени) не может быть отрицательным. Второе условие говорит о том, что жид-

кие частицы не могут входить внутрь твердого тела, хотя им разрешается отрываться от твердой границы. Для доказательства справедливости последнего неравенства подставим асимптотические разложения (7), (8) в преобразованное кинематическое уравнение внутренней свободной поверхности жидкости и используем формулу (13). В результате для коэффициентов разложения (8) получим равенства

$$\eta_0(\alpha) = 0, \quad 2\eta_1(\alpha) = \frac{\partial u}{\partial r} - \omega \sin \alpha.$$

Таким образом, возмущения дополнительных свободных границ на малых временах имеют вид

$$\eta(\alpha, t) = t^2 \eta_1(\alpha) + o(t^2), \quad t \rightarrow 0.$$

Отсюда следует, что функция $\eta_1(\alpha)$ должна быть неотрицательной. Действительно, если бы эта функция принимала отрицательные значения, то при малых t часть внутренней свободной границы оказалась бы внутри цилиндра, что невозможно. Из неотрицательности функции $\eta_1(\alpha)$ следует выполнение кинематического условия типа неравенства в (19).

Для основной внутренней свободной границы $S_{12}(t)$ коэффициенты разложения (8) определяются равенствами

$$\eta_0(\alpha) = \frac{\partial \varphi_0}{\partial r}(\alpha, 1) - \gamma \sin \alpha,$$

$$2\eta_1(\alpha) = \frac{\partial^2 \varphi_0}{\partial r^2}(\alpha, 1) \eta_0(\alpha) + \frac{\partial \varphi_1}{\partial r}(\alpha, 1) - \gamma q(\alpha) \cos \alpha + (q(\alpha) + \gamma \cos \alpha) \eta'_0(\alpha) - \omega \sin \alpha,$$

$$q(\alpha) = c_1 + c(\alpha - \theta_{s1}).$$

В случае внешней свободной границы жидкости коэффициенты разложения (9) имеют вид

$$\xi_0(x_\alpha) = \frac{\partial \varphi_0}{\partial y_\alpha}, \quad \xi_1(x_\alpha) = 0,5 \frac{\partial u}{\partial y_\alpha}, \quad y_\alpha = H.$$

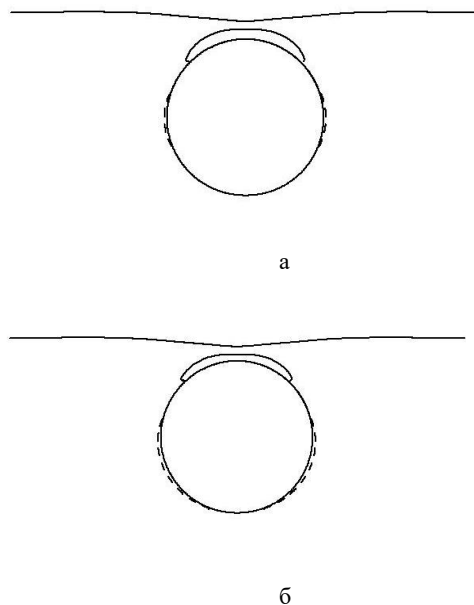
Численная реализация и анализ результатов

Исследование поставленной задачи на малых временах сводится к решению смешанных краевых задач теории потенциала с односторонними ограничениями на поверхности тела. Решается классическая задача об ударе с отрывом (4) и определяются первоначальная зона отрыва частиц жидкости $S_{12}(0)$ и течение жидкости в начальный момент времени. На следующем этапе на основе решения задачи (18)–(20) находятся дополнительные первоначальные зоны отрыва $S_{13}(0)$. После этого определяются возмущения внешней и внутренних свободных границ жидкости на малых временах. Смешанные краевые задачи теории потенциала с краевыми условиями типа неравенств решаются

численно с применением специального итерационного метода [6–8].

Теперь перейдем к рассмотрению конкретных примеров. Исследование задачи проводится при следующих фиксированных значениях параметров: $Fr = 3$, $\chi = 0,7$, $p_0 = 0,35$, $\gamma = -1$, $H = 1,1$ (естественная ситуация: $p_c = 0$). При этом рассматриваются случаи, соответствующие различным безразмерным ускорениям ω и безразмерному моменту времени $t = 0,2$. При $\omega = 0$ наряду с основной зоной отрыва образуются две симметричные дополнительные кавитационные зоны, изображенные на рисунке (а). Численные значения угловой координаты точки отрыва θ_{s1} основной кавитационной зоны и угловых координат точек отрыва θ_2, θ_3 дополнительной зоны отрыва равны соответственно 0,57; 0,36; -0,39. Скорость движения первой точки отрыва основной кавитационной зоны $c_1 = 1,21$. При увеличении ω дополнительные зоны отрыва расширяются и смещаются в направлении отрицательной оси y . На рисунке (б) показаны положение цилиндра и формы свободных границ жидкости, соответствующие $\omega = 2$ ($\theta_2 = 0,25, \theta_3 = -1,30, c_1 = 1,48$). Дальнейшее увеличение ω приводит к слиянию двух симметричных зон отрыва и образованию одной большой кавитационной зоны впереди тела. Заметим, что при увеличении ω промежуток времени, на котором происходит процесс торможения цилиндра, уменьшается ($0 < t < \omega^{-1}$). С другой стороны, в случае разгона цилиндра ($\omega < 0$) при уменьшении ω дополнительные кавитационные зоны смещаются вверх и уменьшаются. Так, например, при $\omega = -3$ имеем $\theta_2 = 0,28, \theta_3 = 0,48$. При дальнейшем уменьшении ω дополнительные зоны отрыва исчезают.

Отметим, что в рассматриваемом асимптотическом приближении динамика точек отрыва дополнительных кавитационных зон не учитывается. Выполнение условия Кутта – Жуковского в этих точках следует из регулярности решения задачи с односторонними ограничениями (18)–(20). Условие Кутта – Жуковского в точках отрыва основной кавитационной зоны обеспечивается благодаря учету их динамики и регулярности решения классической задачи об ударе с отрывом. Также обратим внимание на то, что на малых временах возмущения дополнительных свободных границ малы по сравнению с возмущением основной внутренней свободной границы жидкости.



Образование трех зон отрыва: а – $\omega = 0, t = 0,2$;
б – $\omega = 2, t = 0,2$

Литература

1. Седов Л.И. Плоские задачи гидродинамики и аэродинамики. М., 1966. 448 с.
2. Норкин М.В. Методы решения нелинейных задач гидродинамического удара в ограниченных областях // Изв. РАН. МЖГ. 2005. № 4. С. 135–147.
3. Норкин М.В. Отрывной удар эллиптического цилиндра, плавающего на поверхности идеальной несжимаемой жидкости конечной глубины // Изв. РАН. МЖГ. 2008. № 1. С. 120–132.
4. Норкин М.В. Отрывной удар круглого диска, плавающего на поверхности идеальной несжимаемой жидкости бесконечной глубины // ПМТФ. 2009. Т. 50, № 4. С. 76–86.
5. Норкин М.В. Смешанные задачи гидродинамического удара. Ростов н/Д., 2007. 136 с.
6. Norkin M., Korobrin A. The motion of the free-surface separation point during the initial stage of horizontal impulsive displacement of a floating circular cylinder // J. Eng. Math. 2011. Vol. 70. P. 239–254.
7. Норкин М.В. Движение кругового цилиндра в жидкости после удара на малых временах с образованием каверны // Изв. РАН. МЖГ. 2012. № 3. С. 101–112.
8. Норкин М.В. Динамика внутренней свободной границы жидкости на малых временах при вертикальном ударе кругового цилиндра, полностью погруженного в жидкость // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2015. № 1. С. 30–35.
9. Норкин М.В. Образование каверны на начальном этапе движения кругового цилиндра в жидкости с постоянным ускорением // ПМТФ. 2012. Т. 53, № 4. С. 74–82.

References

1. Sedov L.I. *Ploskie zadachi gidrodinamiki i aerodinamiki* [Plane problems of hydrodynamics and aerodynamics]. Moscow, 1966, 448 p.
2. Norkin M.V. *Metody resheniya nelineinykh zadach gidrodinamicheskogo udara v ogranichennykh oblastiakh* [Methods for solving nonlinear problems of hydrodynamic impact in limited areas]. *Izv. RAN. MZhG*, 2005, no 4, pp. 135-147.
3. Norkin M.V. *Otryvnoi udar ellipticheskogo tsilindra, plavayushchego na poverkhnosti ideal'noi neszhimaemoi zhidkosti konechnoi glubiny* [Voucher kick elliptical cylinder, floating on the surface of an ideal incompressible fluid of finite depth]. *Izv. RAN. MZhG*, 2008, no 1, pp. 120-132.
4. Norkin M.V. *Otryvnoi udar kruglogo diska, plavayushchego na poverkhnosti ideal'noi neszhimaemoi zhidkosti beskonechnoi glubiny* [Voucher kick of circular disc floating on the surface of an ideal incompressible fluid of infinite depth]. *PMTF*, 2009, vol. 50, no 4, pp. 76-86.
5. Norkin M.V. *Smeshannye zadachi gidrodinamicheskogo udara* [Mixed problems of hydrodynamic shock]. Rostov-on-Don, 2007, 136 p.
6. Norkin M., Korobrin A. The motion of the free-surface separation point during the initial stage of horizontal impulsive displacement of a floating circular cylinder. *J. Eng. Math.*, 2011, vol. 70, pp. 239-254.
7. Norkin M.V. *Dvizhenie krugovogo tsilindra v zhidkosti posle udara na malykh vremenakh s obrazovaniem kaverny* [The motion of a circular cylinder in the liquid after impact on the short times to form a cavity]. *Izv. RAN. MZhG*, 2012, no 3, pp. 101-112.
8. Norkin M.V., *Dinamika vnutrennei svobodnoi granitsy zhidkosti na malykh vremenakh pri vertikal'nom udare krugovogo tsilindra, polnost'yu pogruzhennogo v zhidkost'* [Dynamics of internal border-free liquid at short times in the vertical impact of a circular cylinder, fully immersed in the liquid]. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskii region. Estestvennye nauki*, 2015, no 1, pp. 30-35.
9. Norkin M.V. *Obrazovanie kaverny na nachal'nom etape dvizheniya krugovogo tsilindra v zhidkosti s postoyannym uskoreniem* [The formation of the cavity in the initial stage of movement in a circular cylinder with a constant acceleration fluid]. *PMTF*, 2012, vol. 53, no 4, pp. 74-82.

УДК 539.3

DOI 10.18522/0321-3005-2016-1-32-34

ПОЛОСОВЫЕ РАЗРЕЗЫ В ТРАНСТРОПНОМ УПРУГОМ ТЕЛЕ*

© 2016 г. Д.А. Пожарский, Е.А. Артамонова, Ю.В. Смирнов

Пожарский Дмитрий Александрович – доктор физико-математических наук, профессор, кафедра прикладной математики, Донской государственной технической университет, пл. Гагарина, 1, г. Ростов-на-Дону, 344000, e-mail: pozharda@rambler.ru

Артамонова Елена Александровна – старший преподаватель, кафедра прикладной математики, Донской государственной технической университет, пл. Гагарина, 1, г. Ростов-на-Дону, 344000, e-mail: artamonova81@inbox.ru

Смирнов Юрий Владимирович – кандидат технических наук, доцент, кафедра теории и прикладной механики, Донской государственной технической университет, пл. Гагарина, 1, г. Ростов-на-Дону, 344000.

Pozharskii Dmitrii Aleksandrovich – Doctor of Physical and Mathematical Science, Professor, Department of Applied Mathematics, Don State Technical University, Gagarin Sq., 1, Rostov-on-Don, 344000, Russia, e-mail: pozharda@rambler.ru

Artamonova Elena Aleksandrovna – Senior Lecturer, Department of Applied Mathematics, Don State Technical University, Gagarin Sq., 1, Rostov-on-Don, 344000, Russia, e-mail: artamonova81@inbox.ru

Smirnov Yurii Vladimirovich – Candidate of Technical Science, Associate Professor, Department of Theory and Applied Mechanics, Don State Technical University, Gagarin Sq., 1, Rostov-on-Don, 344000, Russia.

В трехмерной постановке исследованы задачи о взаимодействии двух одинаковых параллельных полосовых разрезов в трансверсально изотропном упругом пространстве (5 независимых упругих параметров), когда плоскости изотропии перпендикулярны плоскости разрезов. Ввиду анизотропии рассмотрены два случая расположения разрезов: вдоль одной или второй оси декартовой системы координат. Задачи сведены к одномерным интегральным уравнениям, для решения которых использован регулярный асимптотический метод с введением безразмерного геометрического параметра. Проанализированы асимптотические формулы для коэффициентов интенсивности напряжений.

Ключевые слова: трансверсально изотропное упругое тело, разрез.

The problems on interaction of two identical parallel strip cuts in a transversely isotropic elastic space (5 independent elastic parameters) are investigated in three-dimensional formulation when the planes of isotropy are perpendicular to the cuts plane. Due to anisotropy two cases are considered in which the cuts are situated along one of the two Cartesian axes. The problems are reduced to one-dimensional integral equations and the regular asymptotic method is used to solve these equations by introducing a dimensionless geometric parameter. The asymptotic formulas for strength intensity factors have been analyzed.

Keywords: transversely isotropic elastic solid, cut.

В трехмерной постановке исследованы задачи о взаимодействии двух одинаковых параллельных полосовых разрезов в трансверсально изотропном (транструпном) упругом пространстве (5 независимых упругих параметров), когда плоскости изотропии перпендикулярны плоскости разрезов. Ввиду анизотропии рассмотрены два случая расположения разрезов: вдоль одной или второй оси декартовой системы координат. Ранее изучался случай одного полосового разреза в трансверсально изотропном пространстве [1].

Пусть в плоскости $x=0$ транструпного [2] пространства с плоскостями изотропии $z=\text{const}$ имеется два одинаковых полосовых разреза, находящихся в раскрытом состоянии под действием приложенной к их берегам одинаковой нагрузки $\sigma_x(\pm 0, y, z) = -q(y, z)$. Разрезы могут быть параллельны оси y (задача А), или оси z (задача Б). Требуется

найти раскрытие разрезов $u_x(\pm 0, y, z) = \pm u(y, z)$. В задаче А область разрезов $|y| < \infty, a \leq |z| \leq b$. В предположении, что $q(y, z) = q_*(z) \exp(-i\beta y)$, используя результаты работы [1], сведем задачу А к одномерному ИУ относительно $u(z)$, при этом $u(y, z) = u(z) \exp(-i\beta y)$. В задаче Б область разрезов $|z| < \infty, a \leq |y| \leq b$. Пусть $q(y, z) = q_*(y) \exp(-i\beta z)$, тогда сведем задачу Б к одномерному ИУ относительно $u(y)$, $u(y, z) = u(y) \exp(-i\beta z)$.

После введения безразмерных обозначений для задачи А

$$\begin{aligned} x &= zb^{-1}, \quad \lambda = (b\beta)^{-1}, \quad k = ab^{-1}, \\ f(x) &= q_*(z)A_{66}^{-1}, \quad \varphi(x) = u(z)b^{-1} \end{aligned} \quad (1)$$

(для задачи Б меняется z на y) ИУ задач при учете симметрии запишем в виде

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 15-01-00331).

$$\int_k^1 \varphi(\xi) \left[l_n \left(\frac{\xi-x}{\lambda} \right) + l_n \left(\frac{\xi+x}{\lambda} \right) \right] d\xi = \pi \lambda^2 f(x) \quad (k \leq x \leq 1), \quad (2)$$

$$l_n(t) = \int_0^\infty L_n(u) \cos(ut) du,$$

где для задачи А (n=1)

$$L_1(u) = \frac{D_1}{(m_1 - m_2) \gamma_3^2 u^2 \zeta_{11} \zeta_{21}}, \quad (3)$$

$$\zeta_{l1} = \sqrt{\gamma_l^2 u^2 + 1} \quad (l=1,2,3),$$

$$D_1 = m_1 h_{21}^2 \zeta_{11} - m_2 h_{12}^2 \zeta_{21} - 4(m_1 - m_2) \zeta_{11} \zeta_{21} \zeta_{31},$$

$$h_{k1} = (m_k + 1) \gamma_3^2 u^2 + 2 \quad (k=1,2),$$

а для задачи Б (n=2)

$$L_2(u) = \frac{D_2}{(m_1 - m_2) \gamma_3^2 \zeta_{12} \zeta_{22}}, \quad (4)$$

$$\zeta_{l2} = \sqrt{\gamma_l^2 + u^2} \quad (l=1,2,3),$$

$$D_2 = m_1 h_{22}^2 \zeta_{12} - m_2 h_{12}^2 \zeta_{22} - 4(m_1 - m_2) u^2 \zeta_{12} \zeta_{22} \zeta_{32},$$

$$h_{k2} = (m_k + 1) \gamma_3^2 + 2u^2 \quad (k=1,2).$$

Здесь (для параметров упругости используем обозначения A_{ij} [1])

$$m_k = (A_{11} \gamma_k^2 - A_{44}) / (A_{13} + A_{44}), \quad \gamma_3 = \sqrt{A_{44} / A_{66}},$$

γ_1, γ_2 являются корнями характеристического уравнения

$$\gamma^4 A_{11} A_{44} - \gamma^2 [A_{11} A_{33} - A_{13} (A_{13} + 2A_{44})] + A_{33} A_{44} = 0.$$

Параметр λ (1) характеризует отношение величины периода волнистой нагрузки к расстоянию между внешними границами полос.

Интегрируя по частям и учитывая, что $\varphi(k)=\varphi(1)=0$, сведем ИУ (2) к виду

$$\int_k^1 \varphi(\xi) \left[k_n \left(\frac{\xi-x}{\lambda} \right) + k_n \left(\frac{\xi+x}{\lambda} \right) \right] d\xi = -\pi \lambda f(x) \quad (k \leq x \leq 1), \quad (5)$$

$$k_n(t) = \int_0^\infty \frac{L_n(u)}{u} \sin(ut) du.$$

Решение ИУ (5) должно удовлетворять дополнительному условию

$$\int_k^1 \varphi'(x) dx = 0. \quad (6)$$

Применяя для решения ИУ (5) регулярный асимптотический метод [3] при учете (6) и свойств [1] функций $L_n(u)$ (3), (4), найдем, что для случая $f(x)=f$

$$\begin{aligned} \varphi'(x) = & \frac{f}{E_{1n} g(x)} \left\{ \left(\frac{E'}{K'} - x^2 \right) \times \right. \\ & \times \left[1 + \frac{1}{\lambda^2} \left((d_{20} + d_{10} \ln \frac{k'}{2\lambda}) \left(\frac{E'}{K'} - \frac{1+k^2}{2} \right) - \right. \right. \\ & \left. \left. - d_{10} \left(1+k^2 - \frac{E'}{K'} \right) \right) \right] + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & + \frac{d_{10}}{\lambda^2} \left[\frac{(1+k^2)E'}{3K'} - \frac{k^2}{6} - \frac{x^4}{2} + \frac{p(x)}{K'} - \frac{W}{(K')^2} \right] + \\ & + O \left(\frac{\ln^2 \lambda}{\lambda^4} \right) \left. \right\}, \quad k' = \sqrt{1-k^2}, \quad E' = E(k'), \quad K' = K(k'), \quad (7) \end{aligned}$$

$$p(x) = x^2 (x^2 - k^2) \Pi \left(\frac{\pi}{2}, \frac{1-k^2}{1-x^2}, k' \right), \quad W = \int_k^1 p(x) dx.$$

Здесь $E(k), K(k), \Pi(\varphi, t, k)$ – эллиптические интегралы,

$$d_{10} = -\frac{E_{2n}}{E_{1n}},$$

$$d_{20} = -d_{10} - \int_0^\infty \frac{u^2 [1 - L_n(u) E_{1n}^{-1}] - d_{10} [1 - \exp(-u)]}{u} du,$$

$$E_{1n} = D_{1n} / C_{1n}, \quad E_{2n} = (D_{2n} C_{1n} - D_{1n} C_{2n}) C_{1n}^{-2},$$

причем для задачи А (n=1)

$$C_{11} = (m_1 - m_2) \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3^2, \quad C_{21} = (m_1 - m_2) \frac{\gamma_1^2 + \gamma_2^2}{2 \gamma_1 \gamma_2} \gamma_3^2,$$

$$D_{11} = [m_1 (m_2 + 1)^2 \gamma_1 - m_2 (m_1 + 1)^2 \gamma_2] \gamma_3^4,$$

$$D_{21} = \left[\frac{m_1 (m_2 + 1)^2}{\gamma_1} - \frac{m_2 (m_1 + 1)^2}{\gamma_2} \right] \frac{\gamma_3^4}{2} +$$

$$+ 4 [\gamma_1 m_1 (m_2 + 1) - \gamma_2 m_2 (m_1 + 1)] \gamma_3^2 - 4 (m_1 - m_2) \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3,$$

а для задачи Б (n=2)

$$C_{12} = (m_1 - m_2) \gamma_3^2, \quad C_{22} = (m_1 - m_2) \frac{\gamma_1^2 + \gamma_2^2}{2} \gamma_3^2,$$

$$D_{12} = 2 [(m_1 - m_2) \gamma_3^2 - m_1 \gamma_2^2 + m_2 \gamma_1^2],$$

$$\begin{aligned} D_{21} = & [m_1 (m_2^2 + \frac{3}{2}) - m_2 (m_1^2 + \frac{3}{2})] \gamma_3^4 + \frac{m_1}{2} \gamma_2^4 - \frac{m_2}{2} \gamma_1^4 - \\ & - (m_1 - m_2) \gamma_1^2 \gamma_2^2 + (2m_1 m_2 + m_1 + m_2) (\gamma_1^2 - \gamma_2^2) \gamma_3^2. \end{aligned}$$

Коэффициенты интенсивности напряжений (КИН) на границах разрезов определяются для задачи А по формулам (для задачи Б следует заменить z на y)

$$K_{Ia} = \lim_{z \rightarrow a+0} A_{66} \sqrt{2\pi(z-a)} u'(z),$$

$$K_{Ib} = - \lim_{z \rightarrow b-0} A_{66} \sqrt{2\pi(b-z)} u'(z).$$

На основе решения (7) для безразмерных КИН получим выражения

$$\begin{aligned} K_{Ia}^* = & \frac{K_{Ia}}{A_{66} \sqrt{b}} = \frac{f \sqrt{\pi}}{E_{1n} \sqrt{k(1-k^2)}} \times \\ & \times \left\{ \left(\frac{E'}{K'} - k^2 \right) \left[1 + \frac{1}{\lambda^2} \left((d_{20} + d_{10} \ln \frac{k'}{2\lambda}) \left(\frac{E'}{K'} - \frac{1+k^2}{2} \right) - \right. \right. \right. \\ & \left. \left. - d_{10} \left(1+k^2 - \frac{E'}{K'} \right) \right) \right] + \right. \\ & \left. + \frac{d_{10}}{\lambda^2} \left[\frac{(1+k^2)E'}{3K'} - \frac{k^2}{6} - \frac{k^4}{2} - \frac{W}{(K')^2} \right] + O \left(\frac{\ln^2 \lambda}{\lambda^4} \right) \right\}, \end{aligned}$$

$$K_{Ib}^* = \frac{K_{Ib}}{A_{66}\sqrt{b}} = \frac{-f\sqrt{\pi}}{E_{1n}\sqrt{1-k^2}} \times$$

$$\times \left\{ \left(\frac{E'}{K'} - 1 \right) \left[1 + \frac{1}{\lambda^2} \left(d_{20} + d_{10} \ln \frac{k'}{2\lambda} \right) \left(\frac{E'}{K'} - \frac{1+k^2}{2} \right) - \right. \right.$$

$$\left. - d_{10} \left(1 + k^2 - \frac{E'}{K'} \right) \right] +$$

$$\left. + \frac{d_{10}}{\lambda^2} \left[\frac{(1+k^2)E'}{3K'} - \frac{k^2}{6} - \frac{1}{2} - \frac{W}{(K')^2} \right] + O\left(\frac{\ln^2 \lambda}{\lambda^4} \right) \right\}. \quad (8)$$

Решения (7), (8) можно рекомендовать к использованию при $\lambda \geq 3$. Анализ формулы (8) показывает, что при достаточно больших значениях λ и $k \leq 0,7$ имеем $K_{Ia}^* > K_{Ib}^*$, т.е. при возрастании нагрузки, приложенной к берегам разрезов, их развитие начнется на внутренних границах $x = \pm k$. Если для упругого материала $E_{11} < E_{12}$, то при достаточно больших значениях λ КИН на какой-либо границе ($x = \pm k$ или $x = \pm 1$) больше для задачи А, чем для задачи Б. Если же $E_{11} > E_{12}$, то наоборот, КИН больше для задачи Б.

Литература

1. Артамонова Е.А., Пожарский Д.А. О полосовом разрезе в трансверсально изотропном упругом теле // Прикладная математика и механика. 2013. Т. 77, вып. 5. С. 768–777.
2. Ding H., Chen W., Zhang L. Elasticity of transversely isotropic materials. Dordrecht, 2006. 435 p.
3. Александров В.М., Пожарский Д.А. Неклассические пространственные задачи механики контактных взаимодействий упругих тел. М., 1998. 288 с.

References

1. Artamonova E.A., Pozharskii D.A. O polosovom razreze v transversal'no izotropnom uprugom tele [About bandpass section in transverse isotropic elastic body]. *Prikladnaya matematika i mekhanika*. 2013, vol. 77, no 5, pp. 768-777.
2. Ding H., Chen W., Zhang L. *Elasticity of transversely isotropic materials*. Dordrecht, 2006, 435 p.
3. Aleksandrov V.M., Pozharskii D.A. *Neklassicheskie prostanstvennye zadachi mekhaniki kontaktnykh vzaimodeistvii uprugikh tel* [Non-classical spatial problems of mechanics of contact interaction of elastic bodies]. Moscow, 1998, 288 p.

УДК 517.983

DOI 10.18522/0321-3005-2016-1-35-38

ОГРАНИЧЕННОСТЬ МАКСИМАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА В ГРАНД-ПРОСТРАНСТВАХ ЛЕБЕГА НА R^n

© 2016 г. С.М. Умархаджиев

Умархаджиев Салаудин Мусаевич – кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий отделом прикладной семиотики, Академия наук Чеченской Республики, пр. им. М. Эсамбаева, 13, г. Грозный, 364024, e-mail: umsalaudin@gmail.com

Umarkhadzhiev Salaudin Musaevich – Candidate of Physical and Mathematical Science, Associate Professor, Head of the Applied Semiotics Department, Academy of Sciences of the Chechen Republic, Esambaev Ave, 13, Grozny, Chechen Republic, 364024, Russia, e-mail: umsalaudin@gmail.com

Найдены условия на способ расширения классического пространства Лебега до гранд-пространства Лебега на множествах бесконечной меры, при которых максимальный оператор остается ограниченным в получаемом гранд-пространстве.

Ключевые слова: гранд-пространство Лебега, максимальный оператор, сублинейный оператор, интерполяционная теорема, ограниченный оператор.

The conditions on the way to expand the classical Lebesgue space to grand Lebesgue spaces on the set of infinite measure, under which the maximum operator remains limited in the resulting grand space.

Keywords: grand Lebesgue space, maximal operator, sublinear operator, interpolation theorem, bounded operator.

Ограниченность максимального оператора Харди – Литтлвуда

$$Mf(x) = \sup_{r>0} \frac{1}{|B(x,r)|} \int_{B(x,r)} |f(y)| dy$$

в пространстве Лебега $L^p(\Omega)$, $1 < p < \infty$, хорошо известна (см., например, книгу И. Стейна [1, р. 15–18]). Описание весов, допускающих ограниченность максимального оператора в пространстве Лебега с весом, также хорошо известно [2–4]: оператор M ограничен в весовом пространстве $L^p(\Omega, w)$ тогда и только тогда, когда вес w принадлежит классу Макенхаупта A_p (см. определение класса A_p ниже).

Действие максимального оператора в гранд-пространствах Лебега на ограниченном множестве (пространствах Иванецца – Сбордине) изучалось в [5–7].

В данной статье находятся условия расширения классического пространства Лебега до гранд-пространства Лебега на множестве бесконечной меры, при которых максимальный оператор остается ограниченным в получаемом гранд-пространстве. Мы основываемся на общем подходе к расширению пространства Лебега до гранд-пространств Лебега посредством введения в определение гранд-пространства малой степени весовой функции, что позволяет рассматривать гранд-пространства на множествах, которые могут иметь бесконечную ме-

ру. Указанная весовая функция достаточно произвольна, и ее выбор может определяться решаемой задачей. Такой подход к построению гранд-пространств развивался в работах [8–13].

Вспомогательные сведения и утверждения

Следующая теорема известна как интерполяционная теорема Рисса – Торина – Стейна – Вейса с изменением меры [14, 15]. Мы формулируем ее в весовых терминах.

Теорема 1. Пусть $p_k, q_k \in [1, \infty)$; v_k, w_k – веса на Ω , $k=1, 2$; T – сублинейный оператор, определенный на $L^{p_1}(\Omega, w_1) \cap L^{p_2}(\Omega, w_2)$. Если $T: L^{p_1}(\Omega, w_1) \rightarrow L^{q_1}(\Omega, v_1)$ с нормой K_1 и $T: L^{p_2}(\Omega, w_2) \rightarrow L^{q_2}(\Omega, v_2)$ с нормой K_2 , то $T: L^{p_t}(\Omega, w_t) \rightarrow L^{q_t}(\Omega, v_t)$ с нормой $K \leq K_1^{1-t} K_2^t$, где

$$\frac{1}{p_t} = \frac{1-t}{p_1} + \frac{t}{p_2}, \quad \frac{1}{q_t} = \frac{1-t}{q_1} + \frac{t}{q_2},$$

$$w_t = w_1^{(1-t)p_t} w_2^{tp_t}, \quad v_t = v_1^{(1-t)q_t} v_2^{tq_t}, \quad 0 < t < 1.$$

Нам понадобится вспомогательная лемма о свойствах весов Макенхаупта – весов, удовлетворяющих A_p -условию: существует число $C > 0$ такое, что

$$\left(\frac{1}{|Q|} \int_Q w dx \right) \left(\frac{1}{|Q|} \int_Q w^{-\frac{1}{p-1}} dx \right)^{p-1} \leq C, \quad 1 \leq p < \infty,$$

для всех кубов $Q \subset R^n$ с рёбрами, параллельными осям координат;

$$A_\infty = \bigcap_{p>1} A_p. \tag{1}$$

Лемма 1. Пусть w – вес на R^n и $1 < p < \infty$. Если существует $v > 0$ такое, что $w^v \in A_p$, то существует $\delta > 0$ такое, что $w^\delta \in A_{(1-\delta)p}$.

Доказательство. В силу свойств весов Макенхаупта из того, что $w^v \in A_p$, следует, что существует $\varepsilon > 0$ такое, что $w^v \in A_{p-\varepsilon}$. Если $\varepsilon \geq vp$, то $p - \varepsilon \leq (1-v)p$, из чего следует (1). В случае, когда $\varepsilon < vp$, воспользовавшись тем, что $w^{\alpha v} \in A_{p-\varepsilon}$ для любого $\alpha \in (0, 1)$, возьмем $\alpha = \frac{\varepsilon}{vp}$ и $\delta = \alpha v$.

Лемма доказана.

Гранд-пространства $L_a^{p,\theta}(\Omega)$ и $\overset{\circ}{L}_a^{p,\theta}(\Omega)$

Пусть Ω – открытое подмножество пространства R^n ; w – вес на Ω , т.е. неотрицательная локально интегрируемая функция, определенная и неравная нулю почти всюду на Ω . Весовые пространства Лебега $L^p(\Omega, w)$ определяются нормой

$$\|f\|_{L^p(\Omega, w)} = \left\{ \int_\Omega |f(x)|^p w(x) dx \right\}^{\frac{1}{p}}, \quad 1 \leq p < \infty.$$

При $w \equiv 1$ мы пишем $L^p(\Omega)$.

Гранд-пространства Лебега (пространства Иванецца – Сбордоне) $L_a^{p,\theta}(\Omega)$, $\theta > 0$, по ограниченному множеству $\Omega \subset R^n$ определяются нормой

$$\|f\|_{L_a^{p,\theta}(\Omega)} := \sup_{0 < \delta < p-1} \delta^{\frac{\theta}{p-\delta}} \|f\|_{L^{p-\delta}(\Omega, a^{\delta/p})}.$$

Суть подхода, позволяющего ввести гранд-пространства Лебега на множествах произвольной (неограниченной) меры, состоит в следующем. Пусть Ω – произвольное измеримое подмножество пространства R^n ; a – вес на Ω , $1 < p < \infty$ и $\theta > 0$. Для локально интегрируемой функции f введем в рассмотрение модуля p

$$\mathbf{M}_\delta(f) = \delta^{p\theta} \int_\Omega |f(x)|^{p-\delta} a(x)^{\delta/p} dx, \quad 0 < \delta < p-1.$$

Обозначим через $L_a^{p,\theta}(\Omega)$ множество функций f , для которых

$$\sup_{0 < \delta < p-1} \mathbf{M}_\delta(f) < \infty,$$

и введем на нем норму по формуле

$$\|f\|_{L_a^{p,\theta}(\Omega)} := \sup_{0 < \delta < p-1} [\mathbf{M}_\delta(f)]^{\frac{1}{p-\delta}}. \tag{2}$$

Полученное банахово пространство называем гранд-пространством Лебега $L_a^{p,\theta}(\Omega)$.

Отметим, что

$$\mathbf{M}_\delta(f) = \delta^{p\theta} \|f\|_{L^{p-\delta}(\Omega, a^{\delta/p})}^{p-\delta}. \tag{3}$$

Отметим также эквивалентность

$$\sup_{0 < \delta < p-1} [\mathbf{M}_\delta(f)]^{\frac{1}{p-\delta}} \approx \sup_{0 < \delta < p-1} \delta^\theta \|f\|_{L^{p-\delta}(\Omega, a^{\delta/p})}$$

и то, что при $a \equiv 1$ равенство (3) задает норму только в случае ограниченного множества Ω , и при этом $L_1^{p,\theta}(\Omega) = L^{p,\theta p}(\Omega)$.

Гранд-пространство Лебега $L_a^{p,\theta}(\Omega)$ является расширением классического пространства Лебега $L^p(\Omega)$, $1 < p < \infty$, тогда и только тогда, когда $a \in L^1(\Omega)$.

Как известно, гранд-пространства нессепарабельны, и замыкание гладких функций по норме пространства $L_a^{p,\theta}(\Omega)$ дает собственное подпространство в $L_a^{p,\theta}(\Omega)$, определяемое дополнительным условием

$$\lim_{\delta \rightarrow 0} \mathbf{M}_\delta(f) = 0.$$

Это подпространство будем обозначать $\overset{\circ}{L}_a^{p,\theta}(\Omega)$.

Соотношения между классическими пространствами и гранд-пространствами Лебега приведены в лемме 2.

Лемма 2. Пусть $p > 1$. Если $a \in L^1(\Omega)$, то имеют место непрерывное вложение

$$L^p(\Omega) \subset \overset{\circ}{L}_a^{p,\theta}(\Omega), \quad \theta > 0,$$

и цепочка вложений

$$L^p(\Omega) \subset \overset{\circ}{L}_a^{p,\theta}(\Omega) \subset L_a^{p,\theta}(\Omega) \subset L^{p-\delta}(\Omega, a^{\delta/p}), \quad 0 < \delta < p-1, \quad \theta > 0.$$

Ограниченность максимального оператора

Основным утверждением данной статьи является

Теорема 2. Пусть $1 < p < \infty$, $\theta > 0$, a – вес на R^n и $a \in L^1(\Omega)$. Если существует число $\nu > 0$ такое, что $a^\nu \in A_p$, то максимальный оператор M ограничен: 1) в гранд-пространстве $L_a^{p,\theta}(R^n)$; 2) в гранд-пространстве $\overset{\circ}{L}_a^{p,\theta}(R^n)$.

Доказательство. Сначала получим вспомогательную оценку для нормы максимального оператора в некотором классическом весовом пространстве Лебега.

В силу леммы 1 существует число $\lambda \in \left(0, \frac{1}{p'}\right)$

такое, что

$$a^\lambda \in A_{(1-\lambda)p}. \quad (4)$$

Возьмем число p_0 таким, чтобы $\frac{p-p_0}{p} = \lambda$, т.е. $p_0 = p(1-\lambda)$ и $p_0 \in (1, p)$. Тогда условие (4) принимает вид $a^{\frac{p-p_0}{p}} \in A_{p_0}$, и в силу теоремы Макенхаупта мы приходим к ограниченности оператора M

в весовом пространстве $L^{p_0}\left(R^n, a^{\frac{p-p_0}{p}}\right)$. Кроме

того, оператор M ограничен и в безвесовом пространстве $L^p(R^n)$. Следовательно, воспользовавшись интерполяционной теоремой 1, получим

$$\|Mf\|_{L^{p_t}\left(R^n, a^{\frac{p-p_t}{p}}\right)} \leq C \|f\|_{L^{p_t}\left(R^n, a^{\frac{p-p_t}{p}}\right)},$$

где $\frac{1}{p_t} = \frac{1-t}{p} + \frac{t}{p_0}$, $0 < t < 1$, и константа C не зависит от функции f . Эта оценка в силу (2) равносильна

$$\mathbf{M}_\delta(Mf) \leq C \mathbf{M}_\delta(f), \quad (5)$$

где $\delta = p - p_t$ и $\delta \in (0, p - p_0)$.

Теперь перейдем к доказательству утверждения 1) теоремы. Имеем

$$\|Mf\|_{L_a^{p,\theta}(R^n)} = \sup_{0 < \delta < p-1} [\mathbf{M}_\delta(f)]_{p-\delta}^{\frac{1}{p-\delta}} = \max\{A, B\},$$

где

$$A = \sup_{0 < \delta \leq p-p_0} [\mathbf{M}_\delta(f)]_{p-\delta}^{\frac{1}{p-\delta}},$$

$$B = \sup_{p-p_0 < \delta < p-1} [\mathbf{M}_\delta(f)]_{p-\delta}^{\frac{1}{p-\delta}}.$$

Оценка величины A. В силу оценки (5) получаем

$$A \leq C \sup_{0 < \delta \leq p-p_0} [\mathbf{M}_\delta(f)]_{p-\delta}^{\frac{1}{p-\delta}} \leq C \|f\|_{L_a^{p,\theta}(R^n)}.$$

Оценка величины B. Воспользовавшись неравенством Гёльдера с показателем $\frac{p_0}{p-\delta} > 1$, получим

$$B \leq \sup_{p-p_0 < \delta < p-1} \delta^{\frac{p_0}{p-\delta}} \|a\|_{L^1(R^n)}^{\frac{1}{p-\delta} - \frac{1}{p_0}} [\mathbf{M}_\delta(Mf)]_{p-\delta}^{\frac{1}{p-\delta}} \leq (p-1)^{p_0} \max\left\{1, \|a\|_{L^1(R^n)}^{1-\frac{1}{p_0}}\right\} \cdot A.$$

Объединяя оценки для A и B , получим утверждение 1) теоремы.

Утверждение 2) вытекает из 1) и неравенства (5).

Теорема доказана.

Автор выражает благодарность профессору С.Г. Самко за полезное обсуждение результатов работы.

Литература

1. Stein I.M. Singular Integrals and Differentiability Properties of Functions. Princeton, 1970. 304 p.
2. Muckenhoupt B. Weighted norm inequalities for the Hardy maximal function // Trans. Amer. Math. Soc. 1972. Vol. 165. P. 207–226.
3. Duoandikoetxea J. Fourier Analysis // Amer. Math. Soc. 2001. Vol. 29.
4. Garcia-Cuerva J., Rubio de Francia J.L. Weighted norm inequalities and related topics. Amsterdam, 1985.
5. Fiorenza A., Gupta B., Jain P. The maximal theorem in weighted grand Lebesgue spaces // Studia Math. 2008. Vol. 188 (2). P. 123–133.
6. Kokilashvili V. Boundedness criteria for singular integrals in weighted Grand Lebesgue spaces // J. Math. Sci. 2010. Vol. 170 (1). P. 20–33.
7. Kokilashvili V., Meskhi A. Trace inequalities for fractional integrals in grand Lebesgue spaces // Studia Math. 2012. Vol. 210 (2). P. 159–176.
8. Samko S.G., Umarchadzhiev S.M. On Iwaniec–Sbordone spaces on sets which may have infinite measure // Azerb. J. Math. 2011. Vol. 1(1). P. 67–84.
9. Samko S.G., Umarchadzhiev S.M. On Iwaniec–Sbordone spaces on sets which may have infinite measure: addendum // Azerb. J. Math. 2011. Vol. 1(2). P. 143–144.
10. Умархаджиев С.М. Ограниченность линейных операторов в весовых обобщенных гранд-пространствах Лебега // Вестн. Академии наук Чеченской Республики. 2013. Т. 19(2). С. 5–9.
11. Умархаджиев С.М. Обобщение понятия гранд-пространства Лебега // Изв. вузов. Математика. 2014. № 4. С. 42–51.

12. Умархаджиев С.М. Ограниченность потенциала Рисса в весовых обобщенных гранд-пространствах Лебега // Владикавк. мат. журн. 2014. Вып. 16 (2). С. 62–68.
13. Umarchadzhiev S.M. The Boundedness of the Riesz Potential Operator from Generalized Grand Lebesgue Spaces to Generalized Grand Morrey Spaces // Operator Theory: Advances and Applications. 2014. Vol. 242. P. 363–373.
14. Bergh J., Lofstrom J. Interpolation spaces. An Introduction. Berlin, 1976.
15. Stein E.M., Weiss G. Interpolation of operators with change of measures // Trans. Amer. Math. Soc. 1958. Vol. 87. P. 159–172.
7. Kokilashvili V., Meskhi A. Trace inequalities for fractional integrals in grand Lebesgue spaces. *Studia Math.*, 2012, vol. 210 (2), pp. 159-176.
8. Samko S.G., Umarchadzhiev S.M. On Iwaniec-Sbordone spaces on sets which may have infinite measure. *Azerb. J. Math.*, 2011, vol. 1(1), pp. 67-84.
9. Samko S.G., Umarchadzhiev S.M. On Iwaniec-Sbordone spaces on sets which may have infinite measure: addendum. *Azerb. J. Math.*, 2011, vol. 1(2), pp. 143-144.
10. Umarchadzhiev S.M. Ogranichennost' lineinykh operatorov v vesovykh obobshchennykh grand-prostranstvakh Lebeга [Bounded linear operators in weighted generalized grand Lebesgue spaces]. *Vestn. Akademii nauk Chechenskoi Respubliki*, 2013, vol. 19 (2), pp. 5-9.

References

1. Stein I.M. *Singular integrals and differentiability properties of functions*. Princeton, 1970, 304 p.
2. Muckenhoupt B. Weighted norm inequalities for the Hardy maximal function. *Trans. Amer. Math. Soc.*, 1972, vol. 165, pp. 207-226.
3. Duoandikoetxea J. Fourier Analysis. *Amer. Math. Soc.*, 2001, vol. 29.
4. Garcia-Cuerva J., Rubio de Francia J.L. *Weighted norm inequalities and related topics*. Amsterdam, 1985.
5. Fiorenza A., Gupta B., Jain P. The maximal theorem in weighted grand Lebesgue spaces. *Studia Math.*, 2008, vol. 188 (2), pp. 123-133.
6. Kokilashvili V. Boundedness criteria for singular integrals in weighted Grand Lebesgue spaces. *J. Math. Sci.*, 2010, vol. 170 (1), pp. 20-33.
11. Umarchadzhiev S.M. Obobshchenie ponyatiya grand-prostranstva Lebeга [The generalization of the concept of grand Lebesgue spaces]. *Izv. vuzov. Matematika*, 2014, no 4, pp. 42-51.
12. Umarchadzhiev S.M. Ogranichennost' potentsiala Rissa v vesovykh obobshchennykh grand-prostranstvakh Lebeга [Capacity constraints Rice in weighted Lebesgue generalized grand spaces]. *Vladikavk. mat. zhurn.*, 2014, vol. 16(2), pp. 62-68.
13. Umarchadzhiev S.M. The boundedness of the Riesz potential operator from generalized grand Lebesgue spaces to generalized grand Morrey spaces. *Operator Theory: Advances and Applications*, 2014, vol. 242, pp. 363-373.
14. Bergh J., Lofstrom J. *Interpolation spaces. An Introduction*. Berlin, 1976.
15. Stein E.M., Weiss G. Interpolation of operators with change of measures. *Trans. Amer. Math. Soc.*, 1958, vol. 87, pp. 159-172.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 57.044; 631.46

DOI 10.18522/0321-3005-2016-1-39-44

УСТОЙЧИВОСТЬ МИКРОБОЦЕНОЗА ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО СЕВЕРОПРИАЗОВСКОГО К ЗАГРЯЗНЕНИЮ АНТИБИОТИКАМИ*

© 2016 г. Ю.В. Акименко, К.Ш. Казеев, С.И. Колесников

Акименко Юлия Викторовна – ассистент, кафедра экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологий Южного федерального университета, ул. Б. Садовая, 105/42, г. Ростов-на-Дону, 344006, e-mail: akimenkojuliya@mail.ru

Казеев Камил Шагидуллоевич – доктор географических наук, профессор, кафедра экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологий Южного федерального университета, ул. Б. Садовая, 105/42, г. Ростов-на-Дону, 344006.

Колесников Сергей Ильич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, завкафедрой экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологий Южного федерального университета, ул. Б. Садовая, 105/42, г. Ростов-на-Дону, 344006, e-mail: kolesnikov@sfedu.ru

Akimenko Yuliya Viktorovna – Assistant, Ecology and Natural Management Department, Academy of Biology and Biotechnology of the Southern Federal University, B. Sadovaya St., 105/42, Rostov-on-Don, 344006, Russia, e-mail: akimenkojuliya@mail.ru

Kazeev Kamil Shagidulloevich – Doctor of Geographical Science, Professor, Ecology and Natural Management Department Academy of Biology and Biotechnology of the Southern Federal University, B. Sadovaya St., 105/42, Rostov-on-Don, 344006, Russia.

Kolesnikov Sergei Il'ich – Doctor of Agricultural Science, Professor, Head of Ecology and Natural Management Department, Academy of Biology and Biotechnology of the Southern Federal University, B. Sadovaya, St., 105/42, Rostov-on-Don, 344006, Russia, e-mail: kolesnikov@sfedu.ru

Установлено негативное воздействие антибиотиков и их сочетаний на микробоценоз чернозема обыкновенного североприазовского. Наблюдается прямая зависимость между содержанием антибиотиков в почве и степенью снижения численности микроорганизмов. Достоверное ингибирование численности микроорганизмов происходит при концентрации антибиотиков 100 мг/кг почвы. По степени устойчивости к антибиотикам исследованные группы микроорганизмов чернозема образовали следующий ряд: бактерии р. *Azotobacter* > микромицеты > амилотические бактерии > аммонифицирующие бактерии.

Ключевые слова: антибиотики, загрязнение, микроорганизмы, устойчивость, чернозем обыкновенный.

*It was found a negative effect of antibiotics and their combinations on the chernozem ordinary. There is a direct correlation between the content of antibiotics in the soil and the degree of reduction in the number of microorganisms. Significant inhibition occurs when the number of microorganisms antibiotic concentrations of 100 mg/kg soil. According to the degree of resistance to antibiotics the group studied microorganisms formed following series: p. *Azotobacter* > micromycetes > amylolytic bacteria > ammonifying bacteria.*

Keywords: antibiotics, pollution, microorganisms, resistance, chernozem ordinary.

В почве происходят разнообразные химические превращения. Главную роль в этих процессах играют почвенные микроорганизмы, жизнедеятельность которых является хорошим диагностическим показателем плодородия почв и его изменения в результате воздействия разных антропогенных факторов.

В связи с интенсификацией использования антибиотиков в растениеводстве и животноводстве обостряется проблема загрязнения этими веществами и их производными почв агроценозов. На

сегодняшний день экотоксичность антибиотиков в окружающей среде не изучена [1, 2]. Устойчивость микроорганизмов к разным классам антибиотиков относится к числу наиболее острых проблем современности. По мере углубления знаний об антибиотиках стали накапливаться данные о неблагоприятных последствиях бесконтрольного применения этих препаратов [3].

В основном антибиотики попадают в почву благодаря применению навоза и сточных вод на сельскохозяйственных землях в качестве удобрения [4].

*Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (6.345.2014/К).

С каждым годом все чаще разные концентрации антибиотиков регистрируются в сточных водах, почвах, грунтовой и питьевой воде [5, 6]. Локально в почвах обнаруживаются антибиотики группы тетрациклинов в концентрациях 1–900 мг/кг, группы макролидов – 1÷800 мг/кг [7].

Центральное ведомство по охране окружающей среды Германии исследовало масштаб применения антибиотиков в странах Евросоюза (ЕС). Оказалось, что основными потребителями антибиотиков являются отрасли животноводства. Одной из первых стран, выступивших с инициативой запрета использования антибиотиков в животноводстве, была Швеция, затем Швейцария, Нидерланды и ряд других европейских стран. В России же кормовые антибиотики не запрещены. В отношении тетрациклинов и сульфаниламидов в странах ЕС до сих пор нет никаких экологических стандартов. Множество попыток сегодня предпринимается с целью заполнить пробелы в научных знаниях о поведении и распространении антибиотиков в окружающей среде и в соответствии с этими знаниями внести изменения в законодательство [8].

Сейчас работников сельскохозяйственной сферы обвиняют в том, что антибиотики из сельхозугодий попадают в окружающие водоемы. Муниципальные системы очистки воды не в состоянии их отфильтровывать. Поэтому сейчас очень важно изучить, как такое загрязнение влияет на состояние экосистем и почвенного покрова в частности.

Цель настоящего исследования – оценка устойчивости микробоценоза чернозема обыкновенного североприазовского к загрязнению антибиотиками.

Объектом исследования являлся чернозем обыкновенный южноевропейской фации. Отбор почвы для лабораторных модельных исследований производили из пахотного слоя (0–25 см) в Ботаническом саду Южного федерального университета (г. Ростов н/Д). Черноземы обыкновенные юноевропейской фации (североприазовские) на территории сада являются преобладающими почвами.

В качестве токсикантов были выбраны антибиотики, широко используемые в медицине и сельском хозяйстве. Воздушно-сухие образцы почвы обрабатывали растворами медицинского антибиотика – бензилпенициллина, ветеринарного – фармазина и их смесью с фунгицидным антибиотиком нистатином в широком диапазоне концентраций 1÷1000 мг/кг почвы. Биологические свойства изучали на 10, 60, 120-е сут инкубации. Используемые концентрации были выбраны по литературным данным, согласно остаточным количествам антибиотиков в окружающей среде [9].

Далее изучали воздействие медицинских (ампициллина, стрептомицина) и ветеринарных антибиотиков (тилозина, тромексина, ализерила и их смесей с фунгицидом инпут) в концентрации 500 мг/кг почвы, которая была выбрана по результатам ранее проведенных рекогносцировочных опытов [10, 11]. Исследования биологических показателей проводили на 3, 30 и 90-е сут инкубации. Все образцы почв инкубировали при температуре 20±25 °С и оптимальном увлажнении (60 % от полевой влагоемкости). Контролем служила почва, не загрязненная антибиотиком.

Лабораторно-аналитические работы выполнены с использованием методов, общепринятых в экологии и биологии почв [12]. Комплексное исследование микробоценоза чернозема включало определение численности микроорганизмов методом глубинного посева соответствующих разведений на плотные питательные среды: аммонифицирующих бактерий – на МПА, амилитических – на КАА, микромицетов – на подкисленной среде Чапека, бактерий *p. Azotobacter* – на среде Эшби (метод комочков обрастания). Общую численность бактерий определяли методом люминесцентной микроскопии с окрашиванием проб акридиновым оранжевым. Проводили подсчет светящихся зеленым цветом клеток бактерий на инвертированном микроскопе фирмы ZEISS модель AXIO Vert. A1 со светофильтром 450÷490 нм. При подсчете клеток просматривали по 20 полей зрения для каждого предметного стекла.

Внесение антибиотиков в почву приводило к изменению численности основных групп почвенных микроорганизмов, которые отличались по их устойчивости к вносимым антибиотикам (рис. 1). Из диапазона выбранных концентраций 1÷1000 мг/кг минимальный статистически достоверный эффект ингибирующего воздействия антибиотиков наблюдался при концентрации 100 мг/кг почвы. В большинстве случаев обнаружилась прямая зависимость между содержанием антибиотиков в почве и степенью снижения численности микроорганизмов ($r = -0,68-0,86$). Максимальное ингибирующее действие антибиотиков проявляется в первые 10 сут с момента загрязнения. На последующих сроках исследования наблюдается тенденция восстановления численности микроорганизмов. Аммонифицирующие бактерии оказались более чувствительными к вносимым антибиотиками в отличие от амилитических бактерий и микромицетов. Иммонифицирующие бактерии проявляют высокую чувствительность и к другим видам загрязнения [13].

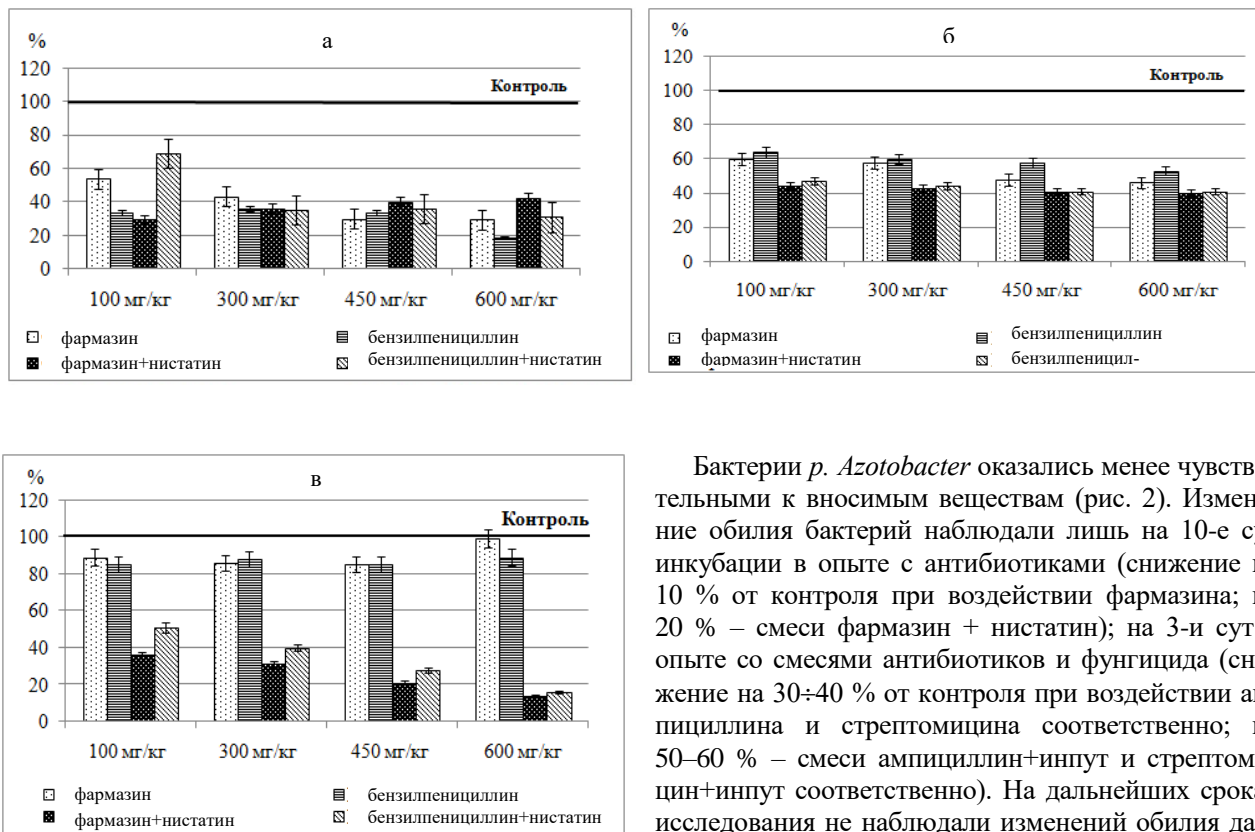


Рис. 1. Изменение численности основных групп микроорганизмов чернозема при загрязнении антибиотиками: а – аммонифицирующих бактерий; б – амилолитических бактерий; в – микромицетов, % от контроля

Бактерии *p. Azotobacter* оказались менее чувствительными к вносимым веществам (рис. 2). Изменение обилия бактерий наблюдали лишь на 10-е сут инкубации в опыте с антибиотиками (снижение на 10 % от контроля при воздействии фармазина; на 20 % – смеси фармазин + нистатин); на 3-и сут в опыте со смесями антибиотиков и фунгицида (снижение на 30÷40 % от контроля при воздействии ампициллина и стрептомицина соответственно; на 50–60 % – смеси ампициллин+инпут и стрептомицин+инпут соответственно). На дальнейших сроках исследования не наблюдали изменений обилия данного рода бактерий. При этом азотфиксирующие бактерии были чувствительнее к загрязнению тяжелыми металлами, нефтью, ионизирующему излучению, чем другие группы бактерий [14, 15].

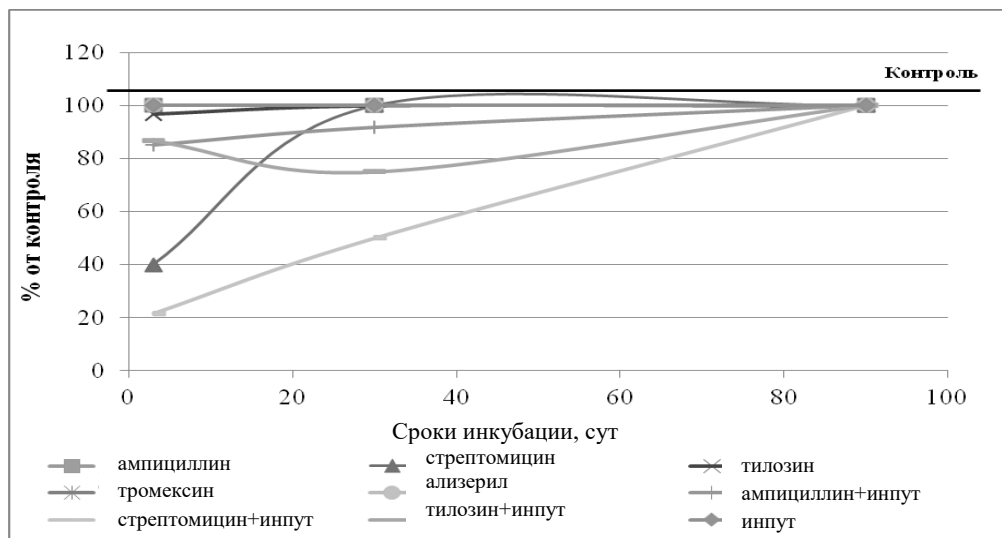


Рис. 2. Изменение обилия бактерий *p. Azotobacter* при загрязнении чернозема антибиотиками и их комплексами с фунгицидом

Методом люминесцентной микроскопии установили (таблица), что общее количество бакте-

рий в контрольном образце чернозема составляет 11,4 млрд/г почвы. Согласно шкале для оценки

степени обогащенности почв микроорганизмами (люминесцентно-микроскопический метод) (по Звягинцеву, 1978), чернозем Ботанического сада относится к очень богатой по степени обогащенности почве (> 10 млрд/г). При загрязнении чернозема антибиотиком тилозином наблюдается снижение общей численности бактерий. Между концентрацией антибиотика и численностью бактерий наблюдается тесная обратная корреляция ($r = -0,85$). Наибольшее снижение общей численности бактерий происходит в первые 10 сут с момента загрязнения. Согласно шкале для оценки степени обогащенности почв микроорганизмами

(по Звягинцеву, 1978), в первые 10 сут с момента загрязнения степень обогащенности почвы изменяется до среднеобогатенной. На дальнейших сроках наблюдается тенденция восстановления общей численности бактерий. Но, несмотря на наблюдаемую тенденцию, и на 120-е сут после загрязнения снижение численности бактерий составляет 23 % от контроля (концентрация 1000 мг/кг) ($p < 0,01$). Таким образом, при загрязнении чернозема тилозином наблюдается изменение степени обогащенности микроорганизмами: очень богатая (10 сут) $>$ среднеобогатенная (60 сут) $>$ богатая (120 сут).

Динамика изменения общей численности бактерий чернозема при загрязнении антибиотиком тилозином, млрд/г

10-е сут				
Контроль		Концентрация, мг/кг		
		10	100	1000
$M \pm m$	11,40 \pm 0,01	10,1 \pm 0,08	6,60 \pm 0,22**	3,90 \pm 0,05**
s	0,02	0,30	0,90	0,20
$CV, \%$	0,31	3,38	13,46	0,21
% от контроля		89	58	35
60-е сут				
$M \pm m$	11,72 \pm 0,14	10,59 \pm 0,11	8,63 \pm 0,17*	6,63 \pm 0,13**
s	0,50	0,40	0,70	0,50
$CV, \%$	4,65	4,01	8,03	8,11
% от контроля		90	74	57
120-е сут				
$M \pm m$	11,89 \pm 0,04	11,02 \pm 0,05	9,60 \pm 0,07*	9,12 \pm 0,12**
s	0,20	0,20	0,30	0,50
$CV, \%$	1,31	1,67	2,95	5,12
% от контроля		93	81	77

Примечание. $M \pm m$ – среднее \pm среднего; s – стандартное отклонение; CV – коэффициент вариации, %. Достоверные отличия по отношению к контролю: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$.

Следует отметить, что окрашивание красителем акридиновым оранжевым позволяет определить лишь общую численность бактерий в почвенном образце, но не физиологическое состояние клеток. Для более подробного анализа микробного сообщества требуется окрашивание двухкомпонентным флуоресцентным красителем (LIVE/DEAD). Его применение позволит определить как общую численность бактерий, так и физиологическое состояние клеток. Таким образом, применение подобного красителя позволит более точно определить общую численность интактных «живых» клеток в почвенном образце, способных выполнять те или иные функции в почве.

Выводы

1. Установлено негативное воздействие антибиотиков и их сочетаний на микробиоценоз чернозема обыкновенного североприазовского. Наблюдается прямая зависимость между содержанием антибиотиков в почве и степенью снижения численности микроорганизмов.

2. Степень влияния антибиотиков определяется их природой, концентрацией и сроками воздействия. Достоверное ингибирование численности микроорганизмов происходит при концентрации антибиотиков 100 мг/кг почвы.

3. Максимальное воздействие антибиотиков проявляется в первые 10 сут с момента загрязнения чернозема. После наблюдается тенденция к восстановлению численности почвенных микроорганизмов.

4. По степени устойчивости к антибиотикам исследованные группы микроорганизмов чернозема образовали следующий ряд: бактерии *p. Azotobacter* > микромицеты > амилитические бактерии > амонифицирующие бактерии.

5. Динамика восстановления численности микроорганизмов носит нелинейный характер.

Литература

1. Radjenovic' J., Petrovic' M., Barceló D. Fate and distribution of pharmaceuticals in wastewater and sewage sludge of the conventional activated sludge (CAS) and advanced membrane bioreactor (MBR) treatment // *Water Res.* 2009. Vol. 43. P. 831–841.
2. Du L.F., Liu W.K. Occurrence, fate, and ecotoxicity of antibiotics in agro-ecosystems. A review // *Agron. Sustain. Dev.* 2012. Vol. 32. P. 309–327.
3. Черкашина Н.В., Дроздова Л.И., Махортов В.Л., Васильев П.Г., Щербаков М.Г., Демина Л.В., Ильязов А.А., Сирик М.С. Анализ современного состояния проблемы использования антибиотиков в качестве кормовой добавки // *Аграрный вестник Урала*. 2011. № 3 (82). С. 39–43.
4. Kemper N. Veterinary antibiotics in the aquatic and terrestrial environment a review // *Ecological Indicators*. 2008. № 8. P. 1–13.
5. Zhou L.-J., Ying G.-G., Zhao J.-L., Yang J.-F., Wang L., Yang B. Trends in the occurrence of human and veterinary antibiotics in the sediments of the Yellow River, Hoi River and Liao River in northern China // *Environ. Pollut.* 2011. Vol. 159. P. 1877.
6. Yang J.-F., Ying G.-G., Zhao J.-L., Tao R., Su H.-C., Liu Y.-S. Spatial and seasonal distribution of selected antibiotics in surface waters of the Pearl Rivers, China // *Environ. Sci. Health*. 2011. Vol. 46. P. 272.
7. Höper H., Kues J., Nau H., Hamscher G. Eintrag und Berbleib von Tierarzneimittelwirkstoffen in Boden // *Bodenschutz*. 2002. Vol. 4. P. 141–148.
8. World Health Organization (2014). Antimicrobial Resistance: Global Report on Surveillance 2014, WHO.
9. Sun P., Cabrera M.L., Huang C.-H., Pavlostathis S.G. Biodegradation of veterinary ionophore antibiotics in broiler litter and soil microcosms. // *Environ. Sci. Technol.* 2014. Vol. 48. P. 2724–2731.
10. Акименко Ю.В. Влияние фармацевтических антибиотиков на динамику численности почвенных микроорганизмов // *Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки*. 2014. № 5 (183). С. 63–68.
11. Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Изменение биохимических свойств чернозема обыкновенного при загрязнении биоцидами // *Агрохимия*. 2015. № 3. С. 81–87.
12. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д., 2012. 380 с.

13. Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние разных способов стерилизации на биологические свойства чернозема обыкновенного // *Современные проблемы науки и образования*. 2013. № 6. С. 721.
14. Kolesnikov S.I., Zharkova M.G., Kazeev K.S., Kutuzova I.V., Samokhvalova L.S., Naleta E.V., Zubkov D.A. Ecotoxicity assessment of heavy metals and crude oil based on biological characteristics of chernozem // *Russian J. of Ecology*. 2014. Vol. 45, № 3. P. 157–166.
15. Denisova T.V., Kazeev K.Sh. Sensitivity of some groups of ordinary chernozem soil microorganisms to γ irradiation // *Russian J. of Ecology*. 2008. Vol. 39, № 2. P. 99–104.

References

1. Radjenovic' J., Petrovic' M., Barceló D. Fate and distribution of pharmaceuticals in wastewater and sewage sludge of the conventional activated sludge (CAS) and advanced membrane bioreactor (MBR) treatment. *Water Res.*, 2009, vol. 43, pp. 831-841.
2. Du L.F., Liu W.K. Occurrence, fate, and ecotoxicity of antibiotics in agro-ecosystems. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 2012, vol. 32, pp. 309-327.
3. Cherkashina N.V., Drozdova L.I., Makhortov V.L., Vasil'ev P.G., Shcherbakov M.G., Demina L.V., Il'yazov A.A., Sirik M.S. Analiz sovremennogo sostoyaniya problemy ispol'zovaniya antibiotikov v kachestve kormovoi dobavki [Analysis of the current state of the problem of the use of antibiotics as a feed additive]. *Agrarnyi vestnik Urala*, 2011, no 3 (82), pp. 39-43.
4. Kemper N. Veterinary antibiotics in the aquatic and terrestrial environment a review. *Ecological Indicators*, 2008, no 8, pp. 1-13.
5. Zhou L.-J., Ying G.-G., Zhao J.-L., Yang J.-F., Wang L., Yang B. Trends in the occurrence of human and veterinary antibiotics in the sediments of the Yellow River, Hoi River and Liao River in northern China. *Environ. Pollut.*, 2011, vol. 159, p. 1877.
6. Yang J.-F., Ying G.-G., Zhao J.-L., Tao R., Su H.-C., Liu Y.-S. Spatial and seasonal distribution of selected antibiotics in surface waters of the Pearl Rivers, China. *Environ. Sci. Health*, 2011, vol. 46, p. 272.
7. Höper H., Kues J., Nau H., Hamscher G. Eintrag und Berbleib von Tierarzneimittelwirkstoffen in Boden. *Bodenschutz.*, 2002, vol. 4, S. 141-148.
8. World Health Organization (2014) Antimicrobial Resistance: Global Report on Surveillance 2014, WHO.
9. Sun P., Cabrera M.L., Huang C.-H., Pavlostathis S.G. Biodegradation of veterinary ionophore antibiotics in broiler litter and soil microcosms. *Environ. Sci. Technol.*, 2014, vol. 48, pp. 2724-2731.
10. Akimenko Yu.V. Vliyanie farmatsevticheskikh antibiotikov na dinamiku chislennosti pochvennykh mikroorganizmov [Influence of pharmaceutical antibiotics on the population dynamics of soil microorganisms]. *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestv. nauki*, 2014, № 5 (183), pp. 63-68.
11. Akimenko Yu.V., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Izmenenie biokhimicheskikh svoystv chernozema obyknovennogo pri zagryaznenii biotsidami [Change of biochemical properties of the chernozem ordinary at pollution by biocides]. *Agrokhimiya*, 2015, no 3, pp. 81-87.
12. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. *Biodiagnostika pochv: metodologiya i metody issledovaniy* [Soil biondiagnostics: methodology and methods of research]

- methodology and research methods]. Rostov-on-Don, 2012, 380 p.
13. Akimenko Yu.V., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Vliyanie raznykh sposobov sterilizatsii na biologicheskie svoistva chernozema obyknovennogo [Influence of different ways of sterilization on biological properties of the chernozem ordinary]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2013, no 6, p. 721.
 14. Kolesnikov S.I., Zharkova M.G., Kazeev K.S., Kutuzova I.V., Samokhvalova L.S., Naleta E.V., Zubkov D.A. Ecotoxicity assessment of heavy metals and crude oil based on biological characteristics of chernozem. *Russian J. of Ecology*, 2014, vol. 45, no 3, pp. 157-166.
 15. Denisova T.V., Kazeev K.Sh. Sensitivity of some groups of ordinary chernozem soil microorganisms to γ irradiation. *Russian J. of Ecology*, 2008, vol. 39, no 2, pp. 99-104.

Поступила в редакцию

3 февраля 2016 г.

УДК 541.572.54 + 547.756 + 547.288 + 543.429.23 + 548.75

DOI 10.18522/0321-3005-2016-1-45-48

КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ ПРОДУКТА КОНДЕНСАЦИИ ИЗАТИНА И САЛИЦИЛОИЛГИДРАЗИДА*

© 2016 г. И.С. Васильченко, С.Б. Зайченко, А.В. Бичеров,
Г.С. Бородкин, Е.Н. Балакшина, А.С. Бурлов

Васильченко Игорь Станиславович – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник, НИИ физической и органической химии Южного федерального университета, пр. Стачки, 194/2, г. Ростов-на-Дону, 344090, e-mail: vas@ipoc.sfedu.ru

Зайченко Светлана Борисовна – научный сотрудник, НИИ физической и органической химии Южного федерального университета, пр. Стачки, 194/2, г. Ростов-на-Дону, 344090.

Бичеров Александр Викторович – научный сотрудник, НИИ физической и органической химии Южного федерального университета, пр. Стачки, 194/2, г. Ростов-на-Дону, 344090.

Бородкин Геннадий Сергеевич – кандидат химических наук, главный научный сотрудник, НИИ физической и органической химии Южного федерального университета, пр. Стачки, 194/2, г. Ростов-на-Дону, 344090, e-mail: nmr@ipoc.sfedu.ru

Балакшина Елена Николаевна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, НИИ физической и органической химии Южного федерального университета, пр. Стачки, 194/2, г. Ростов-на-Дону, 344090.

Бурлов Анатолий Сергеевич – кандидат химических наук, главный научный сотрудник, НИИ физической и органической химии Южного федерального университета, пр. Стачки, 194/2, г. Ростов-на-Дону, 344090, e-mail: garn@ipoc.sfedu.ru

Vasil'chenko Igor' Stanislavovich – Candidate of Chemical Science, Leading Researcher, Institute of Physical and Organic Chemistry of the Southern Federal University, Stachki Ave, 194/2, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: vas@ipoc.sfedu.ru

Zaychenko Svetlana Borisovna – Researcher, Institute of Physical and Organic Chemistry of the Southern Federal University, Stachki Ave, 194/2, Rostov-on-Don, 344090, Russia.

Bicherov Aleksandr Viktorovich – Researcher, Institute of Physical and Organic Chemistry of the Southern Federal University, Stachki Ave, 194/2, Rostov-on-Don, 344090, Russia.

Borodkin Gennadii Sergeevich – Candidate of Chemical Science, Main Researcher, Institute of Physical and Organic Chemistry of the Southern Federal University, Stachki Ave, 194/2, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: nmr@ipoc.sfedu.ru

Balakshina Elena Nikolaevna – Candidate of Chemical Science, Senior Researcher, Institute of Physical and Organic Chemistry of the Southern Federal University, Stachki Ave, 194/2, Rostov-on-Don, 344090, Russia.

Burlov Anatolii Sergeevich – Candidate of Chemical Science, Main Researcher, Institute of Physical and Organic Chemistry of the Southern Federal University, Stachki Ave, 194/2, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: garn@ipoc.sfedu.ru

Впервые синтезирован гидразон изатина и салицилолгидразида. Показано, что в растворе и твердой фазе полученное соединение существует в оксо-гидразонной таутомерной форме. Исследовано комплексообразование полученного имина с ионами Cu^{2+} и Cd^{2+} . Обнаружено, что салицилолгидразон изатина может образовывать два типа внутрикомплексных соединений – моноядерные для кадмия и биядерные в случае меди, причем в полученных металлокомплексах стабилизируется при координации азо-фенольная таутомерная форма лиганда.

Ключевые слова: изатин, салицилолгидразид, конденсация.

Hydrazone on the base of isatin and salicyloylhydrazide was prepared for the first time. It was shown that this substance exists in the oxo-hydrazone tautomeric form both in solid state and solution. Complexation of the imine with Cu^{2+} and Cd^{2+} ions investigated. It was found that salicyloylhydrazone of isatin can form two types of coordination compounds – mononuclear for cadmium and binuclear for copper, notably that azo-phenolic tautomeric form of the ligand is stabilized in obtained metallocomplexes.

Keywords: isatin, salicyloylhydrazide, condensation.

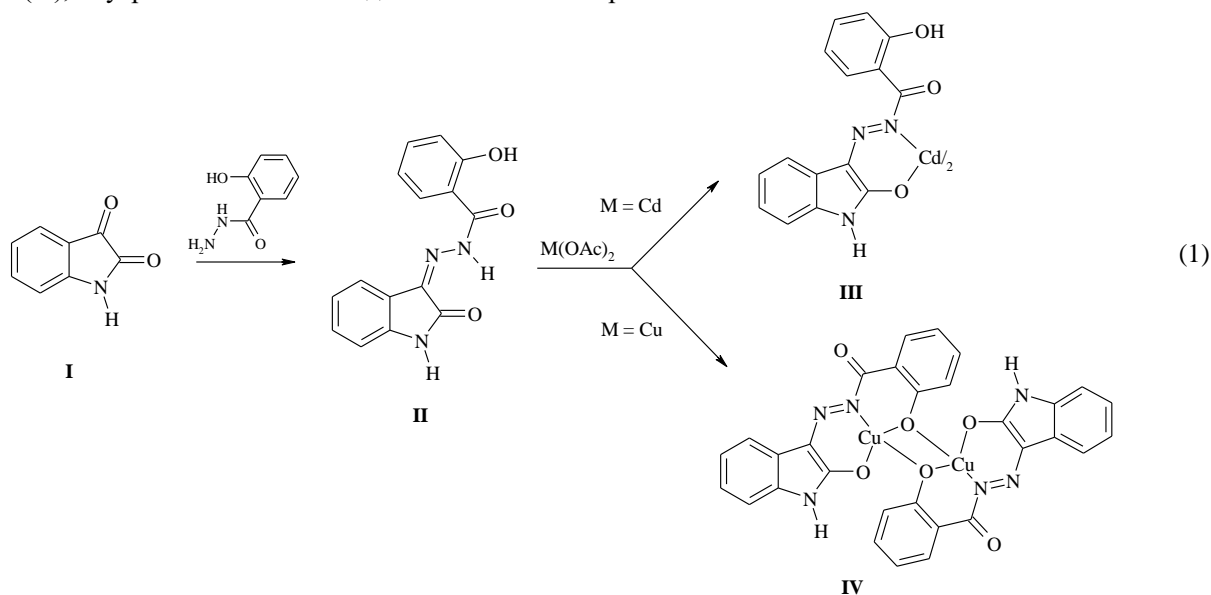
Многие производные индола являются биологически активными веществами [1] (триптофан – протеиногенная аминокислота, продукты метаболизма которой участвуют в процессах молекулярного запоминания [2]; индолил-3-уксусная кислота (гетеро-ауксин), являющаяся регулятором корнеобразования у растений [3]). Одним из наиболее реакционноспособных производных индола является изатин – 2,3-

диоксо-1-Н-индол (**I**). Хотя производные изатина, содержащие связь $C=N$ в третьем положении, довольно широко представлены [4–7], координационная химия подобных соединений исследована сравнительно слабо [8–10], тогда как металлокомплексы являются активными центрами многих ферментов, в донорное окружение некоторых входят атомы азота гистидина и триптофана [11].

*Работа выполнена в рамках проектной части внутреннего гранта ЮФУ (проект № 213.01-07-2014/09).

Нами получен новый ацилгидразон на основе изатина (**I**), внутрикомплексные соединения на его

основе (**III**, **IV**) (схема (1)) и изучены их свойства и строение.



Экспериментальная часть

С,Н,N-элементный анализ выполнен на приборе Carlo Erba Instruments TCM 480. Содержание металла определяли весовым методом.

Температуры плавления измерялись на столике Кофлера.

Спектры ^1H ЯМР растворов исследованных соединений в $\text{DMSO-}d_6$ регистрировали на спектрометре Avance-600 (Bruker, 600 МГц) в режиме внутренней стабилизации полярно-резонансной линии ^2H в $\text{DMSO-}d_6$.

ИК-спектры твердых образцов лигандов и комплексов снимали на приборе Varian-Excalibur 3100 FT-IR методом нарушенного полного внутреннего отражения в порошке.

3-(2-Гидроксибензоилгидразинилиден)-1H-индол-2-он (II). Смесь 1,47 г (0,1 моля) изатина и 1,52 г (0,1 моля) салицилоилгидразида с добавлением 1÷2 каплей трифторуксусной кислоты в 20 мл *n*-бутанола кипятили в течение 30 мин, охлаждали; выпавший по охлаждению осадок отфильтровывали, дважды промывали порциями по 15 мл пропанола-2 и сушили при температуре 150 °С, после чего перекристаллизовывали из ДМФА. Выход 2,30 г (82 %). Т. – желтый порошок, т. пл. > 300 °С. ИК-спектр (ν , cm^{-1}): 1643 (C=N), 1692 (C=O), 1713 (C=O), 3087 (N-H), 3147 (OH). Спектр ^1H ЯМР (δ , cm^{-1}): 6,91–7,11 (м, 4H, C-H_{аром}), 7,33–7,59 (м, 3H, C-H_{аром}), 7,97–8,00 (дд, 1H, C-H_{аром}), 11,16 (с, 1H, NH), 11,69 (с, 1H, NH), 14,37 (с, 1H, OH). Найдено, %: C 64,08, H 3,92, N 14,95. Для $\text{C}_{15}\text{H}_{11}\text{N}_3\text{O}_3$ вычислено, %: C 64,05, H 3,94, N 14,94.

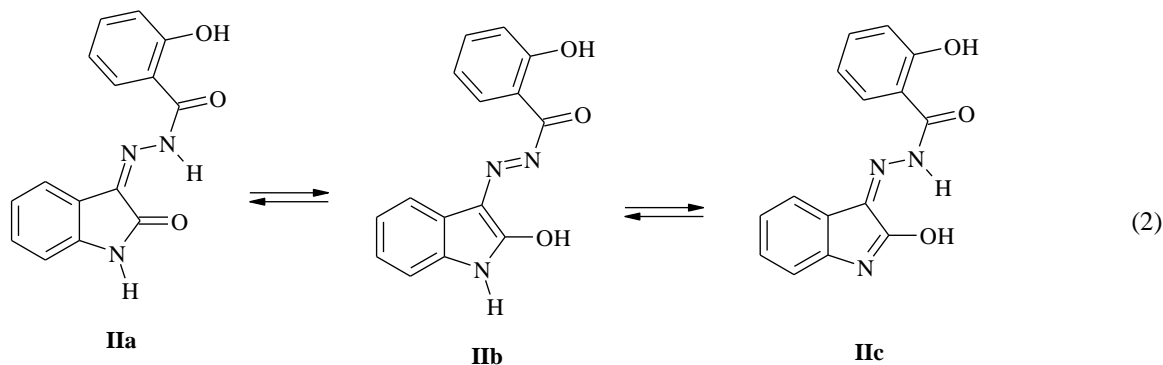
Бис[3-(2-гидроксибензоилгидразинилиден)-1H-индол-2-онато-κ-N,O]кадмий(II) (III). К горячему раствору 281 мг (1 ммоль) гидразона **II** в 20 мл ДМФА приливали горячий раствор 110 мг (0,5 ммоль) дигидрата ацетата кадмия (II) в 10 мл бутанола-1. Смесь кипятили в течение 20 мин, охлаждали, выпавший осадок отфильтровывали, дважды промывали порциями по 5 мл метанола и сушили при температуре 150 °С. Выход 262 мг (78 %). Т. – оранжевый порошок, т. пл. > 300 °С. ИК-спектр (ν , cm^{-1}): 1304 (N=N), 1683 (C=O), 3190 (NH), 3282 (OH). Спектр ^1H ЯМР (δ , cm^{-1}): 6,89–6,99 (м, 3H, C-H_{аром}), 7,18 (т, 1H, C-H_{аром}), 7,37–7,39 (м, 2H, C-H_{аром}), 8,00–8,03 (м, 2H, C-H_{аром}), 11,01 (с, 1H, NH), 13, 73 (с, 1H, OH). Найдено, %: C 53,54, H 3,02, Cd 16,73, N 12,50. Для $\text{C}_{30}\text{H}_{20}\text{N}_6\text{O}_6\text{Cd}$ вычислено, %: C 53,55, H 3,00, Cd 16,70, N 12,49.

Бис [3-(2-гидроксибензоилгидразинилиден)-1H-индол-2-онато-κ-N,O] димедь (II) (IV). К кипящему раствору 140 мг (0,5 ммоль) гидразона **II** в 20 мл смеси бутанол-1 – ДМФА (3,1) приливали горячий раствор 100 мг (0,5 ммоль) моногидрата ацетата меди (II) в 10 мл бутанола-1. Суспензию выпавшего осадка кипятили в течение 20 мин, охлаждали, отфильтровывали, дважды промывали порциями по 5 мл метанола и сушили при температуре 150 °С. Выход 158 мг (92 %). Т. – коричневый порошок, т. пл. > 300 °С. ИК-спектр (ν , cm^{-1}): 1311 (N=N), 1652 (C=O), 3061 (NH). Найдено, %: C 52,54, H 2,63, Cu 18,57, N 12,27. Для $\text{C}_{30}\text{H}_{18}\text{N}_6\text{O}_6\text{Cu}_2$ вычислено, %: C 52,56, H 2,65, Cu 18,54, N 12,26.

Результаты и их обсуждение

Гидразон **II** может существовать в нескольких таутомерных формах (схема (2)).

В ИК-спектре данного соединения зафиксированы две полосы, соответствующие валентным колебаниям связи C=O, вследствие чего нами сделан вывод о существовании гидразона **II** в таутомерной форме **IIa**. Спектр ^1H ЯМР демонстрирует два сигнала групп NH и один сигнал группы OH, что опять



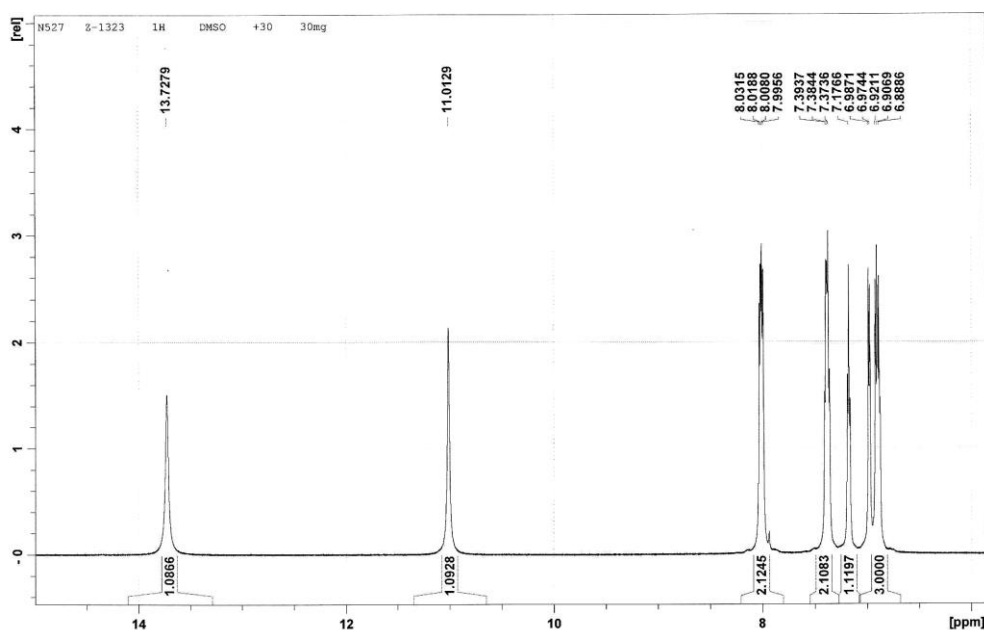
Результаты элементного анализа комплексов **III**, **IV** соответствуют разному соотношению металл – лиганд: для кадмиевого хелата – 1:2, тогда как для медного – 1:1, что подтверждается и данными спектральных исследований. В ИК-спектре медного димера присутствуют полосы валентных колебаний групп C=O и N-H, тогда как в спектре кадмиевого комплекса, кроме них, наличествует полоса поглощения, соответствующая колебаниям

же характерно лишь для формы **IIa**. Таким образом, нами сделан вывод о существовании имина **II** в оксо-гидразонной таутомерной форме **IIa** в твердом виде и в растворе.

Металлохелаты **III**, **IV** были получены методом непосредственного взаимодействия лигирующего гидразона и ацетатов металлов [12, 13] в протонном (бутанол-1) и апротонном (ДМФА) растворителях (схема (1)).

группы O-H, что согласуется с предложенными формулами **III**, **IV**. Данные ЯМР-спектрального (рисунок) исследования подтверждают этот вывод для комплекса **III**.

Кроме этого, в ИК-спектрах комплексов исчезают полосы поглощения группы C=N и появляется полоса поглощения группы N=N, что соответствует стабилизации при координации азо-фенольной таутомерной формы лиганда.



Спектр ЯМР ^1H комплекса **III**

Таким образом, нами показано, что салицилоил-гидразон изатина может образовывать два типа внутрикомплексных соединений – моноядерные для кадмия и биядерные в случае меди.

Спектральные измерения выполнены на оборудовании ЦКП ЮФУ «Молекулярная спектроскопия».

Литература

1. Солдатенков А.Т., Колядина Н.М., Шендрик И.В. Основы органической химии лекарственных веществ. М., 2001. 192 с.
2. Бокуть С.Б., Герасимович Н.В., Милютин А.А. Молекулярная биология: молекулярные механизмы хранения, воспроизведения и реализации генетической информации / под ред. Л.С. Мельник, Л.Д. Касьяновой. Минск, 2005. 480 с.
3. Галактионов С.Г. Биологически активные вещества. М., 1988. 268 с.
4. Davidovich P., Novikova D., Tribulovich V., Smirnov S., Gurzhiy V., Melino G., Garabadzhiu A. First X-ray structural characterization of isatin Schiff base derivative. NMR and theoretical conformational studies // *J. Mol. Struct.* 2014. Vol. 1075. P. 450–455.
5. Abdel-Aziz H.A., Bari A., Aboul-Fadl T., Ng S.W. (Z)-3-Hydrazinylidene-1-phenylindolin-2-one // *Acta Crystallogr. Sect. E: Struct. Rep. Online*. 2010. Vol. 66. P. o3014.
6. Rodriguez-Arguelles M.C., Mosquera-Vazquez S., Touron-Touceda P., Sanmartin-Matalobos J., Garcia-Deibe A., Belicchi-Ferrari M., Pelosi G., Pelizzi C., Zani F. Complexes of 2-thiophenecarbonyl and isonicotinoyl hydrazones of 3-(N-methyl)isatin: A study of their antimicrobial activity // *J. Inorg. Biochem.* 2007. Vol. 101. P. 138–147.
7. Labisbal E., Sousa-Pedrares A., Kaminsky W., West D.X. Structure of N-Methylisatin N(4)-Dimethylthiosemicarbazone and its Electrochemically Synthesized 6-Coordinate Cadmium(II) Complex // *Z. Naturforsch., B: Chem. Sci.* 2002. Vol. 57. P. 908–913.
8. Miao Y., Zhang X., Liu C., You J. Complexes of 2-thiophenecarbonyl and isonicotinoyl hydrazones of 3-(N-methyl)isatin: A study of their antimicrobial activity // *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online*. 2011. Vol. 67. P. o1291.
9. Labisbal E., Sousa A., Castineiras A., Garcia-Vazquez J.A., Romero J., Bain G.A., West D.X. Electrochemical Synthesis of a 6-Coordinate Cadmium(II) Complex with N-Methylisatin N(4)-cyclohexylthiosemicarbazone // *Z. Naturforsch., B: Chem. Sci.* 2000. Vol. 55. P. 162–166.
10. Zvereva E.E., Gubaidullin A.T., Katsyuba S.A., Vandyukov A.E., Tagasheva R.G., Bukharov S.V., Nugumanova G.N., Mukmeneva N.A. A cobalt(II) acetate complex with 1-(3,5-di-*tert*-butyl-4-hydroxybenzyl)-1H-indole-2,3-dione 3-thiosemicarbazone: synthesis and structure // *Russ. Chem. Bull.* 2012. P. 1909–1916.
11. Copper Metalloproteins / eds. R.H. Kretsinger, V.N. Uversky, E.A. Permyakov. N.Y., 2013. 717 p.
12. Гарновский А.Д., Васильченко И.С., Гарновский Д.А. Современные аспекты синтеза металлокомплексов. Ростов н/Д., 2000. 354 с.
13. Synthetic Coordination and Organometallic Chemistry / eds. A.D. Garnovskii, B.I. Kharisov. N.Y., 2003. 520 p.

References

1. Soldatenkov A.T., Kolyadina N.M., Shendrik I.V. *Osnovy organicheskoi khimii lekarstvennykh veshchestv* [Basics of organic chemistry of medicinal substances]. Moscow, 2001, 192 p.
2. Bokut' S.B., Gerasimovich N.V., Milyutin A.A. *Molekulyarnaya biologiya: molekulyarnye mekhanizmy khraneniya, vosproizvedeniya i realizatsii geneticheskoi informatsii* [Molecular biology: molecular mechanisms of storage, reproduction and realization of genetic information]. Eds. L.S. Mel'nik, L.D. Kas'yanova. Minsk, 2005, 480 p.
3. Galaktionov S.G. *Biologicheski aktivnye veshchestva* [Biologically active substances]. Moscow, 1988, 268 p.
4. Davidovich P., Novikova D., Tribulovich V., Smirnov S., Gurzhiy V., Melino G., Garabadzhiu A. First X-ray structural characterization of isatin Schiff base derivative. NMR and theoretical conformational studies. *J. Mol. Struct.*, 2014, vol. 1075, pp. 450-455.
5. Abdel-Aziz H.A., Bari A., Aboul-Fadl T., Ng S.W. (Z)-3-Hydrazinylidene-1-phenylindolin-2-one. *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online*, 2010, vol. 66, p. o3014.
6. Rodriguez-Arguelles M.C., Mosquera-Vazquez S., Touron-Touceda P., Sanmartin-Matalobos J., Garcia-Deibe A., Belicchi-Ferrari M., Pelosi G., Pelizzi C., Zani F. Complexes of 2-thiophenecarbonyl and isonicotinoyl hydrazones of 3-(N-methyl)isatin: A study of their antimicrobial activity. *J. Inorg. Biochem.*, 2007, vol. 101, pp. 138-147.
7. Labisbal E., Sousa-Pedrares A., Kaminsky W., West D.X. Structure of N-Methylisatin N(4)-Dimethylthiosemicarbazone and its Electrochemically Synthesized 6-Coordinate Cadmium(II) Complex. *Z. Naturforsch., B: Chem. Sci.*, 2002, vol. 57, pp. 908-913.
8. Miao Y., Zhang X., Liu C., You J. Complexes of 2-thiophenecarbonyl and isonicotinoyl hydrazones of 3-(N-methyl)isatin: A study of their antimicrobial activity. *Acta Crystallogr., Sect. E: Struct. Rep. Online*, 2011, vol. 67, p. o1291.
9. Labisbal E., Sousa A., Castineiras A., Garcia-Vazquez J.A., Romero J., Bain G.A., West D.X. Electrochemical Synthesis of a 6-Coordinate Cadmium(II) Complex with N-Methylisatin N(4)-cyclohexylthiosemicarbazone. *Z. Naturforsch., B: Chem. Sci.*, 2000, vol. 55, pp. 162-166.
10. Zvereva E.E., Gubaidullin A.T., Katsyuba S.A., Vandyukov A.E., Tagasheva R.G., Bukharov S.V., Nugumanova G.N., Mukmeneva N.A. A cobalt(II) acetate complex with 1-(3,5-di-*tert*-butyl-4-hydroxybenzyl)-1H-indole-2,3-dione 3-thiosemicarbazone: synthesis and structure. *Russ. Chem. Bull.*, 2012, pp. 1909-1916.
11. *Copper Metalloproteins*. Eds. R.H. Kretsinger, V.N. Uversky, E.A. Permyakov. New York, 2013, 717 p.
12. Гарновский А.Д., Васильченко И.С., Гарновский Д.А. *Sovremennye aspekty sinteza metallokompleksov* [Modern aspects of the synthesis of metal complexes]. Rostov-on-Don, 2000, 354 p.
13. *Synthetic Coordination and Organometallic Chemistry*. Eds. A.D. Garnovskii, B.I. Kharisov. New York, 2003, 520 p.

УДК 579.843.1:579.26:579:575.25

DOI 10.18522/0321-3005-2016-1-49-53

АНАЛИЗ ВНУТРИВИДОВОЙ КОНКУРЕНЦИИ *VIBRIO CHOLERAЕ* В БИОПЛЕНКАХ

© 2016 г. С.О. Водопьянов, С.В. Титова, А.С. Водопьянов, И.П. Олейников, Л.К. Лысова

Водопьянов Сергей Олегович – доктор медицинских наук, заведующий лабораторией, Ростовский-на-Дону противочумный институт Роспотребнадзора, ул. М. Горького, 117/40, г. Ростов-на-Дону, 344002, e-mail: serge100v@gmail.com

Титова Светлана Викторовна – кандидат медицинских наук, директор, Ростовский-на-Дону противочумный институт Роспотребнадзора, ул. М. Горького, 117/40, г. Ростов-на-Дону, 344002, e-mail: svetatitva@bk.ru

Водопьянов Алексей Сергеевич – кандидат медицинских наук, руководитель группы, Ростовский-на-Дону противочумный институт Роспотребнадзора, ул. М. Горького, 117/40, г. Ростов-на-Дону, 344002, e-mail: alexvod@gmail.com

Олейников Игорь Павлович – научный сотрудник, Ростовский-на-Дону противочумный институт Роспотребнадзора, ул. М. Горького, 117/40, г. Ростов-на-Дону, 344002, e-mail: alexvod@mail.ru

Лысова Людмила Константиновна – научный сотрудник, Ростовский-на-Дону противочумный институт Роспотребнадзора, ул. М. Горького, 117/40, г. Ростов-на-Дону, 344002, e-mail: labbiobez@mail.ru

Vodop'yanov Sergei Olegovich – Doctor of Medical Sciences, Head of Laboratory, Rostov-on-Don Anti-Plague Institute of the Federal Service in the Sphere of Consumer Right Protection, M. Gorkii St., 117/40, Rostov-on-Don, 344002, Russia, e-mail: serge100v@gmail.com

Titova Svetlana Viktorovna – Candidate of Medical Sciences, Director, Rostov-on-Don Anti-Plague Institute of the Federal Service in the Sphere of Consumer Right Protection, M. Gorkii St., 117/40, Rostov-on-Don, 344002, Russia, e-mail: svetatitva@bk.ru

Vodop'yanov Aleksei Sergeevich – Candidate of Medical Science, Team Leader, Rostov-on-Don Anti-Plague Institute of the Federal Service in the Sphere of Consumer Right Protection, M. Gorkii St., 117/40, Rostov-on-Don, 344002, Russia, e-mail: alexvod@gmail.com

Oleinikov Igor Pavlovich – Researcher, Rostov-on-Don Anti-Plague Institute of the Federal Service in the Sphere of Consumer Right Protection, M. Gorkii St., 117/40, Rostov-on-Don, 344002, Russia, e-mail: alexvod@gmail.com

Lysova Lyudmila Konstantinovna – Researcher, Rostov-on-Don Anti-Plague Institute of the Federal Service in the Sphere of Consumer Right Protection, M. Gorkii St., 117/40, Rostov-on-Don, 344002, Russia, e-mail: labbiobez@mail.ru

Представлена разработка на модели биопленок способа быстрого определения внутривидовой ингибирующей активности холерных вибрионов на основе изучения INDEL-маркеров. В работе использовали три токсигенных штамма *V. cholerae* и атоксигенный штамм, выделенный в 2015 г. из речной воды. Установлено, что один из изученных токсигенных штаммов способен успешно противостоять ингибирующей активности атоксигенного штамма как в планктонной форме, так и в составе биопленки. Следовательно, способность токсигенных штаммов вибрионов противостоять внутривидовой конкуренции может иметь большое биологическое значение. Таким образом, наибольшую опасность при попадании в водоемы представляют токсигенные штаммы *V. cholerae* «резистентного» фенотипа, способные противостоять ингибирующей активности атоксигенных штаммов.

Ключевые слова: *Vibrio cholerae*, биопленка, внутривидовая конкуренция, INDEL-маркеры.

The purpose of this work – the development of model biofilms way quickly determine intraspecific inhibitory activity of *Vibrio cholerae* from a study INDEL-markers. We used three of toxigenic strains of *V. cholerae* and nontoxigenic strain isolated in 2015 from the river water. It is found that one of toxigenic strains studied is able to successfully withstand the inhibiting activity nontoxigenic strain, in planktonic form, and as part of the biofilm. In our opinion, the ability of toxigenic *Vibrio* strains resist intraspecific competition can be of great biological significance. The greatest danger when released into water bodies are toxigenic strains of *V. cholerae* «resistant» phenotype can withstand inhibitory activity nontoxigenic strains.

Keywords: *Vibrio cholerae*, biofilm, intraspecific competition, INDEL-markers.

Целью эпидемиологического надзора за холерой, реализуемого в Российской Федерации, являются своевременное выявление завозных и возможных местных случаев холеры и быстрое проведение противоэпидемических мероприятий [1]. Эту задачу невозможно решить без учета особенностей биологии возбудителя.

Между тем в настоящий момент практически все знания о биологии холерного вибриона получе-

ны на модели свободноживущих аксеновых клеток – планктонной формы. В последнее время установлено, что многие микроорганизмы в естественных экосистемах, кроме традиционной планктонной формы, могут существовать и в виде структурированных, прикрепленных к поверхности сообществ – биопленок [2]. Установлено, что такая форма существования микроорганизмов обеспечивает им защиту и позволяет выживать в самых неблагоприят-

ных условиях. Тем самым биопленки способствуют длительной персистенции микробов в окружающей среде [3, 4].

Способность холерного вибриона образовывать биопленки в последнее время привлекла внимание исследователей у нас в стране и за рубежом. Исследователей интересует вопрос, как в составе биопленки изменяются такие важные характеристики вибрионов, как устойчивость к дезинфектантам, антибактериальным препаратам, желчным кислотам, кислоте рН [3–7], выживаемость во внешней среде [8] или вирулентность [9].

Одним из важных свойств вибрионов является их способность противостоять меж- и внутривидовой конкуренции. Показано, что некоторые представители других видов микроорганизмов подавляют колонизирующую и патогенную активность вибрионов [10]. Кроме того, на территории Российской Федерации в пробах воды поверхностных водоемов регулярно обнаруживают атоксигенные штаммы холерных вибрионов, что указывает на их стабильное сохранение в окружающей среде [11]. На данный момент имеются лишь единичные сообщения о внутривидовой конкурентной активности планктонной формы атоксигенных и токсигенных штаммов вибрионов [12]. Недавно был разработан метод оценки внутривидовой конкуренции вибрионов на основе анализа INDEL-маркеров [12]. Сведений о внутривидовой конкурентной активности атоксигенных и токсигенных штаммов вибрионов на модели биопленок в доступной литературе мы не встретили.

Цель настоящей работы – разработка на модели биопленок способа быстрого определения внутривидовой ингибирующей активности холерных вибрионов на основе изучения INDEL-маркеров.

Материалы и методы

В работе использовали характерные для шестой и седьмой пандемии холеры токсигенные штаммы *V. cholerae*, выделенные в разные годы, эпидемиологически опасные, с генотипами *ctxAB⁺tcrA⁺* (№ 19191, 301, 569В) и эпидемиологически неопасные, с генотипом *ctxAB⁻tcrA⁻* № 434, (выделенный в 2015 г. из реки Агуры). Все штаммы были получены из музея живых культур Ростовского-на-Дону противочумного института Роспотребнадзора. Исходные культуры выращивали на агаре Мартена при 37 °С в течение 18 ч.

Для изучения свойств штаммов биопленки холерных вибрионов получали на твердом субстрате, во флаконах (100 мл), контаминированных взвесью $n \times 10^4$ микробных клеток холерных вибрионов каждого штамма. Способ получения опи-

сан в [13]. В качестве сред культивирования инкубации использовали воду водопроводную, речную (р. Агура) и морскую, забранную в Черном море в месте впадения р. Агуры. В качестве контроля – 1-процентную пептонную воду. Культивирование проводили в 30 мл при комнатной температуре; в качестве твердого субстрата приняли пластинки (0,5 × 1,5 см) из пищевого пластика.

Из 18-часовых агаровых культур изучаемых штаммов холерного вибриона по отраслевому стандарту мутности ГИСК им. Л.А. Тарасевича (ОСО-42-25-59-86 П) готовили 1 млрд взвеси. Культуры в соответствующем разведении объединяли в изучаемые пары, контрольные пробы содержали только один из пары исследуемых штаммов. В опытных пробах были смешаны взвеси двух штаммов в соотношениях 1:1 или 1:3 соответственно. Количество образующих единиц (КОЕ) подтверждали путем высева на агар Мартена и подсчетом КОЕ/мл. Внутривидовую конкуренцию изучали одновременно у планктонной формы (для этого 0,5 мл среды инкубации из экспериментальной пробы переносили в пробирку типа эппендорф – 1,5 мл) и в форме биопленок. Для этого стерильным пинцетом из флакона извлекали одну пластиковую пластину, трижды промывали методом погружения соответствующей средой от несвязавшихся неадгезированных вибрионов; в вертикальном положении высушивали на листе стерильной фильтровальной бумаги. Далее сухую пластиковую пластину пинцетом помещали в пробирку типа эппендорф емкостью 1,5 мл. Обеззараживание пробы и выделение ДНК проводили немедленно после отбора пробы путем температурного лизиса, прогревая пробирку при 99 °С в течение 30 мин.

Изучение внутривидовой конкуренции вибрионов проводили в ПЦР с использованием праймеров к INDEL-локусу 012, как описано ранее [12].

Для обнаружения токсигенных штаммов вибрионов в этих же образцах ДНК использовали ПЦР в реальном времени, а также систему праймеров и зонд [14]. Олигонуклеотидный зонд, меченный по концу флюорофором HEX и гасителем BHQ1, был синтезирован НПФ фирмой «Евроген» (Москва). Амплификацию в формате реального времени ставили в амплификаторе «ДТ-лайт» (НПФ «ДНК-технология», Москва).

Результаты

Ранее на моделях внутривидовой конкуренции и планктонной формы нами была установлена гетерогенность популяции *ctx⁺tcrA⁺*-штаммов холерных вибрионов по способности планктонной формы конкурировать с *ctx⁻tcrA⁻*-штаммами [12]. Изу-

ченные ctx^+ $tcpA^+$ -штаммы по устойчивости к ингибирующей активности атоксигенного штамма разделились на две группы: подавляемые ctx^- $tcpA^-$ -штаммом при совместной инкубации и штаммы резистентные, т.е. сохраняющие свое количество на уровне штамма-антагониста.

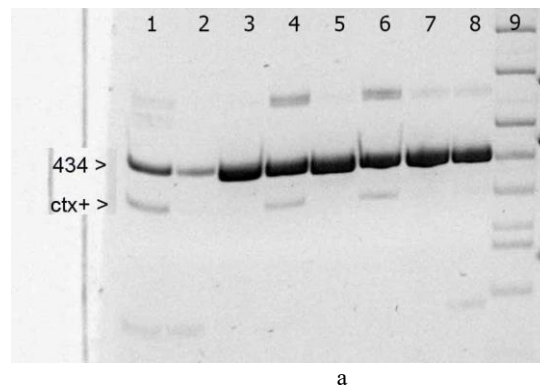
Поэтому в данную работу были взяты штаммы двух описанных выше групп. В качестве атоксигенного был выбран один из штаммов, выделенных в 2015 г. из воды реки Агуры.

В первой серии экспериментов внутривидовую конкуренцию изучали при соотношении токсигенных и атоксигенных штаммов 1:1. При таком соотношении отмечено полное подавление всех изучаемых токсигенных штаммов атоксигенным штаммом. Поэтому для последующих экспериментов соотношение токсигенных и атоксигенных штаммов увеличили до 3:1.

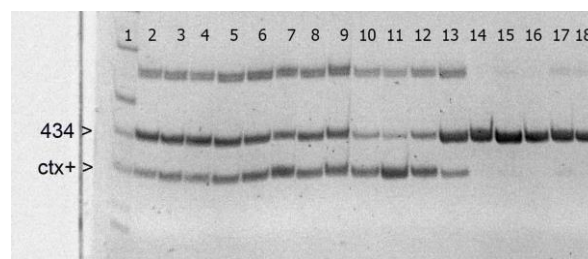
В контрольной пробе при инкубации в 1-процентной пептонной воде в соотношении токсигенных и атоксигенных штаммов 3:1 обнаружено, что атоксигенный штамм полностью подавлял все три токсигенных штамма уже через 48 ч как в планктонной форме, так и в форме биопленок. Это проявлялось в наличии мажорной полосы INDEL-маркера атоксигенного штамма и отсутствии полосы амплификата INDEL-маркера токсигенных штаммов (рис. а). Однако при проведении ПЦР в формате реального времени во всех пробах пептонной воды регистрировали наличие ДНК токсигенных штаммов в возрастающей концентрации. Учитывая разрешающую способность метода, основанного на анализе INDEL-маркеров как 1:10 [12], можно считать, что в случае инкубации в пептонной воде имеет место преобладающий рост атоксигенного штамма. Подобная разность в скорости роста различных штаммов вибрионов описана в литературе [15].

Совершенно иные результаты наблюдали при инкубации указанных пар штаммов в водопроводной, речной или морской воде (рис. б). В этом случае при совместной инкубации со штаммом 19191 во всех средах культивирования обнаружено равномерное распределение INDEL-маркеров токсигенных и атоксигенных штаммов (рис. б, лунки 2–13). Это доказывало, что токсигенный штамм 19191 способен успешно противостоять ингибирующей активности атоксигенного штамма как в планктонной форме, так и в составе биопленки. В то же время в пробах при совместной инкубации токсигенных штаммов 301 INDEL-маркер токсигенных штаммов отсутствовал (рис. б, лунки 14–18). Подобную картину ингибиции регистрировали и во всех пробах со штаммом 569В классического биовара. И в этом случае при проведении ПЦР в

формате реального времени во всех «негативных» пробах регистрировали наличие ДНК токсигенных штаммов в возрастающей концентрации. Это свидетельствовало об отсутствии гибели токсигенных штаммов при соинкубации [15].



а



б

Результат электрофореза в 10-процентном геле полиакриламида продуктов амплификации образцов ДНК со специфическими праймерами к INDEL-маркеру 012. Положение специфических ампликонов, характерных для атоксигенного штамма 434, и токсигенных штаммов (ctx^+) указано стрелками: а – результат совместного культивирования атоксигенного и токсигенного штаммов 434 и 19191 в 1-процентной пептонной воде. Лунки: 1, 2 – 2 ч инкубации; 3, 4; 5, 6 и 7, 8 – инкубация в течение одних, двух и трех суток соответственно. Нечетные лунки – проба содержит планктонную форму, четные – образец ДНК получен из биопленки; 9 – маркеры молекулярного веса; б – результат совместного культивирования атоксигенного и токсигенных штаммов 19191 и 301 в водопроводной (лунки 2–5), речной (лунки 6–9) или морской воде (лунки 10–13). Лунка 1 содержит маркеры молекулярного веса; 2–13 – совместная инкубация штаммов 434 и 19191; 14–18 – совместное культивирование штаммов 434 и 301 в водопроводной воде

Полученные данные подтвердили наше раннее наблюдение о существовании «резистентного» и «подавляемого» фенотипов при внутривидовом контакте в планктонной форме [12]. Более того, данная закономерность характерна и для штаммов вибрионов, находящихся в составе биопленок. Тот факт, что штамм 569В классического биовара обладает «подавляемым» фенотипом, может быть следствием феномена вытеснения вибрионов классического биовара вибрионами эльтор [1].

Таким образом, разработан несложный метод оценки внутривидовой конкурентной активности вибрионов в составе биопленок, основанный на анализе в ПЦР уникальных INDEL-маркеров токсигенных и атоксигенных штаммов.

Ранее описанная гетерогенность токсигенных штаммов холерного вибриона по способности планктонной формы конкурировать с атоксигенным штаммом характерна и для биопленок. На наш взгляд, способность токсигенных штаммов вибрионов противостоять внутривидовой конкуренции может иметь большое биологическое значение; при этом наибольшую опасность при попадании в водоемы представляют штаммы резистентного фенотипа, способные противостоять ингибирующей активности атоксигенных штаммов.

Литература

1. Онищенко Г.Г., Москвитина Э.А., Кругликов В.Д., Титова С.В., Адаменко О.Л., Водопьянов А.С., Водопьянов С.О. Эпидемиологический надзор за холерой в России в период седьмой пандемии // Вестник РАМН. 2015. Т. 70, № 2. С. 249–256.
2. Бухарин О.В. Инфекционная симбиология // Журн. микробиологии. 2015. № 4. С. 4–9.
3. Hung D.T., Zhu J., Sturtevant D., Mekalanos J.J. Bile acids stimulate biofilm formation in *Vibrio cholerae* // Mol. Microbiol. 2006. Vol. 59. P. 193–201.
4. Matz C., McDougald D., Moreno A.M., Yung P.Y., Yildiz F.H., Kjelleberg S. Biofilm formation and phenotypic variation enhance predation-driven persistence of *Vibrio cholerae* // Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 2005. Vol. 102. P. 16819–16824.
5. Сизова Ю.В., Черепяхина И.Я., Балахнова В.В., Буракова О.С., Сизова Е.В., Помухина О.И., Фецайлова О.П. Вариативность свойств, характеризующих способность к выживанию холерных вибрионов в биопленочных сообществах // Проблемы особо опасных инфекций. 2012, вып. 3. С. 54–57.
6. Куликалова Е.С., Урбанович Л.Я., Сатто С.Г., Миронова Л.В., Марков Е.Ю., Мальник В.В., Корзун В.М., Миткеева С.К., Балахонov С.В. Биопленка холерного вибриона: получение, характеристика и роль в резервации возбудителя в водной окружающей среде // Журн. микробиологии. 2015. № 1. С. 3–11.
7. Титова С.В., Веркина Л.М., Кирилова О.Д., Лысова Л.К., Таркаева Ж.В. Действие перекиси водорода и хлорамин-Б на биопленки холерных вибрионов // Дезинфекционное дело. 2015. № 3. С. 6–13.
8. Faruque S.M., Biswas K., Udden S.M., Ahmad Q.S., Sack D.A., Nair G.B., Mekalanos J.J. Transmissibility of cholera: in vivo-formed biofilms and their relationship to infectivity and persistence in the environment // Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 2006. Vol. 103. P. 6350–6355.
9. Tamayo R., Patimalla B., Camilli A. Growth in a Biofilm Induces a Hyperinfectious Phenotype in *Vibrio cholerae* // Infection and Immunity. 2010. Vol. 78, № 8. P. 3560–3569.
10. Hsiao A., Ahmed A.M.S., Subramanian S., Griffin N.W., Drewry L.L., Petri Jr W.A., Haque R., Ahmed T., Gordon J.I.

- Members of the human gut microbiota involved in recovery from *Vibrio cholerae* infection // Nature. 2014. Vol. 515, № 7527. P. 423–426.
11. Ежова М.И., Кругликов В.Д., Водопьянов А.С., Водопьянов С.О., Шестипалыгина И.С., Олейников И.П., Непомнящая Н.Б., Подойницына О.А. Холерные вибрионы O1 серогруппы, выделенные из водных объектов Ростова-на-Дону в ходе мониторинга в 2008–2012 гг. // Проблемы особо опасных инфекций. 2013. Вып. 4. С. 56–59.
 12. Водопьянов С.О., Водопьянов А.С., Олейников И.П., Лысова Л.К., Титова С.В. Разработка метода оценки внутривидовой конкуренции холерных вибрионов // Холера и патогенные для человека вибрионы: материалы проблемной комиссии. Ростов н/Д., 2015. Вып. 28. С. 116–119.
 13. Патент России № 255946. Способ моделирования образования биопленок холерных вибрионов в условиях эксперимента и устройство для его осуществления / С.В. Титова, Е.В. Кушнарева. 2015. № 22 от 10.08. 2015.
 14. Huang J., Zhu Y., Wen H., Zhang J., Huang S., Niu J., Li Q. Quadruplex real-time PCR assay for detection and identification of *Vibrio cholerae* O1 and O139 strains and determination of their toxigenic potential // Appl. Environ. Microbiology. 2009. Vol. 75, № 22. P. 6981–6985.
 15. Заднова С.П., Кульшань Т.А., Челдышова Н.Б., Крицкий А.А., Плеханов Н.А., Смирнова Н.И. Сравнительный анализ выживаемости типичных штаммов и штаммов геновариантов *Vibrio cholerae* биовара эль топ in vitro и in vivo // Проблемы особо опасных инфекций. 2015. Вып. 4. С. 65–69.

References

1. Onishchenko G.G., Moskvitina E.A., Kruglikov V.D., Titova S.V., Adamenko O.L., Vodop'yanov A.S., Vodop'yanov S.O. Epidemiologicheskii nadzor za kholeroi v period sed'moi pandemii [Surveillance of cholera in Russia during the seventh pandemic]. *Vestnik RAMN*, 2015, vol. 70, no 2, pp. 249-256.
2. Bukharin O.V. Infektsionnaya simbiologiya [Infectious symbiology]. *Zhurn. mikrobiologii*, 2015, no 4, pp. 4-9.
3. Hung D.T., Zhu J., Sturtevant D., Mekalanos J.J. Bile acids stimulate biofilm formation in *Vibrio cholerae*. *Mol. Microbiol.*, 2006, vol. 59, pp. 193-201.
4. Matz C., McDougald D., Moreno A.M., Yung P.Y., Yildiz F.H., Kjelleberg S. Biofilm formation and phenotypic variation enhance predation-driven persistence of *Vibrio cholerae*. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 2005, vol. 102, pp. 16819-16824.
5. Sizova Yu.V., Cherepakhina I.Ya., Balakhnova V.V., Buralakova O.S., Sizova E.V., Pomukhina O.I., Fetsailova O.P. Variabel'nost' svoistv, kharakterizuyushchikh sposobnost' k vyzhivaniyu kholernykh vibriionov v bioplenochnykh soobshchestvakh [The variability of the properties characterizing the ability to survival of *V. cholerae* in biofilm communities]. *Problemy osobo opasnykh infektsii*, 2012, vol. 3, pp. 54-57.
6. Kulikalova E.S., Urbanovich L.Ya., Sappo S.G., Mironova L.V., Markov E.Yu., Mal'nik V.V., Korzun V.M., Mitkeeva S.K., Balakhonov S.V. Bioplenka kholernogo vibriiona: poluchenie, kharakteristika i rol' v rezervatsii vzbuditelya v vodnoi okruzhayushchei srede [Biofilm cholera: prepara-

- tion, characterization and role in the reservations of the pathogen in the aquatic environment]. *Zhurn. mikrobiologii*, 2015, no 1, pp. 3-11.
7. Titova S.V., Verkina L.M., Kirilova O.D., Lysova L.K., Tarkaeva Zh.V. Deistvie perekisi vodoroda i khloramina B na bioplenki kholernykh vibriionov [The action of hydrogen peroxide and chloramine B on *V. cholerae* biofilms]. *Dezinfektsionnoe delo*, 2015, no 3, pp. 6-13.
 8. Faruque S.M., Biswas K., Udden S.M., Ahmad Q.S., Sack D.A., Nair G.B., Mekalanos J.J. Transmissibility of cholera: in vivo-formed biofilms and their relationship to infectivity and persistence in the environment. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 2006, vol. 103, pp. 6350-6355.
 9. Tamayo R., Patimalla B., Camilli A. Growth in a Biofilm Induces a Hyperinfectious Phenotype in *Vibrio cholerae*. *Infection and Immunity*, 2010, vol. 78, no 8, pp. 3560-3569.
 10. Hsiao A., Ahmed A. M. S., Subramanian S., Griffin N.W., Drewry L.L., Petri Jr W.A., Haque R., Ahmed T., Gordon J.I. Members of the human gut microbiota involved in recovery from *Vibrio cholerae* infection. *Nature*, 2014, vol. 515, no 7527, pp. 423-426.
 11. Ezhova M.I., Kruglikov V.D., Vodop'yanov A.S., Vodop'yanov S.O., Shestial'tynova I.S., Oleinikov I.P., Nepomnyashchaya N.B., Podoinitsyna O.A. Kholernye vibriiony O1 serogruppy, vydelennye iz vodnykh ob'ektov Rostova-na-Donu v khode monitoringa v 2008–2012 [Vibrio cholerae serogroup O1 isolated from water bodies of Rostov-on-Don during the monitoring in 2008-2012]. *Problemy osobo opasnykh infektsii*, 2013, vol. 4, pp. 56-59.
 12. Vodop'yanov S.O., Vodop'yanov A.S., Oleinikov I.P., Lysova L.K., Titova S.V. [Development of a method of intraspecific competition assessment of *V. cholerae*]. *Kholera i patogennyye dlya cheloveka vibriiony* [Cholera and human pathogenic vibrios]. Proceedings of the problem commission. Rostov-on-Don, 2015, vol. 28, pp. 116-119.
 13. Titova S.V., Kushnareva E.V. *Sposob modelirovaniya obrazovaniya bioplenok kholernykh vibriionov v usloviyakh eksperimenta i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [Method of *Vibrio cholerae* biofilm modeling in experimental conditions and device for its realization]. Certificate, no 255946, 10.08.2015.
 14. Huang J., Zhu Y., Wen H., Zhang J., Huang S., Niu J., Li Q. Quadruplex real-time PCR assay for detection and identification of *Vibrio cholerae* O1 and O139 strains and determination of their toxigenic potential. *Appl. Environ. Microbiology*, 2009, vol. 75, no 22, pp. 6981-6985.
 15. Zadnova S.P., Kul'shan' T.A., Cheldyshova N.B., Kritskii A.A., Plekhanov N.A., Smirnova N.I. Sravnitel'nyi analiz vyzhivaemosti tipichnykh shtammov i shtammov genovariantov *Vibrio cholerae* biovara el' tor in vitro i in vivo [Comparative analysis of the survival of typical strains and strains genovariants *Vibrio cholerae* El Tor biovar in vitro and in vivo]. *Problemy osobo opasnykh infektsii*, 2015, vol. 4, pp. 65-69.

УДК 537.86.029+577.344.2+616.8

DOI 10.18522/0321-3005-2016-1-54-60

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ КРАСНОГО И ИНФРАКРАСНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МОДЕЛИРУЕМЫХ УСЛОВИЯХ

© 2016 г. В.В. Жуков, А.А. Кожин, В.В. Мрыхин

Жуков Владимир Валентинович – кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра квантовой радиофизики, физический факультет, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 5, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: zhukov@sfedu.ru

Zhukov Vladimir Valentinovich – Candidate of Physical and Mathematical Science, Associate Professor, Quantum Radiophysics Department, Faculty of Physics, Southern Federal University, Zorge St., 5, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: zhukov@sfedu.ru

Кожин Александр Алексеевич – доктор медицинских наук, заслуженный деятель науки Российской Федерации, лауреат премии Правительства Российской Федерации, член-корреспондент Российской экологической академии, профессор, кафедра биофизики и биобибернетики, физический факультет, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 5, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: irxus@yandex.ru

Kozhin Aleksandr Alekseevich – Doctor of Medical Science, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Winner of the Russian Federation Government Prize, Corresponding Member of the Russian Ecological Academy, Professor, Department of Biophysics and Biological Cybernetics, Faculty of Physics, Southern Federal University, Zorge St., 5, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: irxus@yandex.ru

Мрыхин Владимир Валерьевич – кандидат медицинских наук, доцент, кафедра психиатрии и наркологии, факультет повышения квалификации и профессиональной переподготовки специалистов, Ростовский государственный медицинский университет, ул. Суворова, 119, г. Ростов н/Д, 344022, e-mail: 2793665@mail.ru

Mrykhin Vladimir Valer'evich – Candidate of Medical Science, Associate Professor, Department of Psychiatry and Narcology, Faculty of Professional Development and Professional Retraining of Experts, Rostov State Medical University, Suvorov St., 119, Rostov-on-Don, 344022, Russia, e-mail: 2793665@mail.ru

Описаны морфофункциональные перестройки в нейроэндокринной системе крыс при моделировании у них патоморфологических изменений астенического характера и на фоне их коррекции с помощью низкоинтенсивного лазерного излучения (НЛИ), применяемого эндоназально. Выявлена более высокая биологическая активность импульсного НЛИ в ИК-области спектра ($\lambda = 890,0$ нм) по сравнению с непрерывным излучением гелий-неонового лазера ($\lambda = 632,8$ нм). Обнаружено, что биологические эффекты НЛИ отличаются более выраженным характером в случае его применения на фоне сниженной функциональной активности структур организма.

Ключевые слова: низкоэнергетическое лазерное излучение, цитофотометрические исследования, эндокринная система, астеническое состояние.

There were described multifunctional rearrangements in neuroendocrine system of rats in terms of simulating pathomorphological changes of asthenic character and given the correction through low-intensity laser radiation (LLR) applied endonasally. Higher biological activity of pulsed LLR within IR-spectrum ($\lambda = 890,0$ nanometers) compared to continuous helium-neon laser radiation ($\lambda = 632,8$ nanometers) was revealed. It was found that biological effects of LLR are distinguished by more intense character when applied in terms of reduced functional activity of organism structures.

Keywords: low-energy laser radiation, cytophotometric researches, endocrine system, asthenic state.

Нарушения функциональной активности нейро-секреторных клеток гипоталамо-гипофизарной интеграции являются ведущим звеном патогенеза эмоциональных девиаций и нейроэндокринных патологических процессов. К последним относится и астенодепрессивный синдром (АДС), который является одной из широко распространённых патологий ЦНС человека. Он может как протекать в виде самостоятельной формы, так и сопровождать психосоматические заболевания, в ряде случаев отличающиеся сезонным характером [1, 2]. Триггером этого состояния является хронический стресс,

приводящий к формированию стойкой доминанты возбуждения в стволовых структурах мозга.

Терапия АДС лекарственными средствами не всегда эффективна. Повышение резистентности к фармакотерапии, аллергизация населения, возрастание риска хронизации психоневротических расстройств побуждают искать более эффективные, желательны немедикаментозные, приемы коррекции функционального состояния гипоталамо-гипофизарного комплекса, изменения которого сопровождаются различными психоэндокринными аномалиями [3].

Среди физиотерапевтических методов большое распространение в восстановительной медицине получило низкоинтенсивное лазерное излучение (НЛИ). Оно отличается способностью корректировать функциональную мобильность центральных нейроэндокринных комплексов и активизировать процессы регенерации в клетках периферических тканей благодаря своему влиянию на микроциркуляцию и обмен веществ, улучшающих состояние цитоплазматических мембран [4, 5].

Лазерная терапия психических заболеваний находится еще на относительно начальном этапе, хотя нередко применяется при неврологической патологии периферического характера в качестве анальгезирующего и противовоспалительного фактора [6]. В определенной степени ее внедрение тормозится из-за отсутствия четких представлений об этиопатогенетических аспектах многих психоэмоциональных аномалий. Особенно актуальным является изучение возможностей применения НЛИ для коррекции психоэндокринных нарушений у подростков, так как на пубертатный период часто выпадают дебюты самых различных психических заболеваний, принимающих в дальнейшем хронический характер [7].

Специфика проведения терапии с использованием НЛИ у психически неуравновешенных людей диктует необходимость использования способа биостимулирующего воздействия неинвазивного характера. Известные методы лазерного облучения внутривенного характера, акупунктура и др. в данном случае нежелательны. В этом отношении более адекватен способ эндоназального облучения с помощью НЛИ инфракрасного (ИК) диапазона спектра [8]. Однако механизм биостимулирующего терапевтического эффекта этого метода остается еще недостаточно изученным и требует дальнейших исследований. Кроме того, прогресс в разработке новых типов низкоэнергетических лазеров детерминирует актуальность изучения влияния излучения различного спектрального диапазона на физиологические процессы, протекающие на различных уровнях регуляторных интеграций организма.

Целью настоящей работы стало изучение влияния красного и ИК НЛИ, применяемого эндоназально, на центральные и периферические нейроэндокринные структуры крыс-самок в экспериментальных моделируемых условиях.

Программа и методы исследований

Программа исследований состояла из 2 этапов: 1-й – моделирование астенического состояния подопытных крыс; 2-й – проведение на этом фоне

восстановительной терапии с помощью НЛИ и оценка ее эффективности по морфофункциональным показателям, регистрируемым после завершения курса.

Для индукции астенического состояния и сниженной резистентности организма крыс использовался метод хронического стрессирования путем их длительного (в течение одного месяца) ежедневного содержания в клетках-пеналах (по 8 ч в сутки) в условиях ограниченной двигательной активности. Стрессовый эффект усиливался снижением содержания воды в рационе питания. Этот способ моделирования был апробирован нами ранее [9].

С учетом того, что АДС в большей степени характерен для женщин молодого возраста и зачастую сопровождается нарушениями менструального цикла [1], эксперимент проводился на 7 крысах-самках (в каждой исследуемой группе) 3–4-месячного возраста с нормальным эстральным циклом. Контролем эффективности применяемой модели патологического процесса были результаты морфофункциональных исследований гипоталамо-гипофизарного комплекса, а также тканей яичников и эндометрия крыс.

После декапитации животных мозг окрашивался паральдегид-фиксинам, яичники и эндометрий – гематоксилином. Учитывалось содержание нейросекреторных клеток в супраоптических и паравентрикулярных (СОЯ, ПВЯ) ядрах гипоталамуса, а также базофилах аденогипофиза. Осуществлялась морфометрия нейросекреторных клеток указанных структур. Кроме того, учитывалось количество вакуолизированных пинеалоцитов эпифиза на срезе как признак секреторной активности органа [9]. Учет состояния функции яичников и эндометрия как контрольного биотеста для определения реакции центральных регуляторных структур на применяемое воздействие выполнялся путем подсчета фолликулов на срединном срезе яичника. Кроме того, осуществлялось цитофотометрическое определение суммарных нуклеиновых кислот (НК) в клетках эндометрия как индикатор гормональной активности половой системы в целом.

Цитофотометрические исследования проводились с помощью прибора МЦФУ «ЛОМО» общепринятым методом [10]. Контролем служили материалы от интактных крыс того же возраста.

Воздействие НЛИ осуществлялось с помощью гелий-неонового лазера (ГНЛ) с длиной волны генерации 632,8 нм и ИК-лазера («Узор» на арсениде галлия) с длиной волны 890,0 нм. На основании ранее полученных результатов по изучению биостимулирующих эффектов НЛИ на нейроэндокринные образования [11] были установлены следующие параметры воздействия: для ГНЛ – плот-

ность мощности 100 мВт/см², экспозиция 2 мин; для ИК-лазера – мощность импульса 2,5 Вт, частота следования импульсов 3,0 кГц, экспозиция 2 мин. Курс экспериментальной терапии состоял из 5 сеансов, проводимых ежедневно в одно и то же время суток.

Контроль эффективности лазерного воздействия осуществлялся количественным исследованием функционального состояния гипоталамо-гипофизарно-нейросекреторной системы и рабочих периферических органов (эндометрий, матка). Объемы нейронов определялись цитофотометрически. Функциональная активность яичников и эндометрия идентифицировалась по показателям суммарных НК в эндометрии (как и на первом этапе исследований).

НЛИ направлялось на слизистую носа во время пребывания крыс в клетках-пеналах. Как известно, слизистая носа отличается высокой плотностью рецепторных сенсорных полей. Очевидно, что физический фактор реализует свой биологический эффект на центральные нейроэндокринные интеграции через афферентную стимуляцию соответствующих дендритов нейронов, активацию микроциркуляторных процессов. Это подтверждается нашими ранними исследованиями [12].

Принимая во внимание, что эндоназальное лазерное воздействие является еще недостаточно изученным способом рефлексотерапии по сравнению с другими известными физиотерапевтическими приемами (например, эндоназальный электрофорез), эксперименты выполнялись в сравнительном аспекте для изучения эффективности НЛИ относительно его влияния на центральные и периферические структуры организма, указанные выше. При этом использовался опыт собственных работ по изучению эффективности НЛИ различного спектрального диапазона [13].

Выбор указанных источников НЛИ был обусловлен тем, что они являются наиболее распространенными лазерами, на базе которых разработа-

ны многочисленные физиотерапевтические комплексы. Кроме того, учитывалась большая глубина проникновения в ткани излучения красного и ближнего ИК-диапазона спектра [14].

Достоверность различий регистрируемой морфофункциональной информации определялась с помощью общепринятых критериев статистической обработки биологической информации (критерий Вилкоксона).

Результаты и обсуждение

На 1-м этапе исследований изучались особенности морфофункциональных изменений, которые возникали у подопытных крыс при моделировании у них астенического состояния.

Было обнаружено, что содержание крыс в указанных условиях сопровождалось морфологическими перестройками, как в периферических, так и центральных эндокринных интеграциях. Имела место тенденция к снижению содержания примордиальных и созревающих фолликулов; во многих зрелых фолликулах цитоплазма была лизирована. Ядра имели сморщенную форму. Атрофические фолликулы характеризовались многослойной гранулезной оболочкой с явлениями пикноза ядер. Молодые желтые тела не выявлялись, дифференцировались лишь старые с явлениями инволюции.

У крыс 1-й группы была удлинена фаза диэструса, а у некоторых наступало состояние анэструса. В эндометрии матки обнаруживалось значительное уменьшение маточных крипт. В них происходили уплощение призматических клеток и появление атрофических изменений покровного эпителия. Размеры матки и ее масса уменьшались.

Цитофотометрическое исследование (табл. 1) показало снижение содержания суммарных НК в клетках эндометрия, что указывало, по данным [9], на сниженную секрецию гормонов яичников.

Таблица 1

Содержание НК в эндометрии; объемы нейросекреторных нейронов СОЯ и ПВЯ, количество пинеалоцитов с вакуолями на срезе эпифиза у крыс

Группа крыс	Содержание НК в клетках эндометрия, отн. ед.	Объем нейронов СОЯ, мкм ³	Объем нейронов ПВЯ, мкм ³	Количество пинеалоцитов с вакуолями, %
Первая (опытная)	408,8±5,6*	3410,8±15,2*	2796,6±12,5*	71,5±3,3*
Интактная (контрольная)	580,7±7,7	4120,2±20,1	3220,5±15,1	40,8±2,7

* – отмечены значения, достоверно отличающиеся от контрольных (группа интактных крыс), $p < 0,05$.

Учитывая центральный принцип регуляции функции яичников, можно было заключить, что наблюдаемые морфофункциональные изменения имели вторичный характер, обусловленный аномалиями в работе высших вегетативных комплексов. Для изучения этих явлений были проведены дальнейшие гистохимические исследования.

При рассмотрении структур СОЯ и ПВЯ гипоталамуса, принимающих участие в регуляции адаптационных реакций, было обнаружено, что по истечении месяца эксперимента в нейронах указанных ядер значительно возрастало количество нейросекреторного вещества (НСВ) в цитоплазме. В то же время размеры нейросекреторных клеток уменьшались. В клетках СОЯ происходило более интенсивное, чем в ПВЯ, накопление НСВ в цитоплазме нейронов.

Обнаруженные оптико-структурные изменения свидетельствуют о том, что в крупноклеточных ядрах гипоталамуса (СОЯ, ПВЯ) секреторная активность тормозилась, следовательно, в русло крови биологически активные вещества поступали в меньшем количестве. Об этом можно судить по большему количеству мелких нейронов, переполненных НСВ. Более интенсивные сдвиги по сравнению с контролем происходили в структуре СОЯ, где особенно значительно уменьшались объемы нейронов. Изложенные данные указывают на значительное угнетение секреторной активности рассматриваемых нейроэндокринных интеграций.

Для более подробного анализа состояния нейрогуморальных механизмов, обеспечивающих координацию ритмичности эндокринного гомеостаза, анализировалось состояние базофилов аденогипофиза, клеток, участвующих, как известно, в индукции секреции фолликулостимулирующего гормона, стимулирующего, в свою очередь, продукцию эстрогенов в яичниках.

Было обнаружено, что на фоне хронического стресса происходило депонирование НСВ в цитоплазме базофилов аденогипофиза, их объемы значительно уменьшались ($2125,1 \pm 12,7$ мкм³ в контроле и $1366,2 \pm 9,5$ мкм³ после моделирования патологического процесса, $p < 0,05$).

Отмеченные признаки указывали на сниженную функциональную активность базофилов и, следовательно, угнетение гормонопродукции яичников. Как известно, сниженная активность периферических эндокринных желез является одним из характерных признаков АДС в клинике.

Определенная роль в патогенезе АДС придается эпифизу, который участвует в организации биоритмологических процессов, в этиологии так называемой сезонной депрессии. Учитывая, что эпифиз находится в реципрокных отношениях с гипотала-

мо-гипофизарной интеграцией в аспекте ее влияния на репродукцию, были проведены исследования основных функциональных элементов эпифиза – пинеалоцитов в плане оценки интенсивности их вакуолизации как индикатора секреторной активности.

Было выявлено, что в пинеалоцитах крыс, находящихся в состоянии стресса, количество вакуолей и процент клеток с явлениями вакуолизации возрастали (табл. 1), что указывало на повышенную функциональную активность органа.

Таким образом, морфофункциональные исследования показали, что моделируемое состояние сопровождалось основными патогенетическими признаками АДС. Следовательно, избранный прием моделирования был адекватен для решения следующего этапа исследований – изучения изменений в нейроэндокринных интеграциях на фоне АДС при его экспериментальной лазерной терапии.

Указанные выше источники НЛИ применялись на фоне как интактного состояния животных (2-я группа), так и индуцированных астенических перестроек (3-я группа). Тест-объектом для проведения сравнительного анализа служили объемы нейронов ПВЯ и СОЯ как первичного звена рефлекторного ответа на физический стимул и эндометрий как морфологически представленная ткань, имеющая четкую связь с высшими регуляторными структурами. Как известно, структура эндометрия и содержащиеся в нем биологически активные вещества (НК) перестраиваются синхронно с колебаниями секреторной деятельности центральных образований.

Было показано, что под влиянием НЛИ красного и ИК-диапазона спектра в ПВЯ и СОЯ интактных крыс (2-я группа) возникали нерезко выраженные признаки усиления секреторной продукции. Реакция СОЯ и ПВЯ имела сходный характер. Более резко выраженная цитологическая перестройка имела место под влиянием излучения ИК-лазера, объемы нейронов СОЯ и ПВЯ возрастали более значительно (табл. 2).

При изучении содержания НК в эндометрии существенных изменений обнаружено не было (наблюдалась лишь тенденция к возрастанию). Видимо, при исходно нормальном функционировании эндокринных комплексов используемые параметры НЛИ не вызывали резких пролиферативных реакций, что указывало на относительно мало меняющуюся гормональную продукцию в репродуктивной системе крыс 2-й группы.

В дальнейшем указанные виды лазерного воздействия (красного и ИК-диапазона спектра) применялись на фоне моделируемого патологического процесса (3-я группа) при тех же параметрах НЛИ. В данном случае контролем служи-

ли животные, которые после месячного содержания в условиях моделируемого эксперимента были подвергнуты имитационному воздействию

(плацебо), как и при реальном курсе сеансов воздействия НЛИ. При его завершении те же ткани брались на гистохимическое исследование.

Таблица 2

Содержание НК в эндометрии; объемы нейросекреторных нейронов СОЯ и ПВЯ у крыс 2-й группы после воздействия НЛИ

Подгруппа крыс	Содержание НК в клетках эндометрия, отн. ед.	Объем нейронов СОЯ, мкм ³	Объем нейронов ПВЯ, мкм ³
Интактная (контрольная)	592,7 ±7,6	4163,2±22,4	3256,3±15,7
Интактная (после воздействия ГНЛ)	605,6±8	4227,6±24,5	3310,8±16,1
Интактная (после воздействия ИК-лазера)	627,3±8,1	4586,6±25,7*	3486,5±16,8

* – отмечены значения, достоверно отличающиеся от контрольных (подгруппа интактных крыс), $p < 0,05$.

Было обнаружено, что в этих условиях имели место очевидные изменения морфологических показателей по сравнению с таковыми, регистрируемыми у контрольных животных (табл. 3). Особенно резкая клеточная реакция возникла при применении ИК-лазера. Как и ранее, более резкие перестройки имели место в СОЯ, что указывало на его большую чувствительность к физическому фактору. Вследствие центральных перестроек значительные изменения происходили и в картине эндометрия, что сопровождалось значительным возрастанием концентрации НК.

Можно отметить, что биостимулирующий эффект НЛИ на фоне сниженного функционального состояния организма, моделируемого стрессовым воздействием (3-я группа), был намного ярче, чем у 2-й группы животных, состояние эндокринных органов которых было неизменным. На наш взгляд, это наблюдение является в какой-то мере частным примером, подтверждающим правило исходного состояния С.М. Лейтеса, определяющего направленность и интенсивность физиологических реакций при действии внешних раздражителей, известное еще с 30-х г. XX в.

Таблица 3

Содержание НК в эндометрии; объемы нейросекреторных нейронов СОЯ и ПВЯ у крыс 3-й группы после воздействия НЛИ

Подгруппа крыс	Содержание НК в клетках эндометрия, отн. ед.	Объем нейронов СОЯ, мкм ³	Объем нейронов ПВЯ, мкм ³
После моделирования АДС	402,3±5,5	3440,5±14,7	2784,2±12,2
После моделирования АДС и имитационного воздействия	417,6±5,6	3415,6±14,5	2696,6±12,3
После моделирования АДС и воздействия ГНЛ	498,8±6,7*	3587,8±15,3	2886,6±13,5
После моделирования АДС и воздействия ИК-лазера	566,6±7,2*	3996,6±16,2*	2945,6±13,8*

* – отмечены значения, достоверно отличающиеся от контрольных (подгруппа после моделирования АДС и имитационного воздействия), $p < 0,05$.

Полученные результаты морфофункциональных исследований свидетельствовали о том, что используемые параметры НЛИ способствовали процессу восстановления гомеостаза. По сравнению с излучением ГНЛ в красной области спектра излучение ИК-лазера индуцировало более выраженные реакции. Регистрируемые показате-

ли при этом приближались к таковым, наблюдаемым у интактных животных из 2-й группы (табл. 2).

Более выраженный биостимулирующий эффект ИК-лазера можно объяснить, в частности, импульсным характером его генерации. Как известно из множества работ, стимулы прерывистого характера любой приро-

ды вызывают более экспрессивные реакции, чем монотонное раздражение рефлексогенных зон.

Можно предположить, что, помимо активации рецепторных зон слизистой носа, НЛИ через оптико-вегетативные связи может также вмешиваться в интрацентральные корреляции между гипофизом и эпифизом. Это отражается на секреции гипоталамических рилизинг-гормонов, для которых продукты секреции эпифиза являются антагонистическим началом. В пользу этого предположения говорят данные наших собственных исследований об изменениях в клетках эпифиза при воздействии НЛИ на рефлексогенные зоны [15].

По нашему мнению, можно аргументированно считать, что механизм терапевтического действия НЛИ заключается в восстановлении нейросекреторной деятельности гипоталамо-гипофизарного комплекса, обуславливающей нормализацию нейроэндокринного гомеостаза организма, перенесшего длительный стресс.

Таким образом, экспериментальные исследования патофизиологического характера обосновали оптимальные параметры НЛИ, позволяющие корригировать функциональное состояние регуляторных систем организма, нарушенное стрессом. Его практическому внедрению способствует невидимый и неосязаемый характер ИК-стимуляции, что особенно важно при работе с больными, страдающими психическими нарушениями и неадекватным восприятием окружающей обстановки.

Литература

1. Смудевич А.Б. Депрессии при соматических и психических заболеваниях. М., 2003. 432 с.
2. Boswell E., Anfinson T. Depression associated with endocrine disorders // *Depression and Physical Illness*. 1997. P. 255–272.
3. Dam Y. Depression in stroke patients // *Acta Psychiatr. Scand.* 2001. Vol. 103. P. 287–293.
4. Буйлин В.А., Москвин С.В. Низкоинтенсивные лазеры в терапии различных заболеваний. М., 2004. 174 с.
5. Жуков В.В., Кожин А.А., Мрыхин В.В. Экспериментально-клиническое обоснование лазерной терапии астено-депрессивного синдрома // *Лазеры на парах металлов (ЛПМ-2012)* : сб. тр. симп. Ростов н/Д., 2012. 33 с.
6. Москвин С.В. Эффективность лазерной терапии. М., 2003. 256 с.
7. Мрыхин В.В., Кожин А.А., Хусаинова И.С. Психоэндокринное состояние девушек в пубертатный период онтогенеза и немедикаментозная коррекция его нарушений // *Проблемы нейрокибернетики*. Ростов н/Д., 1999. С. 99–101.
8. Пат. № 2123868 Р.Ф. Способ лечения астенических и депрессивных состояний / В.В. Мрыхин, В.М. Коваленко, А.А. Кожин. № А61N5/06; заявл. 28.01.94; опубл. 27.12.98.

9. Кожин А.А. Патогенетические механизмы нарушений функции яичников, индуцированные длительным освещением : автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М., 1985. 42 с.
10. Агроскин Л.С., Папаян Г.В. Цитофотометрия. Л., 1977. 295 с.
11. Серов В.Н., Кожин А.А., Жуков В.В., Хусаинова И.С. Лазерная терапия в эндокринологической гинекологии. Ростов н/Д., 1988. 120 с.
12. Гульянц Э.С., Хусаинова И.С., Кожин А.А. Гистофизиология нейросекреторной системы гипоталамуса, эпифиза и миометрия беременных крыс при воздействии ГНЛ // *Акушерство и гинекология*. 1989. № 4. С. 52–54.
13. Жуков В.В., Кожин А.А., Хусаинова И.С. Сравнительное исследование биологической активности красного и фиолетового лазерных излучений // *Радиобиология*. 1983. Вып. 22, № 5. С. 706–709.
14. Кару Т.И. Первичные и вторичные клеточные механизмы лазерной терапии // *Низкоинтенсивная лазерная терапия* / под ред. С.В. Москвина. М., 2000. С. 71–91.
15. Жуков В.В., Поляков В.В., Кожин А.А. Гистоструктура эпифиза при воздействии лазерного излучения на репродуктивную систему // *Изв. СКНЦ ВШ. Естеств. науки*. 1987. № 3. С. 120–123.

References

1. Smulevich A.B. *Depressii pri somaticheskikh i psikhicheskikh zabolevaniyakh* [Depressions in terms of somatic and mental diseases]. Moscow, 2003, 432 p.
2. Boswell E., Anfinson T. Depression associated with endocrine disorders. *Depression and Physical Illness*, 1997, pp. 255–272.
3. Dam Y. Depression in stroke patients. *Acta Psychiatr. Scand.*, 2001, vol. 103, pp. 287–293.
4. Builin V.A., Moskvina S.V. *Nizkointensivnye lazery v terapii razlichnykh zabolevanii* [Low-intensity lasers in therapy of various diseases]. Moscow, 2004, 174 p.
5. Zhukov V.V., Kozhin A.A., Mrykhin V.V. [Experimental and clinical justification of laser therapy when treating asthenic-depressive syndrome]. *Lazery na parakh metallov (LPM-2012)* [Metal-vapor lasers (LPM 2012)]. Coll. tr. Symp. Rostov-on-Don, 2012, 33 p.
6. Moskvina S.V. *Effektivnost' lazernoi terapii* [Efficiency of laser therapy]. Moscow, 2003, 256 p.
7. Mrykhin V.V., Kozhin A.A., Khusainova I.S. [Psychoendocrine state of girls during ontogenesis puberty and non-drug correction of its disorders]. *Problemy neirokibernetiki* [Neurocybernetics problems]. Rostov-on-Don, 1999, pp. 99–101.
8. Mrykhin V.V., Kovalenko V.M., Kozhin A.A. *Sposob lecheniya astenicheskikh i depressivnykh sostoyanii* [Way of treatment asthenia and depressions]. Certificate, no 2123868, 27.12.1998.
9. Kozhin A.A. *Patogeneticheskie mekhanizmy narushenii funktsii yaichnikov, indutsirovannye dlitel'nyim osveshcheniem* : avtoref. dis. ... d-ra med. nauk [The pathogenic mechanisms of ovaries dysfunction induced by continues lighting]. Moscow, 1985, 42 p.
10. Agroskin L.S., Papayan G.V. *Tsitofotometriya* [Cytophotometry]. Leningrad, 1977, 295 p.
11. Serov V.N., Kozhin A.A., Zhukov V.V., Khusainova I.S. *Lazernaya terapiya v endokrinologicheskoi ginekologii*

- [Laser therapy in endocrinological gynecology]. Rostov-on-Don, 1988, 120 p.
12. Gul'yants E.S., Khusainova I.S., Kozhin A.A. Gistofiziologiya neirosekretornoj sistemy gipotalamusa, epifiza i miometriya beremennykh krys pri vozdeistvii GNL [Histophysiology of hypothalamus neurosecretory system epiphysis and myometrium of a pregnant rats under HeNe laser]. *Akusherstvo i ginekologiya*, 1989, no 4, pp. 52-54.
 13. Zhukov V.V., Kozhin A.A., Khusainova I.S. Sravnitel'noe issledovanie biologicheskoi aktivnosti krasnogo i fioletovogo lazernyx izlucheniij [Comparative research on bio-logical activity of red and violet laser radiations]. *Radiobiologiya*, 1983, vol. 22, no 5, pp. 706-709.
 14. Karu T.I. [Primary and secondary cell mechanisms of laser therapy]. *Nizkointensivnaya lazernaya terapiya* [Low-level laser therapy]. Ed. S.V. Moskvina. Moscow, 2000, pp. 71-91.
 15. Zhukov V.V., Polyakov V.V., Kozhin A.A. Gistostruktura epifiza pri vozdeistvii lazernogo izlucheniya na reproduktivnuyu sistemu [Histostructure of epiphysis in terms of reproductive system effected by laser radiation]. *Izv. SKNTs VSh. Estestv. nauki*, 1987, no 3, pp. 120-123.

Поступила в редакцию

3 октября 2015 г.

УДК 574.4; 631.46

DOI 10.18522/0321-3005-2016-1-61-65

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ МОНИТОРИНГОВЫХ ПЛОЩАДОК ЗАПОВЕДНИКА «УТРИШ»*

© 2016 г. К.Ш. Казеев, М.П. Черникова, С.И. Колесников, Ю.В. Акименко,
Ю.С. Козунь, В.С. Полуянова, О.Н. Быхалова

Казеев Камиль Шагидуллоевич – доктор географических наук, профессор, кафедра экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологий Южного федерального университета, ул. Б. Садовая, 105/42, г. Ростов-на-Дону, 344006, e-mail: kamil_kazeev@mail.ru

Черникова Мария Петровна – аспирант, кафедра экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологий Южного федерального университета, ул. Б. Садовая, 105/42, г. Ростов-на-Дону, 344006.

Колесников Сергей Ильич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, завкафедрой экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологий Южного федерального университета, ул. Б. Садовая, 105/42, г. Ростов-на-Дону, 344006, e-mail: kolesnikov@sfedu.ru

Акименко Юлия Викторовна – ассистент, кафедра экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологий Южного федерального университета, ул. Б. Садовая, 105/42, г. Ростов-на-Дону, 344006.

Козунь Юлия Сергеевна – ассистент, кафедра экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологий Южного федерального университета, ул. Б. Садовая, 105/42, г. Ростов-на-Дону, 344006.

Полуянова Виктория Сергеевна – студент, Академия биологии и биотехнологий Южного федерального университета, ул. Б. Садовая, 105/42, г. Ростов-на-Дону, 344006.

Быхалова Ольга Николаевна – заместитель директора по науке, Государственный природный заповедник «Утриш», Анапа.

Kazeev Kamil Shagidulloevich – Doctor of Geographical Science, Professor, Ecology and Natural Management Department, Academy of Biology and Biotechnology of the Southern Federal University, B. Sadovaya St., 105/42, Rostov-on-Don, 344006, Russia, e-mail: kamil_kazeev@mail.ru

Chernikova Mariya Petrovna – Post-Graduate Student, Ecology and Natural Management Department, Academy of Biology and Biotechnology of the Southern Federal University, B. Sadovaya St., 105/42, Rostov-on-Don, 344006, Russia.

Kolesnikov Sergei Il'ich – Doctor of Agricultural Science, Professor, Head of Ecology and Natural Management Department, Academy of Biology and Biotechnology of the Southern Federal University, B. Sadovaya St., 105/42, Rostov-on-Don, 344006, Russia, e-mail: kolesnikov@sfedu.ru

Akimenko Yuliya Viktorovna – Assistant, Ecology and Natural Management Department, Academy of Biology and Biotechnology of the Southern Federal University, B. Sadovaya St., 105/42, Rostov-on-Don, 344006, Russia.

Kozun' Yuliya Sergeevna – Assistant, Ecology and Natural Management Department, Academy of Biology and Biotechnology of the Southern Federal University, B. Sadovaya St., 105/42, Rostov-on-Don, 344006, Russia.

Poluyanova Viktoriya Sergeevna – Student, Academy of Biology and Biotechnology of the Southern Federal University, B. Sadovaya St., 105/42, Rostov-on-Don, 344006, Russia.

Bykhalova Olga Nikolaevna – Deputy Director on Science, State Nature Reserve «Utrish», Anapa.

На территории заповедника «Утриш» исследованы оригинальные почвы Черноморского побережья России. Выявлены закономерности распределения разных подтипов коричневых почв, различающихся по степени карбонатности, каменистости и другим параметрам. При нарушении почвенного покрова в результате рекреационной нагрузки ухудшаются физические и биологические свойства почв. Активность почвенных ферментов наряду с содержанием гумуса и физическими свойствами почв может быть использована для мониторинга экологического состояния почв заповедника.

Ключевые слова: биоиндикация, почвенный покров, антропогенное воздействие, субтропические почвы, ферментативная активность.

The reserve «Utrish» investigated the original soil of the Black Sea Coast of Russia. The regularities of the distribution of different subtypes of chromic cambisols, differing in the degree of carbonate, stone and other parameters. If you violate the soil as a result of recreational load deteriorating physical and biological properties of soils. The activity of soil enzymes, along with the content of humus and soil physical properties can be used to monitor the ecological state of the soil reserve.

Keywords: bioindication, soil cover, anthropogenic impact, subtropical soil, enzyme activity.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (6.345.2014/К).

Субтропические почвы Черноморского побережья России до сих пор исследованы фрагментарно [1, 2]. Это связано с малой вовлеченностью их в сельскохозяйственное производство. В советские времена чаще всего они использовались под культурой чая и виноградниками [3, 4]. В настоящее время по экономическим причинам в сельском хозяйстве почвы практически не используются. В то же время эта территория испытывает все большее антропогенное воздействие, связанное с интенсивной рекреацией.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный природный заповедник «Утриш» учреждено распоряжением Правительства Российской Федерации 2 сентября 2010 г. Его территория относится к самой западной части Северо-Черноморской провинции Большого Кавказа, характеризующейся преобладанием предгорных, низкогорных ландшафтов лесного типа [5]. Ранее в результате многолетних исследований был изучен почвенный покров заповедника «Утриш», в том числе биологические параметры почв [6–9].

Цель настоящих исследований – биологическая диагностика и мониторинг экологического состояния почв мониторинговых площадок заповедника «Утриш».

В работе использовали традиционные в биологии и почвоведении методы исследований [10]. На разных элементах рельефа с учетом крутизны, экспозиции склона, характера растительности и почвообразующих пород были заложены разрезы и прикопки, отобраны почвенные образцы. Всего заложено более 220 почвенных разрезов. На исследуемых участках исследованы температура (электронным термометром HANNA Chestemp), влажность (влагомером Datarprobe), плотность почв (бурами Качинского), реакция среды (рН), сопротивление пенетрации, содержание гумуса, активность каталазы, инвертазы, дегидрогеназы и другие показатели.

В результате исследований в 2012–2015 гг. на территории заповедника «Утриш» было выявлено наличие всех подтипов коричневых и дерново-карбонатных, луговато-коричневых и луговой глеевой почв. Их разнообразие увеличивается вследствие разнообразия климата, растительности и почвообразующих пород, разной степени проявления эрозионных процессов, каменистости, щебенчатости. Большую часть почв заповедника можно отнести к неполноразвитым родам коричневых, вследствие их формирования на плотных породах разного состава. Луговые глеевые почвы расположены локально в замкнутой депрессии озера Сухой Лиман [6]. Имеют довольно мощный слабогумусированный (гумуса в верхнем слое всего 3,6 %) профиль с признаками оглеения (сизые пятна восста-

новленных соединений железа и ржавые пятна – окисного железа). В зависимости от уровня воды в озере признаки оглеения могут встречаться на разной глубине от поверхности (от 10 до 30 см и глубже). Морфологическое строение отличается постепенными переходами между горизонтами, глинистым гранулометрическим составом. Профиль полностью промыт от карбонатов и легкорастворимых солей.

В 2014–2015 гг. в результате исследования температурного режима почв с помощью логгеров была выявлена четкая динамика изменения температуры, отражающая основные климатические закономерности исследуемого региона. В летние месяцы температура поверхностных горизонтов коричневой почвы можжевельного редколесья характеризуется повышенными значениями (до 34 °С) с пиком в августе. При этом в течение суток отмечена высокая амплитуда температур. В сентябре–октябре температура почв колеблется в широком пределе (от +29 до +6 °С). Таких периодов высоких колебаний температуры за осень выявлено несколько. В первые зимние месяцы температура почвы +1÷+11 °С. Только в короткий промежуток первой недели февраля 2014 г. она упала ниже нуля градусов (до –5 °С). Таким образом, установлено, что температурные условия в почве заповедника благоприятствует высокой интенсивности протекания биологических процессов в течение большей части года. Устойчивая температура почвы выше +10 °С отмечена с начала апреля до ноября. Лимитирует биологическую активность почвы и почвообразовательные процессы низкая влажность почвы в летне-осенний период.

Почвы заповедника подвержены периодам разной влагообеспеченности вследствие неравномерности выпадения атмосферных осадков в течение года. Влажность почв варьировала в широких пределах также вследствие разного положения почв в пространстве (экспозиция и крутизна склонов), количества и размера почвенного скелета (обломков пород разного размера), гранулометрического состава, характера растительности и других параметров. При повышении скелетности почвы отмечено понижение ее влажности вследствие провальной фильтрации атмосферной влаги, общей низкой влагоемкости скелетных почв. В связи с вышесказанным на территории заповедника в почвах практически не были отмечены признаки переувлажнения и сопутствующих ему процессов. Исключение составляют полугидроморфные луговато-коричневые почвы линейно вытянутых межгорных депрессий и гидроморфные луговые оглеенные почвы вокруг водоема в замкнутом понижении урочища Сухой Лиман.

В результате исследований установлено, что плотность почв заповедника имеет средние для лесных почв значения ($0,95 \div 1,19 \text{ г/см}^3$). Такая плотность в целом характерна для поверхностных горизонтов минеральных почв Юга России [3]. Коричневая карбонатная почва имеет минимальные значения плотности вследствие высокой оструктуренности верхнего горизонта и большого объема корней травянистых растений в верхнем слое почвы, которые интенсивно развиваются в условиях можжевельникового редколесья. В то же время в выщелоченном варианте коричневой почвы, формирующейся под лесом, плотность повышена. Сопротивление пенетрации, отражающее твердость почвы и ее структурных отдельностей в верхних горизонтах разных почв заповедника, отличается средними значениями. Однако в нижних горизонтах твердость почвы значительно возрастает, достигая очень высоких значений.

При закладке ключевых участков в 2015 г. для мониторинга экологического состояния руководствовались следующими принципами: широкое распространение почв на территории заповедника, учет разнообразия условий рельефа и экспозиций склонов, уникальность субтропических ландшафтов Черноморского побережья, разнообразие разного рода антропогенно нарушенных территорий. В результате были заложены 6 площадок и разработана программа мониторинга эколого-биологических и других параметров почв заповедника. Пробные площади заложены в соответствии с правилами почвенной съемки в наиболее типичных по рельефу, почвообразующим породам, растительности местах, а также на уникальных природных участках. Были определены точные географические координаты с помощью спутниковой навигации.

Мониторинговая площадка № 1 заложена в урочище Сухой Лиман. Озеро Сухой Лиман – небольшая, 1,8 га, бессточный водоём, расположенный в горной долине между горами Шахан (363 м) и Кобыла (531 м) на расстоянии около 4 км от побережья Чёрного моря [11]. Образование озера связано, по-видимому, с комплексом тектонических и гидрогеологических факторов, поскольку оно расположено на участке пересечения ряда активных проницаемых разрывов. Озеро имеет овальную форму и вытянуто в направлении с северо-запада на юго-восток. Вода в нем пресная, слегка желтоватая из-за большого содержания органического вещества; прозрачность – около 1 м. В мае вода прогревается до $+19,7 \text{ }^\circ\text{C}$, в июле-августе её температура может достигать $+25 \div 28 \text{ }^\circ\text{C}$. Дно – илистое. Максимальная глубина – 1,8 м, но на большей части акватории не превышает 1 м. В межень озеро может почти полностью пересыхать и выделяется в рельефе плос-

ким бурым понижением, заросшим камышом. На территории озера выделены небольшие повышения диаметром $5 \div 7 \text{ м}$ и высотой до 1,5 м. Они образованы, по-видимому, в результате работ по углублению дна водоема, чтобы углубления не пересыхали во время летних месяцев. Однако, несмотря на это, в 2014–2015 гг. в летне-осенние месяцы было отмечено полное высыхание водоема.

В сентябре 2015 г. на исследуемой территории был заложен ключевой участок для мониторинга экологического состояния почв и экосистем Сухого Лимана. Ключевой участок пересекает склон к временному водоему, береговую линию и дно озера. Такая конфигурация позволит следить за важнейшими экосистемами и экотонном в месте соприкосновения разных сред обитания. Выявлен характер почвенного покрова исследуемого участка, состоящий из широко распространенной коричневой выщелоченной каменистой почвы, луговой глеевой и переходных луговато-коричневых почв с разной степенью выраженности признаков гидроморфизма.

Следует отметить значительные различия реакции среды и содержания гумуса, определяющие биологическую активность почв данного участка. Все его почвы имеют нейтральную (коричневые выщелоченные) либо кислую реакцию среды (луговатые и луговые). В результате содержание гумуса и активность каталазы в этих почвах ниже, чем в коричневых. Активность каталазы значительно варьирует и в профиле гидроморфных почв, формируя своеобразные инверсии активности в средней и нижней частях профиля. Почвы сильно различаются по гранулометрическому составу, степени каменистости и оглеения.

Ключевой участок № 2 имеет важное значение для оценки скорости восстановительных сукцессий растительности на нарушенной сплошной рубкой лесной территории. Вырубка леса ранее (несколько десятилетий назад) была повсеместной на всей территории заповедника [5]. Исследование почвенных свойств позволит оценить устойчивость коричневых почв к данному виду антропогенного воздействия и определить скорость восстановления эколого-биологических показателей почв. Для этого была заложена мониторинговая площадка в непосредственной близости от Сухого Лимана. В площадку включили собственно вырубку и контрольный участок леса. Почвы участка относятся к одному типу, поэтому различия в значениях реакции среды в поверхностных горизонтах не такие существенные, как в почвах предыдущего участка ($\text{pH}=6,5\text{--}7,1$). Различия в биологической активности связаны как с природным варьированием показателей, так и со степенью каменистости и мощно-

сти почв, а также со степенью антропогенного нарушения почв при вырубке леса.

Для исследования влияния сильной рекреационной нагрузки на экологические и биологические свойства почв прибрежной полосы Черного моря на стоянке стихийных туристов в окрестностях Водопадной щели была заложена мониторинговая площадка № 3. Высота над уровнем моря в районе исследования – 30÷35 м. Данное место издавна использовалось стихийными туристами для палаточных стоянок. Рекреационное воздействие было прекращено после создания заповедника, исследуемый участок начал восстанавливаться, появился густой травянистый покров, исчезли видимые свидетельства присутствия отдыхающих. Однако почва за такой короткий срок не может вернуться к изначальному состоянию. Поскольку почвенный покров данного участка сложен коричневыми почвами разных подтипов и подвержен рекреационной нагрузке, выраженной в разной степени в разных частях площадки, биологические свойства значительно варьируют. Содержание гумуса понижено в нарушенных почвах по отношению к слобонарушенным. Поведение показателя активности каталазы имеет более сложный характер, что связано с влиянием содержания в почвах карбонатов, реакцией среды, степенью каменистости и антропогенного нарушения.

Мониторинговая площадка № 4 с 8 разрезами заложена на хребте Навагир на высоте порядка 400 м над уровнем моря. Участок характеризует преобладающие на большей части заповедника ландшафты дубово-грабовых и грабовых лесов на склонах крутизной от 5 до 15° с фито- и зоогенным микрорельефом. В среднем каменистое покрытие исследованного участка составляет 5÷10 %; подстилка – от 30 до 90 % в разных частях площадки. Почвенный покров представлен коричневой выщелоченной почвой различной степени каменистости и мощности на элювии плотных некарбонатных пород. Влажность верхнего слоя почвы (0÷5 см) составляет 4,4 %. Температура по профилю плавно снижается с 25,6 °С на поверхности до 20 °С на глубине 30 см. Все исследуемые показатели имеют относительно невысокую амплитуду значений (рН=6,6÷7,1; содержание гумуса 8,5÷12,2; активность каталазы 13,6÷18,1). Это связано с одинаковыми почвообразующими факторами на данном участке. Реакция среды водной вытяжки почв близка к нейтральной, значения рН варьируют в узких пределах. Кислотность солевой вытяжки исследованных образцов нейтральная либо близкая к ней. При этом следует отметить значительное содержание гумуса и высокую активность каталазы. Из [12] содержание гумуса в поверхностных гори-

зонтах характеризуется как высокое и очень высокое для слабокаменистой почвы. По шкале из [13] изученные варианты были отнесены к почвам с богатым уровнем активности.

Мониторинговая площадка № 5 заложена на морской террасе в районе поселка Малый Утриш в можжевелевом редколесье. Этот участок ранее был подвержен интенсивной антропогенной нагрузке в виде рекреации. Даже сейчас территория участка используется как пастбище. Мониторинговая площадка рассматривается не только как почвенный полигон, но и для исследований флоры, ландшафтов и т.п. На фоне относительно выровненных почвенных показателей биологическая активность почв варьирует в широких пределах. Это связано с различием в характере растительности и степени антропогенной нагрузки.

Активность каталазы, инвертазы и дегидрогеназы в разных почвах заповедника находится на высоком уровне, но значительно варьирует в зависимости от типа почвы, содержания гумуса, карбонатов, реакции среды и других свойств почв, что подтверждает данные о возможности использования ферментативной активности в биологической диагностике почв [14, 15].

В результате исследований установлены параметры экологического состояния фоновых и антропогенно нарушенных участков заповедника «Утриш». Выявлены закономерности распределения на территории заповедника коричневых, луговых и других почв, показано, что рекреационная нагрузка на почвы Черноморского побережья приводит к деградации почвенно-растительного покрова и снижает биологическую активность почв.

Литература

1. *Беседина Т.Д.* Агрогенная трансформация почв Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа при использовании под субтропические культуры : дис. ... д-ра с.-х. наук. Сочи, 2004. 313 с.
2. *Казеев К.Ш., Козин В.К., Колесников С.И., Вальков В.Ф.* Биологические особенности почв влажных субтропиков // Почвоведение. 2002. № 12. С. 1474–1478.
3. *Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И.* Почвы Юга России. Ростов н/Д., 2008. 276 с.
4. *Казеев К.Ш., Вальков В.Ф., Колесников С.И.* Атлас почв Юга России. Ростов н/Д., 2010. 128 с.
5. Государственный природный заповедник «Утриш». Атлас. Научные труды. Т. 2. Анапа, 2013. 88 с.
6. *Казеев К.Ш., Колесников С.И.* Почвы / Государственный природный заповедник «Утриш». Атлас. Научные труды. Т. 2. Анапа, 2013. С. 28–31.
7. *Казеев К.Ш., Колесников С.И., Быхалова О.Н., Дмитриев П.А., Янкина К.О.* Почвы и почвенный покров заповедника «Утриш» // Охрана биоты в государственном природном заповеднике «Утриш». Научные труды. Т. 3. 2014. Майкоп, 2015. С. 17–44.

8. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Быхалова О.Н. Коричневые почвы заповедника «Утриш» // Биоразнообразие государственного природного заповедника «Утриш». Т. 1. 2012. Анапа, 2013. С. 154–163.
9. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Быхалова О.Н. Влияние рекреационной нагрузки на почвенный покров заповедника «Утриш» // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 93 (9).
10. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д., 2012. 260 с.
11. Кухарев И.Л., Крохмаль А.Г., Быхалова О.Н. Характеристика территории заповедника // Государственный природный заповедник «Утриш». Атлас. Научные труды. Т. 2. Анапа, 2013. С. 12–15.
12. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. 2004. № 8. С. 918–926.
13. Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. 1978. № 6. С. 48–54.
14. Kazeev K.Sh., Kutrovskiy M.A., Dadenko E.V., Vezdeneeva L.S., Kolesnikov S.I., Valkov V.F. The influence of carbonates in parent rocks on the biological properties of mountain soils of the Northwest Caucasian Region // Eurasian Soil Science. 2012. Vol. 45, № 3. P. 282–289.
15. Kazeev K.Sh., Kremenitsa A.M., Kolesnikov S.I., Kazadaev A.A., Bulysheva N.I., Vnukova N.V., Valkov V.F., Utyanskaya S.V. Biological properties of soils of the chestnut-solonetz complexes // Eurasian Soil Science. 2005. Vol. 38, № 4. P. 408–418.
5. Gosudarstvennyi prirodnyi zapovednik «Utrish». Atlas. Nauchnye trudy. T. 2 [State Nature Reserve “Utrish”. Atlas. Scientific works. Vol. 2.]. Anapa, 2013, 88 p.
6. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. [Soils]. Gosudarstvennyi prirodnyi zapovednik «Utrish». Atlas. Nauchnye trudy. T. 2 [State Nature Reserve “Utrish”. Atlas. Scientific works. Vol. 2.]. Anapa, 2013, pp. 28–31.
7. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Bykhalova O.N., Dmitriev P.A., Yankina K.O. [Soils and soil cover of Reserve “Utrish”]. Okhrana bioty v gosudarstvennom prirodnom zapovednike «Utrish». Nauchnye trudy. T. 3. 2014 [Guard biota in the State Nature Reserve “Utrish”. Scientific works. Vol. 3. 2014]. Maikop, 2015, pp. 17–44.
8. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Bykhalova O.N. [Brown soil of Reserve “Utrish”]. Bioraznoobrazie gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika “Utrish”. T. 1. 2012 [Biodiversity of State Nature Reserve “Utrish”. Vol. 1. 2012]. Anapa, 2013, pp. 154–163.
9. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Bykhalova O.N. Vliyanie rekreatsionnoi nagruzki na pochvennyi pokrov zapovednika «Utrish» [The impact of recreational load on soil of Reserve “Utrish”]. Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2013, no 93 (9).
10. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Biodiagnostika pochv: metodologiya i metody issledovaniy [Soil biodiagnosics: methodology and research methods]. Rostov-on-Don, 2012, 260 p.
11. Kухарев И.Л., Крохмаль А.Г., Быхалова О.Н. [Characteristics of the reserve]. Gosudarstvennyi prirodnyi zapovednik “Utrish”. Atlas. Nauchnye trudy. T. 2 [State Nature Reserve “Utrish”. Atlas. Scientific works. Vol. 2.]. Anapa, 2013, pp. 12–15.
12. Orlov D.S., Biryukova O.N., Rozanova M.S. Dopolnitel'nye pokazateli gumusnogo sostoyaniya pochv i ikh geniticheskikh gorizontov [Additional indicators of soil humus and their genetic horizons]. Pochvovedenie, 2004, no 8, pp. 918–926.
13. Zvyagintsev D.G. Biologicheskaya aktivnost' pochv i shkaly dlya otsenki nekotorykh ee pokazatelei [The biological activity of the soil and the scale for the assessment of some of its indicators]. Pochvovedenie, 1978, no 6, pp. 48–54.
14. Kazeev K.Sh., Kutrovskiy M.A., Dadenko E.V., Vezdeneeva L.S., Kolesnikov S.I., Valkov V.F. The influence of carbonates in parent rocks on the biological properties of mountain soils of the Northwest Caucasian Region. Eurasian Soil Science, 2012, vol. 45, no 3, pp. 282–289.
15. Kazeev K.Sh., Kremenitsa A.M., Kolesnikov S.I., Kazadaev A.A., Bulysheva N.I., Vnukova N.V., Valkov V.F., Utyanskaya S.V. Biological properties of soils of the chestnut-solonetz complexes. Eurasian Soil Science, 2005, vol. 38, no 4, pp. 408–418.

References

1. Besedina T.D. Agrogennaya transformatsiya pochv Chernomorskogo poberezh'ya Severo-Zapadnogo Kavkaza pri ispol'zovanii pod subtropicheskie kul'tury : dis. ... d-ra s.-kh. nauk [Agrogene transformation of the Black Sea Coast of North-West Caucasus soil using a subtropical crops]. Sochi, 2004, 313 p.
2. Kazeev K.Sh., Kozin V.K., Kolesnikov S.I., Val'kov V.F. Biologicheskie osobennosti pochv vlazhnykh subtropikov [Biological characteristics of subtropical humid soil]. Pochvovedenie, 2002, no 12, pp. 1474–1478.
3. Val'kov V.F., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Pochvy Yuga Rossii [Soils of the South of Russia]. Rostov-on-Don, 2008, 276 p.
4. Kazeev K.Sh., Val'kov V.F., Kolesnikov S.I. Atlas pochv Yuga Rossii [Atlas soil of the South of Russia]. Rostov-on-Don, 2010, 128 p.

УДК 57.044; 631.46

DOI 10.18522/0321-3005-2016-1-66-70

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ БУРЫХ ЛЕСНЫХ ОПОДЗОЛЕННЫХ ПОЧВ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАВКАЗА К ХИМИЧЕСКОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ*

© 2016 г. С.И. Колесников, А.А. Кузина, Н.А. Евстегнеева, К.Ш. Казеев

Колесников Сергей Ильич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, завкафедрой экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологий Южного федерального университета, ул. Б. Садовая, 105/42, г. Ростов-на-Дону, 344006, e-mail: kolesnikov@sfedu.ru

Кузина Анна Андреевна – аспирант, кафедра экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологий Южного федерального университета, ул. Б. Садовая, 105/42, г. Ростов-на-Дону, 344006.

Евстегнеева Наталья Андреевна – студент, кафедра экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологий Южного федерального университета, ул. Б. Садовая, 105/42, г. Ростов-на-Дону, 344006.

Казеев Камил Шагидулович – доктор географических наук, профессор, кафедра экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологий Южного федерального университета, ул. Б. Садовая, 105/42, г. Ростов-на-Дону, 344006, e-mail: kamil_kazeev@mail.ru

Kolesnikov Sergei Ilich – Doctor of Agricultural Science, Professor, Head of Ecology and Natural Management Department, Academy of Biology and Biotechnology of the Southern Federal University, B. Sadovaya St., 105/42, Rostov-on-Don, 344006, Russia, e-mail: kolesnikov@sfedu.ru

Kuzina Anna Andreevna – Post-Graduate Student, Ecology and Natural Management Department, Academy of Biology and Biotechnology of the Southern Federal University, B. Sadovaya St., 105/42, Rostov-on-Don, 344006, Russia.

Evstegneeva Natal'ya Andreevna – Student, Ecology and Natural Management Department, Academy of Biology and Biotechnology of the Southern Federal University, B. Sadovaya St., 105/42, Rostov-on-Don, 344006, Russia.

Kazeev Kamil Shagidullovich – Doctor of Geographical Science, Professor, Ecology and Natural Management Department, Academy of Biology and Biotechnology of the Southern Federal University, B. Sadovaya St., 105/42, Rostov-on-Don, 344006, Russia, e-mail: kamil_kazeev@mail.ru

В результате модельных исследований установлено, что бурые лесные кислые оподзоленные почвы являются наименее устойчивыми к загрязнению Cr, Cu, Ni, Pb и нефтью среди основных почв Черноморского побережья Кавказа. Загрязнение приводит к существенному ухудшению их биологических свойств: снижается общая численность бактерий, активность каталазы и дегидрогеназы, целлюлозолитическая способность, обилие бактерий рода *Azotobacter*, ухудшаются показатели прорастания и начального роста редиса. По степени негативного влияния на биологические свойства бурой лесной кислой оподзоленной почвы тяжелые металлы образуют следующий ряд: $Cr > Cu \geq Pb > Ni$.

Ключевые слова: бурые лесные кислые оподзоленные почвы, биологические свойства, устойчивость, загрязнение, тяжелые металлы, нефть.

As a result of modeling studies found that the brown forest acidic podzolized soils are the least resistant to pollution of Cr, Cu, Ni, Pb and oil among the major soils of the Black Sea Coast of the Caucasus. Pollution leads to a significant deterioration of their biological properties: it reduces the total number of bacteria, the activity of catalase and dehydrogenase, cellulolytic capacity, abundant bacteria of the genus *Azotobacter*, worsens the germination and initial growth of radish. By the degree of negative impact on the biological properties of the brown forest acidic podzolized soil heavy metals form the following series: $Cr > Cu \geq Pb > Ni$.

Keywords: brown forest acidic podzolized soil, biological properties, stability, pollution, heavy metals, oil.

Развитие инфраструктуры туризма и отдыха на Черноморском побережье Кавказа (строительство новых курортов, олимпийских объектов, аэропорта, автомобильных дорог, нефтепроводов и т.д.) постоянно усиливает антропогенное воздействие на окружающую среду. Одной из актуальных проблем является возрастание химического загрязнения почв.

Довольно уязвимыми, а возможно, и самыми уязвимыми почвами Черноморского побережья Кавказа являются бурые лесные оподзоленные почвы [1]. Согласно классификации World Reference Base for Soil Resources (WRB), эти почвы называются Cambisols Dystric (CMdy) [2]. Для них характерны низкое содержание гумуса, кислая реакция среды, зачастую легкий гранулометрический

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (6.345.2014/К).

состав, низкая поглотительная способность, слабая оструктуренность или бесструктурность, низкая биологическая активность [1]. Эти свойства определяют очень низкую устойчивость бурых лесных оподзоленных почв к химическому загрязнению. Однако до настоящего времени исследований, посвященных оценке устойчивости бурых лесных оподзоленных почв Черноморского побережья Кавказа к загрязнению нефтью и тяжелыми металлами (ТМ), не проводилось. Ранее была исследована устойчивость бурых лесных почв (неоподзоленных) противоположного, северного склона Кавказского хребта к загрязнению хромом (Cr), никелем (Ni), медью (Cu), свинцом (Pb) [3, 4], цинком, кадмием, молибденом, селеном [5], нефтью, бензином, мазутом, дизтопливом [6, 7].

Цель настоящей работы – оценить устойчивость бурых лесных оподзоленных почв Черноморского побережья Кавказа к загрязнению Cr, Ni, Cu, Pb, нефтью по биологическим показателям.

Загрязнение ТМ и нефтью моделировали в лабораторных условиях.

Буряя лесная кислая оподзоленная почва была отобрана в Сочинском национальном парке (Россия, Краснодарский край, г. Сочи, Лазаревский р-н, 43°52.048' N 039°24.214' E). Использовали верхний слой почвы 0–10 см, так как в нем задерживается большая часть загрязняющих почву веществ.

Исследуемая почва отличается низким содержанием гумуса в верхнем горизонте – 1,7 %, кислой реакцией среды – pH = 4,1, легкосуглинистым гранулометрическим составом, низкой поглотительной способностью, плохой оструктуренностью, низкой биологической активностью (общая численность бактерий – 2,5 млрд/г почвы, активность каталазы – 2,9 мл O₂/г почвы за 1 мин, активность дегидрогеназы – 3,7 мг ТФФ/10 г почвы за 24 ч, обилие бактерий рода *Azotobacter* – 100 % комочков обрастания).

В качестве загрязняющих веществ были выбраны Cr, Cu, Ni, Pb, поскольку именно ими в значительной степени загрязнены почвы на Юге России [8]. Кроме того, эти ТМ интересны для сравнения – их предельно допустимые концентрации (ПДК) составляют 100 мг/кг почвы. Использовали значения ПДК, разработанные в Германии [9]. Во-первых, потому что ПДК в почве общего (валового) содержания Cu и Ni в России отсутствуют. Во-вторых, «российская» ПДК Pb зачастую не может быть использована, так как меньше содержания этого элемента во многих почвах.

ПДК в почве нефти также не разработана, поэтому ее содержание в почве выражали в процентах.

ТМ вносили в почву в количестве 1, 10, 100 ПДК (100, 1000 и 10000 мг/кг соответственно), нефть – 1, 5, 10 % от массы почвы. Содержание ТМ в почве до 100 и даже более ПДК нередко встречается в районах предприятий металлургической, химической и топливной промышленности. Загрязнение почвы до 10 ПДК, помимо названных источников, обычно вызвано автотранспортом и/или в результате сельскохозяйственных мероприятий (минеральные удобрения, пестициды, протравители семян). Загрязнение почвы нефтью до 10 % от массы почвы и более часто встречается в районах нефтедобычи, транспортировки и переработки нефти [10].

Использовали оксиды ТМ: CrO₃, CuO, NiO, PbO. Во-первых, значительная доля ТМ поступает в почву именно в форме оксидов [10]. Во-вторых, использование оксидов ТМ позволяет исключить воздействие на свойства почвы сопутствующих анионов, как это происходит при внесении солей металлов.

Почву инкубировали в вегетационных сосудах при комнатной температуре (20±22 °С) и оптимальном увлажнении (60 % от полевой влагоемкости) в трехкратной повторности.

Биологические свойства почвы определяли через 30 сут после загрязнения. При оценке химического воздействия на биологическое состояние почвы этот срок является наиболее информативным.

Лабораторно-аналитические исследования выполнены с использованием общепринятых методов [11]. Определяли общую численность бактерий, обилие бактерий рода *Azotobacter*, активность каталазы и дегидрогеназы, целлюлозолитическую активность, фитотоксические свойства почв и другие показатели.

Для объединения большого количества показателей использовали методику определения интегрального показателя биологического состояния почвы (ИПБС) [11]. Данная методика позволяет оценить биологическое состояние почвы в целом.

Результаты исследований представлены в таблице.

В результате исследования установлено, что загрязнение бурой лесной кислой оподзоленной почвы Черноморского побережья Кавказа Cr, Cu, Ni, Pb, нефтью приводит к ухудшению ее состояния. Практически во всех случаях наблюдалось достоверное снижение исследованных биологических показателей: общей численности бактерий, активности каталазы и дегидрогеназы, целлюлозолитической активности, обилия бактерий рода *Azotobacter*, длины корней редиса, ИПБС.

Влияние химического загрязнения на биологические свойства бурой лесной кислой оподзоленной почвы

Элемент	Доза загрязняющего вещества				
	Контроль	1 ПДК (1 %)	10 ПДК (5%)	100 ПДК (10 %)	НСП ₀₅
Общая численность бактерий, млрд/г					
Cr	2,5	1,2	0,8	0,4	0,2
Cu	2,5	2,2	1,9	0,5	0,2
Ni	2,5	2,3	2,1	1,0	0,2
Pb	2,5	1,2	0,9	0,7	0,1
Нефть	2,5	2,3	1,9	1,3	0,4
НСП ₀₅		0,2	0,2	0,1	
Активность каталазы, мл O ₂ на 1 г почвы за 1 мин					
Cr	2,9	2,1	1,5	1,5	0,4
Cu	2,9	2,0	2,1	1,6	0,2
Ni	2,9	3,0	2,4	2,3	0,2
Pb	2,9	2,8	2,5	1,9	0,2
Нефть	2,9	2,8	2,0	0,7	0,4
НСП ₀₅		0,2	0,2	0,2	
Активность дегидрогеназы, мг ТФФ на 10 г почвы за 24 ч					
Cr	3,7	1,5	1,4	1,2	0,5
Cu	3,7	2,0	1,5	1,3	0,3
Ni	3,7	2,0	1,5	1,5	0,2
Pb	3,7	2,6	2,5	1,4	0,3
Нефть	3,7	1,9	0,7	0,7	0,2
НСП ₀₅		0,2	0,2	0,2	
Целлюлозолитическая активность, % от контроля					
Cr	100	41	16	7	10
Cu	100	66	35	11	7
Ni	100	79	27	16	6
Pb	100	68	39	21	8
Нефть	100	61	28	17	7
НСП ₀₅		8	4	3	
Обилие бактерий рода <i>Azotobacter</i> , % комочков обрастания					
Cr	100	49	29	0	6
Cu	100	77	54	15	8
Ni	100	78	47	10	8
Pb	100	77	46	21	8
Нефть	100	69	38	25	8
НСП ₀₅		9	6	3	
Длина корней редиса (фитотоксичность), % от контроля					
Cr	100	19	5	0	11
Cu	100	12	9	7	9
Ni	100	12	8	9	8
Pb	100	8	9	3	10
Нефть	100	13	10	6	9
НСП ₀₅		1	1	1	
ИПБС, % от контроля					
Cr	100	45	29	18	–
Cu	100	61	47	24	–
Ni	100	70	48	32	–
Pb	100	61	47	29	–
Нефть	100	63	40	24	–

Негативное воздействие ТМ на живые организмы вызвано с их способностью связываться с сульфгидрильными группами белков, что нарушает синтез и работу ферментов и проницаемость биологических мембран, а в результате и обмен веществ.

Негативное действие нефти на биологические процессы в почве связано с обволакиванием нефтяными углеводородами почвенных частиц и

нарушением водно-воздушного режима почвы, содержанием в нефти токсичных веществ (ТМ, ароматических углеводородов, фенолов и др.), накоплением в токсичных продуктах окисления углеводородов (гексадецилового спирта, пальмитиновой, бензойной, салициловой кислот и др.), значительным увеличением соотношения C:N и т.д.

Поскольку ПДК всех четырех исследованных ТМ одинаково – 100 мг/кг – возможно корректное сравнение их токсического действия по отношению к исследованным биологическим показателям. Полученные результаты свидетельствуют о том, что наиболее значительное негативное воздействие оказал Cr; Pb, Cu и Ni проявили меньшее по силе воздействие.

Соответственно, ряд ТМ по степени негативно-го воздействия на бурую лесную кислотную оподзоленную почву Черноморского побережья Кавказа выглядит следующим образом: Cr > Cu ≥ Pb > Ni.

Схожая закономерность получена в исследованиях, проведенных ранее по той же методике, с другими почвами Юга России: черноземами обыкновенными, выщелоченными, типичными и др. [12, 13], каштановыми, бурными полупустынными, солонцами, солончаками, песчаными [14], черноземами слитыми, серыми лесными, дерново-карбонатными, горно-луговыми [15].

Как правило, для всех исследованных ТМ и нефти наблюдалась прямая зависимость между содержанием в почве загрязняющего вещества и степенью снижения биологических показателей.

Исследование показало, что использованные в работе показатели биологического состояния почв можно рекомендовать к применению в целях мониторинга, диагностики и нормирования химического загрязнения почв Черноморского побережья Кавказа.

Как показала сравнительная оценка, бурые лесные кислые оподзоленные почвы являются наименее устойчивыми к загрязнению ТМ среди основных почв Черноморского побережья Кавказа. Ряд почв по степени устойчивости к загрязнению ТМ выглядит следующим образом (почвы расположены по мере снижения их устойчивости): чернозем южный (77) > коричневая типичная (73) ≥ дерново-карбонатная типичная (72) ≥ коричневая карбонатная (70) = коричневая выщелоченная (70) = дерново-карбонатная выщелоченная (69) = желтоземы (69) > бурая лесная кислая (61) ≥ бурая лесная кислая оподзоленная (57). В скобках представлены значения ИПБС почвы (от 100 % на незагрязненной почве, усредненные по трем дозам металла).

Установленная последовательность определяется эколого-генетическими свойствами исследованных почв, прежде всего гранулометрическим составом, щелочно-кислотными и окислительно-восстановительными условиями, содержанием органического вещества, биологической активностью.

Бурые лесные кислые оподзоленные почвы проявили наименьшую устойчивость к химическому загрязнению, поскольку из исследованных почв они имеют наиболее низкое содержание гумуса в верхнем горизонте, самую кислую реакцию среды,

наиболее легкий гранулометрический состав, плохую оструктуренность, очень низкую биологическую активность.

Выводы

1. Загрязнение бурой лесной кислотной оподзоленной почвы Черноморского побережья Кавказа Cr, Cu, Ni, Pb, нефтью приводит к существенному ухудшению ее биологических свойств: снижается общая численность бактерий, активность каталазы и дегидрогеназы, целлюлозолитическая способность, обилие бактерий рода *Azotobacter*, ухудшаются показатели прорастания и начального роста редиса. Степень снижения зависит от природы загрязняющего вещества и его концентрации в почве.

2. В большинстве случаев зарегистрирована прямая зависимость между содержанием в почве загрязняющего вещества и степенью снижения биологических показателей.

3. По степени негативного влияния на биологические свойства бурой лесной кислотной оподзоленной почвы ТМ образуют следующий ряд: Cr > Cu ≥ Pb > Ni.

4. Бурые лесные кислые оподзоленные почвы являются наименее устойчивыми к загрязнению ТМ среди основных почв Черноморского побережья Кавказа.

Литература

1. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвы Юга России. Ростов н/Д., 2008. 320 с.
2. World Reference Base for Soil Resources. Rome, 2006. 128 p.
3. Тлехас З.Р., Колесников С.И. Изменение биологических свойств бурых лесных почв Адыгее при химическом загрязнении // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2007. № 5. С. 89–91.
4. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Татлок Р.К., Тлехас З.Р., Денисова Т.В., Даденко Е.В. Биодиагностика устойчивости бурых лесных почв Западного Кавказа к загрязнению тяжелыми металлами, нефтью и нефтепродуктами // Сиб. экол. журн. 2014. № 3. С. 493–500.
5. Татлок Д.Р., Колесников С.И., Казеев К.Ш., Татлок Р.К., Тлехас З.Р., Чернышева Я.С. Оценка устойчивости бурых лесных почв Северо-Западного Кавказа к загрязнению Zn, Cd, Mo, Se по биологическим показателям // Вестник Адыгейского гос. ун-та. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2015. № 1. С. 89–94.
6. Колесников С.И., Татлок Р.К., Тлехас З.Р., Казеев К.Ш., Денисова Т.В., Даденко Е.В. Биодиагностика устойчивости предгорных и горных почв Западного Кавказа к загрязнению нефтью и нефтепродуктами // Докл. РАСХН. 2013. № 1. С. 30–34.
7. Колесников С.И., Гайворонский В.Г., Ротина Е.Н., Жаркова М.Г., Денисова Т.В., Казеев К.Ш. Результаты экспериментального изучения загрязнения бурых почв маэутом // Геоэкология. 2011. № 2. С. 183–187.

8. Алексеев В.А., Суворинов А.В., Власова Е.В. Металлы в окружающей среде. Прибрежные аквальные ландшафты Черноморского побережья России. М., 2012. 360 с.
9. Касьяненко А.А. Контроль качества окружающей среды. М., 1992. 136 с.
10. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, 2010. P. 548.
11. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д., 2012. 260 с.
12. Ярославцев М.В., Колесников С.И. Оценка устойчивости черноземов Юга России к загрязнению тяжелыми металлами по биологическим показателям // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2011. № 4. С. 83–86.
13. Колесников С.И., Тлехас З.Р., Казеев К.Ш., Ротина Е.Н., Вальков В.Ф. Влияние загрязнения тяжелыми металлами и нефтью на биологические свойства чернозема выщелоченного слитого // Агрохимия. 2010. № 7. С. 62–67.
14. 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. № 9. С. 1094–1101.
15. Колесников С.И., Тлехас З.Р., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Изменение биологических свойств почв Адыгеи при химическом загрязнении // Почвоведение. 2009. № 2. С. 1499–1505.
16. Алексеев В.А., Суворинов А.В., Власова Е.В. Металлы в окружающей среде. Прибрежные аквальные ландшафты Черноморского побережья России. М., 2012. 360 с.
17. Kolesnikov S.I., Tatlok R.K., Tlekhaz Z.R., Kazeev K.Sh., Denisova T.V., Dadenko E.V. Biodiagnostika ustoichivosti predgornyykh i gornyykh pochv Zapadnogo Kavkaza k zagryazneniyu nef'tyu i nefteproduktami [Biodiagnostics stability foothill and mountain soils of the Western Caucasus to oil pollution and oil]. Dokl. RASKhN, 2013, no 1, pp. 30–34.
18. Kolesnikov S.I., Gaivoronskii V.G., Rotina E.N., Zharkova M.G., Denisova T.V., Kazeev K.Sh. Rezul'taty eksperimental'nogo izucheniya zagryazneniya burykh pochv mazutom [The results of the experimental study of pollution by fuel oil brown soils]. Geoekologiya, 2011, no 2, pp. 183–187.
19. Alekseenko V.A., Suvorinov A.V., Vlasova E.V. Metally v okruzhayushchei srede. Pribrezhnye akval'nye landshafty Chernomorskogo poberezh'ya Rossii [Metals in the Environment. Coastal aquatic landscapes of the Black Sea Coast of Russia]. Moscow, 2012, 360 p.
20. Kas'yanenko A.A. Kontrol' kachestva okruzhayushchei sredy [Monitoring environmental quality]. Moscow, 1992, 136 p.
21. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, 2010, p. 548.
22. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Biodiagnostika pochv: metodologiya i metody issledovaniy [Soil biodiagnostics: methodology and research methods]. Rostov-on-Don, 2012, 260 p.
23. Yaroslavtsev M.V., Kolesnikov S.I. Otsenka ustoichivosti chernozemov Yuga Rossii k zagryazneniyu tyazhelymi metallami po biologicheskim pokazatelyam [Assessment of the stability of the chernozems of Southern Russia to contamination by heavy metals in biological indicators]. Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestv. nauki, 2011, no 4, pp. 83–86.
24. Kolesnikov S.I., Tlekhaz Z.R., Kazeev K.Sh., Rotina E.N., Val'kov V.F. Vliyanie zagryazneniya tyazhelymi metallami i nef'tyu na biologicheskie svoystva chernozema vyyshchelochennogo slitogo [Influence of heavy metal pollution and oil on the biological properties of leached chernozem fusion]. Agrokhiimiya, 2010, no 7, pp. 62–67.
25. Kolesnikov S.I., Spivakova N.A., Kazeev K.Sh. Vliyanie model'nogo zagryazneniya Cr, Cu, Ni, Pb na biologicheskie svoystva pochv sukhikh stepei i polupustyn' Yuga Rossii [Influence of modeling pollution Cr, Cu, Ni, Pb on the biological properties of soils of dry steppes and semi-deserts of South Russia]. Pochvovedenie, 2011, no 9, pp. 1094–1101.
26. Kolesnikov S.I., Tlekhaz Z.R., Kazeev K.Sh., Val'kov V.F. Izmenenie biologicheskikh svoystv pochv Adygei pri khimicheskom zagryaznenii [Change of biological properties of Adygea at chemical contamination of soil]. Pochvovedenie, 2009, no 2, pp. 1499–1505.

References

1. Val'kov V.F., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Pochvy Yuga Rossii [The soils of the South of Russia]. Rostov-on-Don, 2008, 320 p.
2. World Reference Base for Soil Resources. Rome, 2006, 128 p.
3. Tlekhaz Z.R., Kolesnikov S.I. Izmenenie biologicheskikh svoystv burykh lesnykh pochv Adygei pri khimicheskom zagryaznenii [Change of biological properties of brown forest soils of Adygea at chemical contamination]. Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestv. nauki, 2007, no 5, pp. 89–91.
4. Kolesnikov S.I., Kazeev K.Sh., Tatlok R.K., Tlekhaz Z.R., Denisova T.V., Dadenko E.V. Biodiagnostika ustoichivosti burykh lesnykh pochv Zapadnogo Kavkaza k zagryazneniyu tyazhelymi metallami, nef'tyu i nefteproduktami [Biodiagnostics the stability of the Western Caucasus brown forest soils to pollution by heavy metals, oil and oil products]. Sib. ekol. zhurn., 2014, no 3, pp. 493–500.
5. Tatlok D.R., Kolesnikov S.I., Kazeev K.Sh., Tatlok R.K., Tlekhaz Z.R., Chernysheva Ya.S. Otsenka ustoichivosti burykh lesnykh pochv Severo-Zapadnogo Kavkaza k zagryazneniyu Zn, Cd, Mo, Se po biologicheskim pokazatelyam [Assessment of the stability of the brown forest soils of the Northwest Caucasus in contamination of Zn, Cd, Mo, Se in biological indicators]. Vestn. Adygeiskogo

УДК 57.044; 631.46

DOI 10.18522/0321-3005-2016-1-71-75

ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НАНОЧАСТИЦАМИ ОКСИДОВ НИКЕЛЯ И ЖЕЛЕЗА НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО СЕВЕРОПРИАЗОВСКОГО*

© 2016 г. С.И. Колесников, А.Н. Тимошенко, К.Ш. Казеев, Ю.В. Акименко

Колесников Сергей Ильич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, завкафедрой экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологий Южного федерального университета, ул. Б. Садовая, 105/42, г. Ростов-на-Дону, 344006, e-mail: kolesnikov@sfedu.ru

Тимошенко Алена Николаевна – аспирант, кафедра экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологий Южного федерального университета, ул. Б. Садовая, 105/42, г. Ростов-на-Дону, 344006.

Казеев Камил Шугидуллович – доктор географических наук, профессор, кафедра экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологий Южного федерального университета, ул. Б. Садовая, 105/42, г. Ростов-на-Дону, 344006, e-mail: kamil_kazeev@mail.ru

Акименко Юлия Викторовна – ассистент, кафедра экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологий Южного федерального университета, ул. Б. Садовая, 105/42, г. Ростов-на-Дону, 344006.

Kolesnikov Sergei Il'ich – Doctor of Agricultural Science, Professor, Head of Ecology and Natural Management Department, Academy of Biology and Biotechnology of the Southern Federal University, B. Sadovaya St., 105/42, Rostov-on-Don, 344006, Russia, e-mail: kolesnikov@sfedu.ru

Timoshenko Alena Nikolaevna – Post-Graduate Student, Ecology and Natural Management Department, Academy of Biology and Biotechnology of the Southern Federal University, B. Sadovaya St., 105/42, Rostov-on-Don, 344006, Russia.

Kazeev Kamil Shagidulloevich – Doctor of Geographical Science, Professor, Ecology and Natural Management Department, Academy of Biology and Biotechnology of the Southern Federal University, B. Sadovaya St., 105/42, Rostov-on-Don, 344006, Russia, e-mail: kamil_kazeev@mail.ru

Akimenko Yuliya Viktorovna – Assistant, Ecology and Natural Management Department, Academy of Biology and Biotechnology of the Southern Federal University, B. Sadovaya St., 105/42, Rostov-on-Don, 344006, Russia.

Загрязнение чернозема обыкновенного оксидами Ni, Fe и их наночастицами вызвало ухудшение его биологического состояния. На микробиологические показатели (общую численность бактерий и обилие бактерий рода *Azotobacter*) более сильное влияние оказали наночастицы оксидов Ni и Fe. На ферментативную активность (активность каталазы и дегидрогеназы) сильнее повлияли оксиды Ni и Fe, а не их наночастицы. На показатели фитотоксичности (всхожесть и длину корней редиса) оксиды Ni и Fe и их наночастицы оказали примерно одинаковое влияние.

Ключевые слова: наночастицы, никель, железо, загрязнение, чернозем обыкновенный, биологические свойства.

Contamination of chernozem ordinary by oxides of Ni, Fe and nanoparticles caused a deterioration of its biological status. For microbiological parameters (total number of bacteria and the abundance of bacteria of the genus *Azotobacter*) more strongly influenced nanoforms of Ni and Fe oxides. On enzymatic activity (activity of catalase and dehydrogenase) greatly affect the oxides of Ni and Fe, and not their nanoparticles. On the phytotoxicity (germination and root length of the radish) oxides of Ni and Fe and nanoforms had roughly the same influence.

Keywords: nanoparticles, nickel, iron, pollution, chernozem ordinary, biological properties.

В настоящее время в результате широкого развития нанотехнологий и увеличения масштабов производства наноматериалов, в том числе металлосодержащих, растет риск загрязнения окружающей среды наночастицами тяжелых металлов. Согласно оценкам консалтинговой компании Lux Research, объем только трех приложений рынка наноматериалов (энергетика, катализаторы и конструкционные материалы) составляет 364,9 млн долл. Совокупный мировой объем потребления наноматериалов превысил показатель 13 млрд долл. Отрасль нанопорошков является наиболее развитым коммерческим сегмен-

том рынка наноматериалов. Средние ежегодные темпы ее роста составляют 15 %. На рынке нанопорошков чистых металлов по 16,5 % выпуска в натуральном выражении приходится на порошки никеля (Ni) и меди (Cu). Среди лидеров по этому показателю также присутствуют железо (Fe), алюминий (Al), цинк (Zn) и титан (Ti). В России, как и в мире, наиболее развитым является производство оксидных нанопорошков. Наибольшим спросом пользуются нанопорошки Cu и Ni (годовой объем производства от 1500 т), Al и Ti (по 1350 т), Fe (1250 т) и других металлов [1, 2].

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (6.345.2014/К).

Совокупность научных данных о наноматериалах указывает на то, что они относятся к новому классу продукции, и характеристика их потенциальной опасности для здоровья человека и состояния среды обитания во всех случаях является обязательной [3].

В отечественной и мировой науке накоплен обширный материал по проблеме влияния химического загрязнения на биоту и биологические свойства почв. Однако работ, посвященных загрязнению наночастицами, относительно немного, особенно по загрязнению почв. Основной особенностью состояния вопроса является неоднозначность (противоречивость) оценок: одни авторы свидетельствуют о безопасности загрязнения окружающей среды наночастицами, другие указывают на существенные риски. При этом все едины в необходимости развития эконанотоксикологических исследований в связи с нарастающей опасностью загрязнения окружающей среды наночастицами в результате развития нанотехнологий и роста производства наноматериалов. Наиболее остро в настоящее время стоят вопросы выбора и/или разработки методов оценки экотоксичности инженерных наночастиц и установления механизмов их токсичности.

Цель настоящего исследования – установить закономерности влияния загрязнения наночастицами Ni и Fe на биологические свойства чернозема обыкновенного в модельном опыте.

В качестве объекта исследования в работе был использован чернозем обыкновенный южно-европейской фации (североприазовский). Отбор почвы для лабораторных модельных экспериментов производили в Ботаническом саду ЮФУ (г. Ростов-на-Дону).

В качестве токсикантов выбраны оксиды Ni и Fe (Ni_2O и Fe_2O_3), поскольку Ni обладает высокой токсичностью по отношению к биоте [4], а Fe содержится в почве в больших количествах и имеет незначительную токсичность. Для оценки влияния степени дисперсности частиц сравнивали «обычные» порошки и нанопорошки оксидов Ni и Fe.

Изучали действия разных концентраций оксидов металлов – 100, 1000, 100000 мг/кг. ПДК Ni в почве составляет 100 мг/кг. Содержание Fe в почве не нормируется в связи с его высоким содержанием в почве. Для сравнения степени токсичности этих двух элементов Fe вносили в почву в том же количестве, что и Ni.

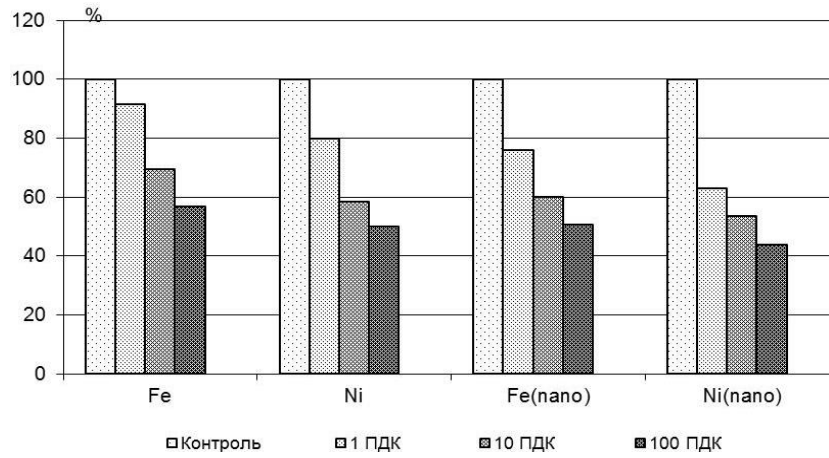
Почву инкубировали в вегетационных сосудах при комнатной температуре (20 ± 22 °C) и оптимальном увлажнении (60 % от полевой влагоемкости) в трехкратной повторности. Образцы для лабораторно-аналитического исследования отобрались через 10 дней после загрязнения.

Лабораторно-аналитические исследования выполнены с использованием методов, общепринятых в биологии, почвоведении и экологии [5, 6]. Общую численность бактерий в почве учитывали методом прямого люминесцентного микроскопирования по Звягинцеву и Кожевину на микроскопе «Микмед-6»; активность каталазы определяли по методу Галстяна; активность дегидрогеназы – по методу Галстяна в модификации Хазиева; фитотоксичность почв – по показателям прорастания семян (всхожесть) и интенсивности начального роста проростков (длина корней); обилие бактерий рода *Azotobacter* – методом комочков обрастания на среде Эшби.

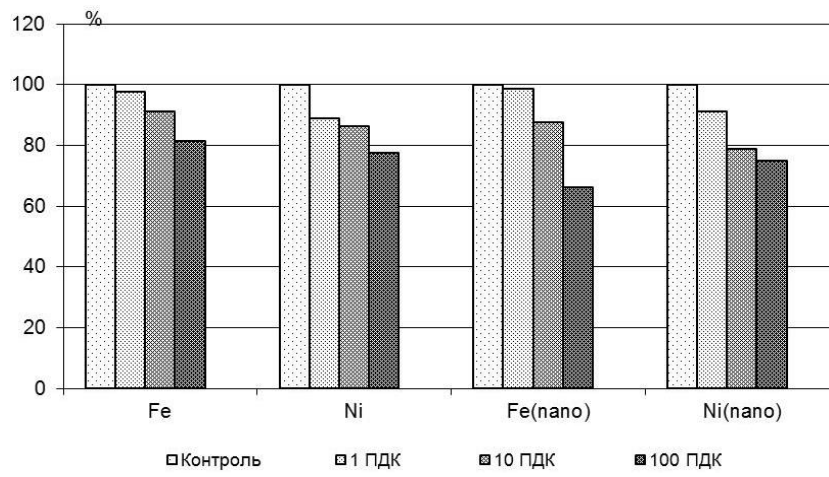
Загрязнение чернозема обыкновенного оксидами Ni, Fe и их нанопорошками привело к ухудшению его биологического состояния (рисунков). Как правило, наблюдалось достоверное снижение всех исследованных биологических показателей. Степень снижения зависела от природы загрязняющего вещества и его концентрации в почве. В большинстве случаев установлена прямая зависимость между концентрацией загрязняющего вещества и степенью ухудшения исследуемых свойств почвы.

Микробиологические показатели состояния почвы, такие как общая численность бактерий и обилие бактерий рода *Azotobacter*, сильнее реагировали на наночастицы оксидов Ni и Fe. Очень высокая чувствительность азотфиксирующих бактерий к наночастицам серебра, в миллион раз превосходящая восприимчивость других групп прокариот, была зафиксирована в других исследованиях [7]. Однако в наших экспериментах общая численность бактерий в почве снижалась в большей степени, чем обилие бактерий рода *Azotobacter*.

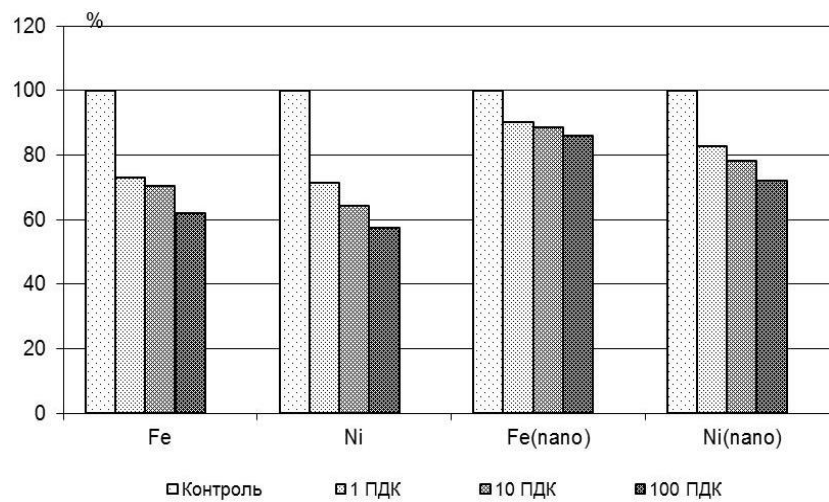
На ферментативную активность чернозема обыкновенного оксиды Ni и Fe оказали более сильное влияние, чем наночастицы данных веществ. Оксид Ni и его наночастицы снизили активность каталазы сильнее, чем оксид Fe и наночастицы оксида Fe. С увеличением концентрации загрязняющего вещества активность каталазы уменьшалась. К загрязнению оксидами исследуемых металлов каталаза более чувствительна, чем к загрязнению их нанопорошками. При этом наночастицы Ni и Fe оказали примерно одинаковое влияние на исследуемый показатель. По степени влияния на активность каталазы в черноземе обыкновенном оксиды металлов образовали следующий ряд: Ni > Fe > Ni (наночастицы) ≥ Fe (наночастицы). В литературе встречаются работы, свидетельствующие о снижении активности ферментов в почве, загрязненной наночастицами серебра [8].



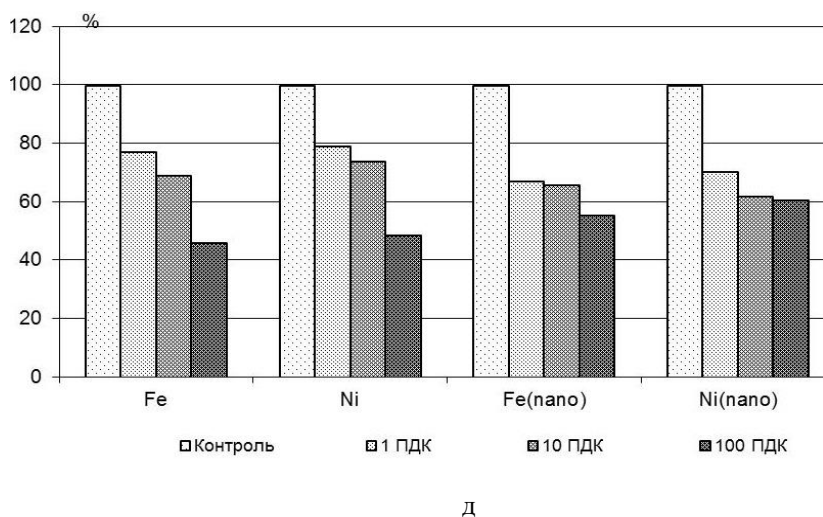
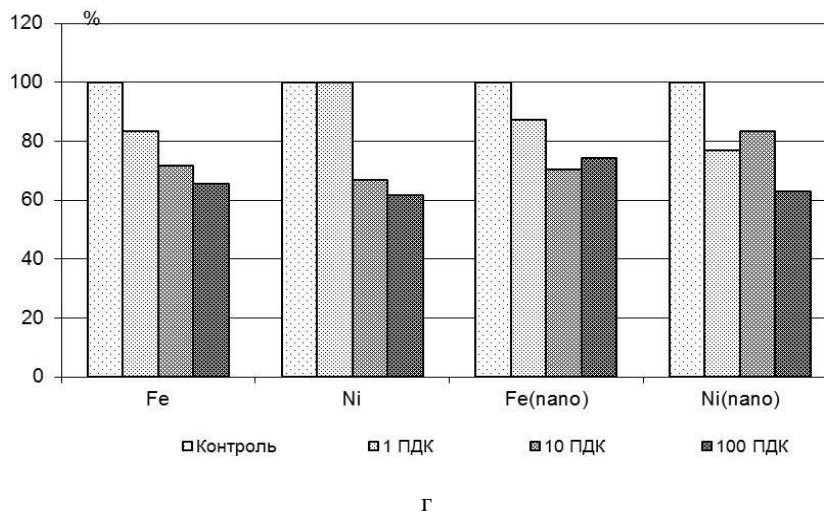
а



б



в



Влияние загрязнения чернозема обыкновенного оксидами Ni, Fe и их нанопорошками, % от контроля: а – на общую численность бактерий; б – на обилие бактерий рода *Azotobacter*; в – на активность каталазы; г – на всхожесть редиса; д – на длину корней редиса

На всхожесть и длину корней редиса оксиды Ni и Fe и их наночастицы оказали примерно одинаковое влияние. Минимальную фитотоксичность наноматериалов в почве или даже ее отсутствие наблюдали и другие исследователи [9, 10].

Такие исследованные показатели, как активность каталазы и дегидрогеназы, обилие бактерий рода *Azotobacter*, общая численность бактерий, длина корней редиса, возможно использовать в целях мониторинга, диагностики и нормирования химического загрязнения (тяжелыми металлами и нанопорошками) чернозема обыкновенного.

Выводы

Загрязнение чернозема обыкновенного оксидами Ni, Fe и их наночастицами вызвало ухудшение

его биологического состояния. На микробиологические показатели (общую численность бактерий и обилие бактерий рода *Azotobacter*) более сильное влияние оказали наночастицы оксидов Ni и Fe. На ферментативную активность (активность каталазы и дегидрогеназы) сильнее повлияли оксиды Ni и Fe, а не их наночастицы. На показатели фитотоксичности (всхожесть и длину корней редиса) оксиды Ni и Fe и их наночастицы оказали примерно одинаковое влияние.

Литература

1. Маркетинговое исследование рынка нанопорошков. М., 2009. 38 с.
2. На пороге новых технологий: аналит. обзор. URL: <http://fs.moex.com/files/2496/> (дата обращения: 02.08.2014).

3. Назаренко О.Б., Ильин А. П., Коришунов А.В., Рот Л.О. Особенности физико-химических свойств нанопорошков и наноматериалов : учеб. пособие. Томск, 2012. 196 с.
4. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, 2010. 548 p.
5. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Д.Г. Звягинцева. М., 1991. 304 с.
6. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д., 2012. 260 с.
7. Баклицкая О. Наночастицы серебра могут быть опасны // Наука и жизнь. 2011. 19 апр. URL: <http://www.nkj.ru/news/19470/> (дата обращения: 01.03.2012).
8. URL: <http://medportal.ru/mednovosti/news/2010/08/13/nanowarm/> (дата обращения: 14.08.2012).
9. Asli S., Neumann P.M. Colloidal suspensions of clay or titanium dioxide nanoparticles can inhibit leaf growth and transpiration via physical effects on root water transport // Plant, Cell & Environment. 2009. Vol. 32. P. 577–584.
10. Doshi R., Braida W., Christodoulatos C., Wazne M., O'Connor G. Nano-aluminum: Transport through sand columns and environmental effects on plants and soil communities // Environmental Research. 2008. Vol. 106. P. 296–303.
2. Na poroge novykh tekhnologii [On the eve of new technologies]. Analytical review. Available at: <http://fs.moex.com/files/2496/> (accessed 02.08.2014).
3. Nazarenko O.B., Il'in A.P., Korshunov A.V., Root L.O. Osobennosti fiziko-khimicheskikh svoistv nanoporoshkov i nanomaterialov [Features physico-chemical properties of nanopowders and nanomaterials]. Proc. allowance. Tomsk, 2012, 196 p.
4. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, 2010, 548 p.
5. Metody pochvennoi mikrobiologii i biokhimii [Methods of soil microbiology and biochemistry]. Ed. D.G. Zvyagintsev. Moscow, 1991, 304 p.
6. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Biodiagnostika pochv: metodologiya i metody issledovaniy [Soil biagnostics: methodology and research methods]. Rostov-on-Don, 2012, 260 p.
7. Baklitskaya O. Nanochastitsy serebra mogut byt' opasny [Silver nanoparticles can be dangerous]. Nauka i zhizn', 2001, April, 19. Available at: <http://www.nkj.ru/news/19470/> (accessed 01.03.2012).
8. Available at: <http://medportal.ru/mednovosti/news/2010/08/13/nanowarm/> (accessed 14.08.2012).
9. Asli S., Neumann P.M. Colloidal suspensions of clay or titanium dioxide nanoparticles can inhibit leaf growth and transpiration via physical effects on root water transport. Plant, Cell & Environment, 2009, vol. 32, pp. 577-584.
10. Doshi R., Braida W., Christodoulatos C., Wazne M., O'Connor G. Nano-aluminum: Transport through sand columns and environmental effects on plants and soil communities. Environmental Research, 2008, vol. 106, pp. 296-303.

References

1. Marketingovoe issledovanie rynka nanoporoshkov [Marketing research of nanopowder market]. Moscow, 2009, 38 p.

УДК 616.12

DOI 10.18522/0321-3005-2016-1-76-79

ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКГ ПОД ВЛИЯНИЕМ МОДЕЛИ «СФИГМОТОН»

© 2016 г. М.А. Нагоева, М.Т. Шаов, О.В. Пишкова

Нагоева Марьяна Аслановна – аспирант, кафедра физиологии человека и животных, Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, ул. Чернышевского, 173, г. Нальчик, КБР, 360004, e-mail: solnce.Q9@bk.ru

Nagoeva Mar'yana Aslanovna – Post-Graduate Student, Department of Human and Animal Physiology, Berbekov Kabardino-Balkarian State University, Chernyshevskii St., 173, Nalchik, KBR, 360004, Russia, e-mail: solnce.09@bk.ru

Шаов Мухамед Талибович – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой физиологии человека и животных, Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, ул. Чернышевского, 173, г. Нальчик, КБР, 360004, e-mail: shaov_mt@mail.ru

Shaov Mukhamed Talibovich – Doctor of Biological Science, Professor, Head of Department of Human and Animal Physiology, Berbekov Kabardino-Balkarian State University, Chernyshevskii St., 173, Nalchik, KBR, 360004, Russia, e-mail: shaov_mt@mail.ru

Пишкова Ольга Владимировна – доктор биологических наук, профессор, кафедра физиологии человека и животных, Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, ул. Чернышевского, 173, г. Нальчик, КБР, 360004, e-mail: olgapshikova@mail.ru

Pshikova Olga Vladimirovna – Doctor of Biological Science, Professor, Department of Human and Animal Physiology, Berbekov Kabardino-Balkarian State University, Chernyshevskii St., 173, Nalchik, KBR, 360004, Russia, e-mail: olgapshikova@mail.ru

Изучено влияние модели «Сфигмотон» на дисперсию интервала QT и R-R. Режим функционирования «Сфигмотона» скопирован с «голоса» пульса, адаптированного к импульсной гипоксии человека и воспроизведенного с помощью современных компьютерных технологий. Выявлена нормализация длительности данных интервалов, что говорит о стабилизации процессов реполяризации миокарда. Медленное уменьшение частоты сердечных сокращений и более эффективное повышение длительности интервалов R-R и QT в ответ на дозированное действие «голоса» пульса обеспечивают большую экономичность деятельности сердечно-сосудистой системы.

Ключевые слова: «голос» пульса, адаптация, сердечно-сосудистая система, импринтинг-технология, звук.

In this work it was studied the influence of the model «Sfigmoton» on the dispersion of the QT interval and R-R. The operation of «Sfigmoton» was copied from «the voice» of the pulse which was adapted to impulse hypoxia of man, and reproduced with the help of modern computer technologies. Revealed normalization duration present interval which suggests processes of repolarization of the myocardium are stabilized. A slow decrease of the frequency of the heart beat and more effective increase of the duration of intervals R-R and QT in response to a measured effect of the «voice» of the pulse provides greater efficiency of the function of the cardiovascular system.

Keywords: «the voice» of pulse, adaptation, cardiovascular system, imprinting technology, sound.

В России на протяжении последних десятилетий в структуре заболеваемости и смертности первое место прочно занимают поражения сердечно-сосудистой системы [1].

Известно, что деятельность сердца всегда определяется условиями, в которых находится организм [2]. Кроме того, свойства самого сердца (степень развития его мускулатуры, возбудимость и проводимость) также определяют характер сердечной деятельности.

Вместе с тем многочисленными экспериментальными исследованиями доказано, что формирование адаптивных процессов в системе кровообращения сопряжено с изменениями функций других систем [2].

Система кровообращения играет одну из ведущих ролей в общей системе адаптации орга-

низма человека к воздействию внешних факторов и сохранении его нормального функционирования [3, 4].

Целью настоящего исследования является оценка эффективности адаптации сердечно-сосудистой системы к неблагоприятным факторам внешней среды с помощью модели «Сфигмотон». Его режим функционирования был скопирован с «голоса» пульса, адаптированного к импульсной гипоксии человека.

Из всех параметров ЭКГ для анализа нами были выбраны интервалы QT и R-R, так как их изменение во времени иллюстрирует наличие выраженной электрической нестабильности миокарда, что может быть фактором риска развития сердечных аритмий [5].

Методы исследования

В данной работе для снятия ЭКГ использовался прибор «Аксион-ЭК1Т-07» – одноканальный цифровой электрокардиограф с комбинированным питанием.

Частотно-амплитудные параметры «голоса» пульса хранились на флеш-карте, а считывание и трансляция осуществлялись с помощью установки «Нейропротектор» конструкции М.Т. Шаова и О.В. Пшиковой [3, 6].

Исследование проводилось на кафедре физиологии человека и животных биологического факультета Кабардино-Балкарского государственного университета. В исследовании принимали участие студенты-добровольцы (26 чел.) в возрасте 20–22 лет.

Эксперимент проведен с соблюдением биоэтических норм, при информированном согласии участников. Дистанционное действие «голоса» пульса на испытуемых происходило в течение 5 мин в одном сеансе (всего 10 сеансов) на расстоянии 3 м от источника звука.

Физиологические показатели сердца регистрировались до воздействия звука (фон), во время воздействия модели «Сфигмотон» (опыт – 10 дней) и в последствии (27 дней).

Используемая в данной работе импринтинг-технология обладает рядом достоинств, что позволяет широко применять её на практике: она неинвазивна, легко доступна, фактически не имеет противопоказаний [3, 6].

Статистическая обработка полученных данных и построение графиков выполнены в программе

StatSoft STATISTICA for Windows 6.0 и Microsoft Excel.

В рамках данной работы было изучено влияние модели «Сфигмотон» на такие показатели, как длительность интервала QT и R-R.

Результаты исследования и их обсуждение

Под влиянием технологии «Сфигмотон» происходят следующие изменения на ЭКГ: у 76,92 % студентов значение R-R соответствует норме, а у 23,08 % – ниже нормы. При этом среднее фоновое значение длительности интервала R-R составляет $0,78 \pm 0,03$ с (рис. 1). На 6-й день опыта (д/о), после воздействия сигнала установки «Сфигмотон», процент студентов с нормальным значением интервала R-R повышается до 80,77 %, среднее R-R составило $0,82 \pm 0,01$ с. На 8-й д/о среднее значение исследуемого показателя увеличивается до $0,86 \pm 0,03$ с. На 10-й д/о число студентов с нормальным значением R-R повышается на 15,39 % по сравнению с фоном и составляет 92,31 %. При этом среднее значение интервала R-R равняется $0,88 \pm 0,06$ с.

По окончании сеанса воздействия звука тенденция к увеличению исследуемого показателя наблюдается на протяжении всего периода последствия: на 7-й день последствия (д/п) среднее значение длительности интервала R-R составляет $0,85 \pm 0,06$ с. На 12-й д/п значение интервала R-R не претерпевает значительных изменений. На 14-й, 19-й, 27-й д/п у 96,2 % студентов наблюдается нормальное значение интервала R-R, а среднее R-R равняется $0,93 \pm 0,05$ с.

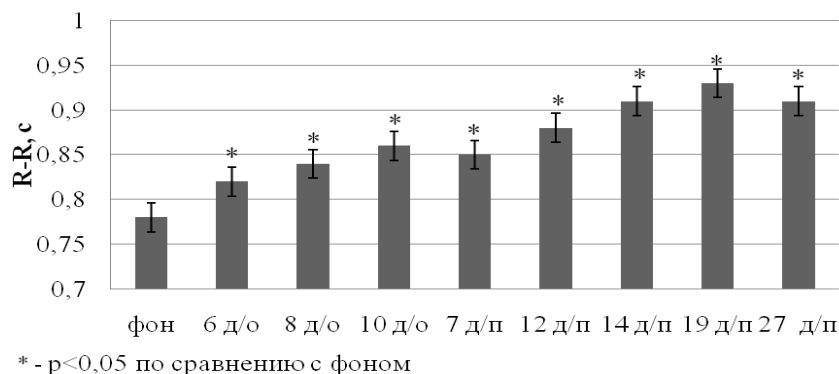


Рис. 1. Динамика длительности интервала R-R

Удлинение длительности R-R интервалов на протяжении исследования, возможно, является следствием рационального и правильно дозированного действия «голоса пульса» на организм, в частности на сердце.

В данной работе также определяли действие импринтинг-технологии в режиме «Сфигмотон» на диапазон колебаний ЭКГ-параметра QT.

Клиническое и диагностическое значение изменений параметров QT необходимо оценивать

на основе нормативных значений и физиологических механизмов, определяющих их изменчивость.

В норме значение интервала QT составляет 0,35–0,44 с.

Так, фоновое значение интервала QT (продолжительности фазы возбуждения, сокращения и реполяризации желудочков) составляет в среднем $0,35 \pm 0,05$ с (рис. 2). При этом у 76,92 % исследуемых студентов QT соответствует норме, у 12,25 % – ниже физиологической нормы, у 10,83 % – выше нормы. На протяжении всего исследования значение QT меняется в колебательном режиме и имеет тенденцию к нормализации по сравнению с фоном.

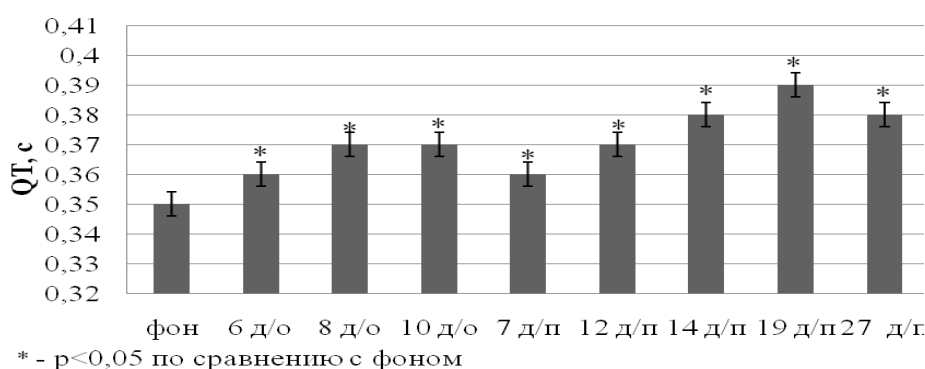


Рис. 2. Динамика длительности интервала QT

Таким образом, под влиянием «голоса пульса» происходит достоверное увеличение интервала QT.

Заключение

На основании проведенного нами электрокардиографического исследования мы пришли к заключению, что под управлением импринтинг-технологии «Сфигмотон» происходит нормализация деятельности сердечно-сосудистой системы [7].

Полученные данные свидетельствуют о реальной возможности дистанционного управления функциями и адаптациями организма на основе сигналов «голоса» пульса, модулированных сеансами гипоксии [7, 8].

Также действие «голоса» пульса на организм способствует улучшению и укреплению здоровья, повышению сопротивляемости к отрицательным воздействиям внешней среды [7, 9].

Литература

1. Арутюнов Г.П., Розанов А.В. Неосложнённый острый инфаркт миокарда с элевацией сегмента ST. Современные стандарты диагностики и лечения // Сердце. 2005. Т. 4, № 2. С. 60–71.

На 6-й день воздействия сигнала в режиме «Сфигмотон» длительность интервала QT повышается в среднем до $0,36 \pm 0,03$ с. При этом наблюдается тенденция к увеличению числа студентов с нормальным значением QT до 80,77 %. На 8-й и 10-й дни значения исследуемого показателя практически равны (в среднем $0,37 \pm 0,04$ с).

В период последействия длительность интервала QT на 7-й день – $0,36 \pm 0,03$ с, 12-й – $0,37 \pm 0,04$ с. На 14-й, 19-й, 27-й дни значение интервала QT повышается до $0,38 \pm 0,03$ с, $0,39 \pm 0,02$ с, $0,38 \pm 0,04$ с соответственно. При этом число студентов с отклонениями от нормального значения QT уменьшается до 3,85 %.

2. Макаров Л.М., Комятова В.Н., Горбунова И.А., Солдатов Ю.А., Мясгина Е.Н. Изменение параметров частотной адаптации интервала QT во время проведения пробы с дозированной физической нагрузкой // IX конгресс РОХМиНЭ. Суздаль, 2008 // Функциональная диагностика. 2008. Спец. выпуск. № 2. С. 82–83.
3. Шаов М.Т., Пишкова О.В. К проблеме дистанционного управления физиологическими функциями организма // Физиол. журн. Киев, 2003. № 3. С. 169–173.
4. Макарова И.Н. Реабилитация при заболеваниях сердечно-сосудистой системы. М., 2010. С. 95–96.
5. Меерсон Ф.З. Адаптационная медицина: механизмы и защитные эффекты адаптации. М., 1993. 332 с.
6. Шаов М.Т., Пишкова О.В., Шаова З.А. Дистанционное управление здоровьем человека с помощью квантово-волновых физиологических технологий (квантово-волновая физиология) // Успехи современного естествознания. 2010. № 5. С. 21–28.
7. Шаова З.А., Шаов М.Т., Пишкова О.В. Нейроинформационные технологии как способ управления электрической активностью мозга // Природа, общество, человек: науч. конф. Владикавказ, 2011. С. 69–73.
8. Лукьянова Л.Д., Ушаков И.Б. Проблемы гипоксии: молекулярные, физиологические и медицинские аспекты. М., 2004. 584 с.
9. Шаов М.Т., Пишкова О.В. Нейроинформационные технологии новой квантово-волновой физиологии // Тез. докл. 21-го съезда физиол. общества им. И.П. Павлова. М.; Калуга, 2010. С. 684–685.

References

1. Arutyunov G.P., Rozanov A.V. Neoslozhnenniy ostryi infarkt miokarda s elevatsiei segmenta ST. Sovremennyye standarty diagnostiki i lecheniya [Uncomplicated acute myocardial infarction with ST-segment elevation. Modern standards of diagnosis and treatment]. *Serditse*, 2005, vol. 4, no 2, pp. 60-71.
2. Makarov L.M., Komolyatova V.N., Gorbunova I.A., Soldatov Yu.A., Masyagina E.N. Izmenenie parametrov chastotnoi adaptatsii intervala QT vo vremya provedeniya proby s dozirovannoi fizicheskoi nagruzkoi. X kongress ROKhMiNE. Suzdal', 2008 [Changing the frequency of adaptation parameters of the QT interval during the test with dosed physical load. IX Congress ROHMiNE. Suzdal, 2008]. *Funktsional'naya diagnostika*, 2008, special issue, no 2, pp. 82-83.
3. Shaov M.T., Pshikova O.V. K probleme distantsionnogo upravleniya fiziologicheskimi funktsiyami organizma [On the problem of remote control physiological functions]. *Fiziol. zhurn.*, 2003, no 3, pp. 169-173.
4. Makarova I.N. *Reabilitatsiya pri zabolevaniyakh serdechno-sosudistoi sistemy* [Rehabilitation in diseases of the cardiovascular system]. Moscow, 2010, pp. 95-96.
5. Meerson F.Z. *Adaptatsionnaya meditsina: mekhanizmy i zashchitnye efekty adaptatsii* [Adaptation medicine: mechanisms of adaptation and protective effects]. Moscow, 1993, 332 p.
6. Shaov M.T., Pshikova O.V., Shaova Z.A. Distantsionnoe upravlenie zdorov'em cheloveka s pomoshch'yu kvantovovolnovykh fiziologicheskikh tekhnologii (kvantovovolnovaya fiziologiya) [Remote control of human health with the help of quantum-wave physiological technology (the quantum-wave physiology)]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2010, no 5, pp. 21-28.
7. Shaova Z.A., Shaov M.T., Pshikova O.V. Neiroinformatsionnye tekhnologii kak sposob upravleniya elektricheskoi aktivnost'yu mozga [Neuro information technology as a way to control the electrical activity of the brain]. *Priroda, obshchestvo, chelovek* [Nature, society, people]. Conference. Vladikavkaz, 2011, pp. 69-73.
8. Luk'yanova L.D., Ushakov I.B. *Problemy gipoksii: molekulyarnye, fiziologicheskie i meditsinskie aspekty* [Hypoxia problems: molecular, physiological and medical aspects]. Moscow, 2004, 584 p.
9. Shaov M.T., Pshikova O.V. [Neuro information technology new quantum-wave physiology]. *Tez. doklad 21 s"ezda fiziol. obshchestva im. I.P. Pavlova* [Proc. 21 Congress report Pavlov physiologist. society]. Moscow, Kaluga, 2010, pp. 684-685.

УДК 579.843.1:579.26:616-022.1:614.7

DOI 10.18522/0321-3005-2016-1-80-83

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ВОЗМОЖНОСТЬ ИНФИЦИРОВАНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ БИОПЛЁНКАМИ ХОЛЕРНОГО ВИБРИОНА

© 2016 г. С.В. Титова, Л.М. Веркина, Л.К. Лысова

Титова Светлана Викторовна – кандидат медицинских наук, директор Ростовского-на-Дону противочумного института Роспотребнадзора, ул. М. Горького, 117/40, г. Ростов-на-Дону, 344002, e-mail: svetatitova@bk.ru

Веркина Людмила Михайловна – кандидат медицинских наук, заведующая лабораторией, Ростовский-на-Дону противочумный институт Роспотребнадзора, ул. М. Горького, 117/40, г. Ростов-на-Дону, 344002, e-mail: labbiobez@mail.ru

Лысова Людмила Константиновна – научный сотрудник, Ростовский-на-Дону противочумный институт Роспотребнадзора, ул. М. Горького, 117/40, г. Ростов-на-Дону, 344002, e-mail: labbiobez@mail.ru

Titova Svetlana Viktorovna – Candidate of Medical Science, Director of the Rostov-on-Don Anti-Plague Institute of the Federal Service on Supervision in the Sphere of Consumer Rights Protection, M. Gorkii St., 117/40, Rostov-on-Don, 344002, Russia, e-mail: svetatitova@bk.ru

Verkina Lyudmila Mikhailovna – Candidate of Medical Science, Head of Laboratory, Rostov-on-Don Anti-Plague Institute of the Federal Service on Supervision in the Sphere of Consumer Rights Protection, M. Gorkii St., 117/40, Rostov-on-Don, 344002, Russia, e-mail: labbiobez@mail.ru

Lysova Lyudmila Konstantinovna – Researcher, Rostov-on-Don Anti-Plague Institute of the Federal Service on Supervision in the Sphere of Consumer Rights Protection, M. Gorkii St., 117/40, Rostov-on-Don, 344002, Russia, e-mail: labbiobez@mail.ru

Создана экспериментальная система с использованием биоплёнки холерного вибриона для моделирования экологических процессов, реально возникающих в различных объектах окружающей среды. Изучены возможности использования биоплёнки холерного вибриона в качестве патогенного биологического агента путём инфицирования водных объектов бактериями *V. cholerae*, диспергируемыми из биоплёнок. Показано, что скорость контаминации зависит от зрелости биоплёнки, температуры водной среды и объёма резервуара.

Ключевые слова: экспериментальная биологическая/экологическая модель, возбудитель холеры, биопленка, контаминация водной среды.

An experimental system is presented with the use of *Vibrio cholerae* biofilm intended for modeling of ecological processes, actually occurring in different environmental objects. The authors have examined the possibilities of cholera vibrio biofilm usage as a pathogenic biological agent by way of water object infecting by *V. cholerae* bacterial cells dispersed from biofilms. It is demonstrated that the rate of contamination depends on biofilm maturity, water temperature and reservoir volume.

Keywords: experimental biological/ecological model, causative agent of cholera, biofilm, contamination of aqueous environment.

Холера является эндемичным заболеванием в 80 странах и остается угрозой для всех стран мира, так как существует реальная возможность завозов возбудителя инфекции. В РФ за последнее десятилетие зарегистрировано 42 завозных случая холеры в 19 регионах страны. Завозной характер подтвержден при изучении штаммов *V. cholerae* O1 и O 139 на молекулярном уровне.

На эндемичных территориях основной причиной вспышек холеры является фекальное загрязнение питьевой воды, но наряду с этим актуальными становятся и другие пути передачи возбудителя холеры. Не исключена возможность распространения инфекционных заболеваний, в том числе и холеры, посредством переноса возбудителей на пластиковом мусоре, в гигантском количестве плавающем в Мировом океане. Появляется совершенно новый термин – «пластисфера» [1]. Но до сих пор нет достаточных данных, раскрываю-

щих микробиологическую составляющую пластисферы, и не проводятся исследования по изучению факторов внешней среды, способствующих распространению инфекционного агента.

Кроме того, в настоящее время остаётся реальной угрозой использования холеры как патогенного биологического агента (ПБА) в качестве биологического оружия в террористических целях, поэтому немаловажно прогнозировать скорость инфицирования возбудителем предполагаемого объекта заражения для осуществления своевременной деконтаминации.

В связи с этим появляется необходимость в моделировании неких экологических процессов, реально возникающих в различных биотопах, и получении экспериментальных данных о роли внутренних и внешних факторов, влияющих на микробиологическую составляющую модели.

На сегодняшний день образование биопленок (БП) различными видами патогенных для человека

бактерий, в том числе возбудителем холеры, признано универсальным способом их сохранения и обеспечения конкурентоспособности в различных экологических нишах [2–4]: этот феномен целесообразно использовать при исследовании потенциальной возможности инфицирования водных объектов вибрионами.

Цель работы – проведение экспериментов по моделированию условий контаминации водных объектов биоплёнками холерного вибриона.

Материалы и методы

В опыт были взяты штаммы *V. cholerae* ElTor, выделенные в разные годы от людей и из внешней среды, эпидемически опасные, с генотипами *ctxAB⁺tcpA⁺toxR⁺*. Все штаммы *V. cholerae* проявляли типичные для вибрионов биологические свойства, а также обладали способностью к биоплёнокообразованию. При проведении эксперимента в качестве имитатора ПБА, находящегося во внешней среде, использовали БП холерного вибриона, полученные по авторской оригинальной методике [5]. Формирование биоплёнок происходило на твердом субстрате – пищевом пластике, помещённом во флаконы-«инкубаторы» с водопроводной автоклавированной водой, в результате естественной адгезии бактерий к пластику [5]. Исходная концентрация холерных вибрионов, приготовленная из 18-часовой агаровой культуры по отраслевому стандарту мутности ГИСК им. Л.А. Тарасевича (ОСО-42-25-59-86 П), составляла $4 \div 8 \cdot 10^3$ колониеобразующих единиц (КОЕ/мл). В экспериментах использовали БП 4-й стадии или собственно биопленку разного срока зрелости – от 5 до 20 сут.

В качестве объекта инфицирования была выбрана водная среда – вода водопроводная, автоклавированная в объёме 0,2, 0,4 и 1,0 л.

Схема стандартного опыта состояла в следующем: пищевой пластик с образовавшейся на нём биоплёнкой через определенные промежутки времени извлекали из флакона «инкубатора» стерильным пинцетом, трижды промывали в забуференном фосфатами физиологическом растворе (PBS) методом погружения от неадгезированных вибрионов, переносили во флаконы с водой водопроводной, автоклавированной и инкубировали при 10 и 25 °С. Эксперименты продолжались до 120,0 ч (5 сут).

В течение всего срока наблюдения из каждого флакона с интервалом в 0,25 ч, 0,5, 1,0, 6,0, 24,0, 48,0 ч (2 сут), 120,0 ч (5 сут) делали высевы по 0,1 мл на чашки с агаром Мартена, рН 7,8. Контаминацию воды вибрионами учитывали в КОЕ/мл.

Опыты проводились согласно СП 1.3.3118-13 «Безопасность работы с микроорганизмами I–II группы патогенности (опасности)».

Результаты и обсуждение

Формирование биоплёнок обеспечивает выживание бактерий во внешней среде. Вместе с тем известно, что зрелая биоплёнка через определённый период времени разрушается (диспергируется), что сопровождается планктонизацией составляющих её элементов [6]. При случайном или преднамеренном попадании БП холерного вибриона в резервуары с водой дисперсия клеток приводит к контаминации резервуара и диссеминации инфекции.

В связи с этим первые эксперименты проводились с целью изучения зависимости скорости контаминации вибрионами водной среды от температуры и объёма резервуара, в который была внесена БП. В опыт были взяты биоплёнки в 4-й стадии (на 5-е сут «созревания») всех отобранных штаммов *V. cholerae*.

При 25 °С инкубации через 0,3 ч в 0,2 л пробах концентрация вибрионов составляла $10^{2 \div 3}$ КОЕ/мл. Дальнейшая инкубация способствовала интенсивному накоплению возбудителя, через 1,0 ч концентрация достигла 10^3 КОЕ/мл, через 6 ч в посевах регистрировали $10^{6 \div 7}$ КОЕ/мл. В 0,4 и 1,0 л пробах наблюдалась та же динамика увеличения КОЕ по мере инкубации, однако для достижения 10^3 КОЕ/мл потребовалось 1,0 и 6,0 ч соответственно. В дальнейшем, до окончания срока наблюдения, концентрация вибрионов оставалась на уровне $10^{6 \div 7}$ КОЕ/мл. Следует отметить, что, несмотря на общую тенденцию контаминирования водных объектов вибрионами, количество планктонных клеток, диспергированных из БП, зависело от штамма *V. cholerae*. Обращает на себя внимание, что наибольшим потенциалом инфицирования обладала БП холерного вибриона штамма № 19613, изолированного из внешней среды на территории г. Ростова-на-Дону. Этот факт, безусловно, свидетельствует о необходимости мониторинга за циркуляцией вибриофлоры в водных объектах с целью выявления эпидемически опасных штаммов и своевременного проведения комплекса противоэпидемических мероприятий. Температурный фактор также оказывал значительное действие на потенциал БП как ПБА. При 10 °С отмечены низкие значения контаминации возбудителя в первые часы, а через сутки инкубации и до окончания срока наблюдения у некоторых штаммов КОЕ оставалось на уровне единичных колоний.

Эксперименты были проведены в 3-кратных повторностях для обеих температур инкубирования

ния. Результаты динамики контаминации водных резервуаров диспергированными клетками вибрионов представлены в табл. 1, 2 в виде среднеарифметических величин, достоверных по Стьюденту – Фишеру с вероятностью 99 %.

Следующий этап работы – изучение способности БП в 4-й стадии разного срока зрелости от 13

до 20 сут к контаминации водных объектов. Для опытов был взят штамм № 19613 как наиболее продуктивный по результатам исследований дисперсии БП *V. cholerae* в предыдущих экспериментах. Полученные нами данные показывают, что БП, находящиеся в «зрелой стадии» – от 13 до 20 сут, не утратили своей активности.

Таблица 1

Динамика диспергирования клеток *V. cholerae* из БП при 25 °С

№ штаммов	Время, ч											
	0,25			0,50			1,0			6,0		
	Объем, л											
	0,2	0,4	1,0	0,2	0,4	1,0	0,2	0,4	1,0	0,2	0,4	1,0
19613	1·10 ^{2*}	5·10 ¹	0	2·10 ³	4·10 ²	1·10 ²	7·10 ³	2·10 ³	5·10 ²	4·10 ⁷	5·10 ⁵	4·10 ³
18904	3·10 ¹	2·10 ¹	0	4·10 ²	1·10 ²	0	1·10 ³	4·10 ²	3·10 ¹	1·10 ⁷	3·10 ⁴	7·10 ²
5879	2·10 ¹	1·10 ¹	0	1·10 ³	1·10 ²	1·10 ¹	3·10 ³	7·10 ²	1·10 ²	1·10 ⁷	6·10 ⁴	1·10 ³
18337	2·10 ¹	2·10 ¹	0	1·10 ³	7·10 ¹	0	2·10 ³	1·10 ³	2·10 ¹	4·10 ⁶	1·10 ⁵	1·10 ³
18826	4·10 ¹	1·10 ¹	0	5·10 ²	2·10 ²	0	1·10 ³	5·10 ²	1·10 ²	2·10 ⁶	3·10 ⁴	6·10 ²

*– КОЕ/мл.

Таблица 2

Динамика диспергирования клеток *V. cholerae* из БП при 10 °С

№ штаммов	Время, ч											
	3,0			24,0			48,0			120,0		
	Объем, л											
	0,2	0,4	1,0	0,2	0,4	1,0	0,2	0,4	1,0	0,2	0,4	1,0
19613	4·10 ^{3*}	5·10 ²	5·10 ²	2·10 ²	4·10 ¹	1·10 ²	1·10 ²	2·10 ¹	1·10 ¹	3·10 ¹	2·10 ¹	0
18904	5·10 ²	2·10 ²	3·10 ¹	4·10 ¹	2·10 ¹	2·10 ¹	2·10 ¹	2·10 ¹	0	2·10 ¹	2·10 ¹	0
5879	6·10 ²	1·10 ²	1·10 ²	1·10 ²	2·10 ¹	1·10 ¹	4·10 ¹	1·10 ¹	1·10 ¹	4·10 ¹	1·10 ¹	1·10 ¹
18337	7·10 ²	2·10 ²	2·10 ¹	1·10 ²	7·10 ¹	0	1·10 ²	2·10 ¹	0	1·10 ¹	2·10 ¹	0
18826	4·10 ³	2·10 ²	1·10 ²	5·10 ¹	2·10 ¹	1·10 ²	2·10 ¹	0	0	2·10 ¹	0	0

*– КОЕ/мл.

Контаминация вибрионами водных резервуаров сопоставима с КОЕ/мл, зарегистрированными в опытах с 5-суточными БП. Через 1,0÷6,0 ч инкубации в исследуемых объектах наблюдалась та же тенденция, концентрация *V. cholerae* достигала 10³ КОЕ/мл с дальнейшей динамикой увеличения концентрации холерных вибрионов.

Согласно данным [7, 8], бактерии возбудителя холеры, освобождённые из БП в окружающую среду, изменяют свои свойства, в том числе повышают свою инфекционность на 1÷2 порядка. Если учесть, что человеку для заболевания холерой достаточно дозы *V. cholerae* 10⁴⁻⁶ КОЕ/мл, то контаминация водного резервуара диспергированными из биопленки клетками холерного вибриона в концентрации

10³ КОЕ/мл создаёт реальную угрозу заражения холерой уже через 0,5 ч.

Таким образом, разработанная экспериментальная модель позволила нам установить, что объёмы резервуара водного объекта и температура окружающей среды – важные внешние факторы потенциальной возможности использования биопленки холерного вибриона в качестве ПБА. Особый интерес представляют полученные данные о длительном сохранении способности к контаминации у «зрелых» биопленок холерного вибриона.

Представленные результаты могут быть использованы для оптимизации и надлежащей организации санитарно-эпидемиологической работы с це-

лью обеспечения соответствующего уровня биологической безопасности.

Литература

1. Zettler E.R., Mincer T.J., Amaral-Zettler L.A. Life in the «Plastisphere»: Microbial communities on plastic marine debris // *Environ. Sci. Technol.* 2013. Vol. 47. P. 7137–7146.
2. Ильина Т.С., Романова Ю.М., Гинзбург А.Л. Биоплёнка как способ существования бактерий в окружающей среде и организме хозяина: феномен, генетический контроль и системы регуляции их развития // *Генетика*. 2004. Т. 40, № 11. С. 1445–1456.
3. Смирнова Т.А., Диденко Л.В., Азибекян Р.Р., Романова Ю.М. Структурно-функциональная характеристика бактериальных биоплёнок // *Микробиология*. 2010. Т. 79, № 4. С. 435–446.
4. Lutz C., Erken M., Noorian P., Susand Sh., McDougaid D. Environmental reservoirs and mechanisms of persistence of *Vibrio cholerae* // *Front Microbiol.* 2013. Vol. 4. P. 375.
5. Титова С.В., Кушнарёва Е.В. Использование нового метода изучения динамики образования биоплёнок холерными вибрионами в условиях, приближённых к естественным // *Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки*. 2014. № 5. С. 73–77.
6. Stoodely P., Wilson S., Hall-Stoodely S., Boyle J.D., Lappin-Scott H.M., Costerton J.W. Growth and detachment of cell cluster from mature mixed-species biofilm // *Appl. Environ. Microbiol.* 2001. Vol. 67. P. 5608–5613.
7. Tamayo R., Patimalla B., Camilli A. Growth in biofilm induces a hyperinfectious phenotype in *Vibrio cholerae* // *Infect. Immun.* 2010. Vol. 78, № 8. P. 3560–3569.
8. Окулич В.К., Плотников Ф.В., Кабанова А.А. Роль микробных биоплёнок в патогенезе инфекционных процессов на современном этапе // *Иммунопатология, аллергология, инфектология*. 2012. № 4. С. 70–82.

References

1. Zettler E.R., Mincer T.J., Amaral-Zettler L.A. Life in the «Plastisphere»: Microbial communities on plastic marine debris. *Environ. Sci. Technol.*, 2013, vol. 47, pp. 7137-7146.
2. Il'ina T.S., Romanova Yu.M., Ginzburg A.L. Bioplenka kak sposob sushchestvovaniya bakterii v okruzhayushchei srede i organizme khozayina: fenomen, geneticheskii kontrol' i sistemy regulyatsii ikh razvitiya [Biofilms as a way of existence of bacteria in the environment and the host organism: the phenomenon of genetic control and regulation systems for their development]. *Genetika*, 2004, vol. 40, no 11, pp. 1445-1456.
3. Smirnova T.A., Didenko L.V., Azibekyan R.R., Romanova Yu.M. Strukturno-funktsional'naya kharakteristika bakteriial'nykh bioplenok [Structural and functional characterization of bacterial biofilms]. *Mikrobiologiya*, 2010, vol. 79, no 4, pp. 435-446.
4. Lutz C., Erken M., Noorian P., Susand Sh., McDougaid D. Enviromental reservoirs and mechanisms of persistence of *Vibrio cholerae*. *Front Microbiol.*, 2013, vol. 4, p. 375.
5. Titova S.V., Kushnareva E.V. Ispol'zovanie novogo metoda izucheniya dinamiki obrazovaniya bioplenok kholernymi vibriionami v usloviyakh, priblizhennykh k estestvennym [Using a new method for studying the dynamics of biofilm formation in *V. cholerae* conditions, approximate to the natural]. *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestv. nauki*, 2014, no 5, pp. 73-77.
6. Stoodely P., Wilson S., Hall-Stoodely S., Boyle J.D., Lappin-Scott H.M., Costerton J.W. Growth and detachment of cell cluster from mature mixed-species biofilm. *Appl. Environ. Microbiol.*, 2001, vol. 67, pp. 5608-5613.
7. Tamayo R., Patimalla B., Camilli A. Growth in biofilm induces a hyperinfectious phenotype in *Vibrio cholerae*. *Infect. Immun.*, 2010, vol. 78, no 8, pp. 3560-3569.
8. Okulich V.K., Plotnikov F.V., Kabanova A.A. Rol' mikrobnykh bioplenok v patogeneze infektsionnykh protsessov na sovremennom etape [The role of microbial biofilms in the pathogenesis of infectious processes at the present stage]. *Immunopatologiya, allergologiya, infektologiya*, 2012, no 4, pp. 70-82.

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 551.736.3:553.07 (282.256.861)

DOI 10.18522/0321-3005-2016-1-84-89

ЛИТОГЕНЕЗ ПЕРМСКИХ ТОЛЩ АЯН-ЮРЯХСКОГО АНТИКЛИНОРИЯ
ЯНО-КОЛЫМСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ

© 2016 г. А.А. Астахова, А.Э. Хардигов

Астахова Анна Александровна – соискатель, кафедра минералогии и петрографии, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов-на-Дону, 344090.

Хардигов Александр Эдуардович – доктор геолого-минералогических наук, профессор, кафедра минералогии и петрографии, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов-на-Дону, 344090, e-mail: khardikov@sfedu.ru

Astakhova Anna Aleksandrovna – Competitor, Mineralogy and Petrography Department, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia,

Khardikov Aleksandr Eduardovich – Doctor of Geologic and Mineralogical Science, Professor, Mineralogy and Petrography Department, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: khardikov@sfedu.ru

Рассматриваются особенности литогенеза пермских вулканогенно-осадочных отложений, входящих в состав Верхоянского терригенного комплекса Яно-Колымской складчатой области. Пермский осадочный бассейн играл важную роль в начальной мобилизации и перераспределении рудного вещества. На примере атканской свиты показана возможность реализации элизионно-катагенетического механизма образования золотоносных комплексов в пермских толщах Аян-Юрхского антиклинория. Породы атканской свиты в пределах Аян-Юрхского антиклинория разделены на два литолого-фациальных комплекса: проток авандельты и бровки шельфа и континентального склона. Показана генетическая связь золота с пермскими вулканогенно-осадочными комплексами. Латеральная миграция золоторудных растворов из одного литолого-фациального комплекса происходила во время катагенетических преобразований толщи.

Ключевые слова: Аян-Юрхский антиклинорий, атканская свита, верхняя пермь, золотоносность, элизионно-катагенетический механизм.

Lithogenesis of the Permian volcano-clastic deposits of the Ayan-Yurakh Anticlinorium are observed in the paper. Permian basin plays important role in the initial mobilizing and distribution of ore material. Origin of the ore gold formation in the Permian rocks is explained with the elision-catagenetic mechanism. The basic parameters of this mechanism are shown in terms of Atkan suite. Two lithofacies of the Atkan suite are recognized: shelf or delta front and shelf edge or slope break facies. Gold and volcanic material are deposited in Permian basin with the clastic products at the same time. Lateral distribution of the gold from one complex to another occurs during diagenesis.

Keywords: Ayan-Yurakh Anticlinorium, atkan suit, upper Permian, ore gold, elision-catagenetic mechanism.

Аян-Юрхский антиклинорий является частью Яно-Колымского металлогенического пояса. В нем локализованы месторождения, суммарная минерально-сырьевая база которых на сегодняшний день составляет не менее 2–2,5 тыс. т золота. Механизм их формирования до сих пор остается невыясненным. В соответствии с представлениями А.А. Сидорова, В.А. Бурыка, А.А. Волкова [1] о первопричинах формирования золоторудных месторождений сульфидно-вкрапленного типа в складчатых осадочных толщах природу таких месторождений следует рассматривать как полигенную метаморфогенно-магματοгенную. Имеется в виду, что в формировании руд этих месторождений велика роль как метаморфогенных процессов на ранних этапах их концентрационного обособления,

так и магματοгенных, способствующих обогащению и вместе с тем вызывающих дифференциацию первичных руд на поздних этапах.

Во время метаморфогенного этапа протекают процессы первичного осадконакопления и диагенеза осадков; образования вкрапленной сульфидной минерализации в погребенных толщах донных отложений в ходе их катагенеза и метагенеза; интенсивного складкообразования (на стадии орогенеза); регионального метаморфизма (с проявлением углеродистого метасоматоза) толщ до фации зеленых сланцев, включающей сульфидизацию осадочных пород и формирование межпластовых и секущих кварцевых тел магματοгенной природы.

Сами черносланцевые толщи считаются «базовыми формациями», поскольку в ряде работ пока-

зана литогенная природа некоторых золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных толщах и выявлена тесная связь процессов литогенеза и рудообразования.

Развитие литогенных систем происходит в течение длительного периода предыстории месторождения, приводящего к возникновению крупных участков скопления повышенных концентраций золота. Только в некоторых случаях могут возникать промышленные концентрации. Образование предрудной минерализации можно объяснить одной из существующих моделей: эксгальационно-осадочной, седиментационно-диагенетической или элизионно-катагенетической. Элизионно-катагенетическая модель наиболее четко проявлена в формировании золоторудных систем Яно-Колымского складчатого пояса, где основная золотоносность связана с Верхоянским терригенным

верхнепалеозойско-нижнемезозойским комплексом. Его отложения накапливались на пассивной окраине Сибирской платформы и представляли собой разнообразные лавинные накопления зерновых и суспензионных автокинетических потоков долинно-веерных систем шельфа и континентального склона.

Анализ пермского осадконакопления в пределах современного Аян-Юрхского антиклинория позволяет говорить о фациальной неоднородности пионерской, атканской и омчакской свит (пермь). В составе каждой из них выделены песчано-алевритовые и существенно глинистые литолого-фациальные комплексы.

На примере фациально изменчивой атканской свиты показана возможность реализации элизионно-катагенетического механизма образования золотоносных комплексов (рис. 1).

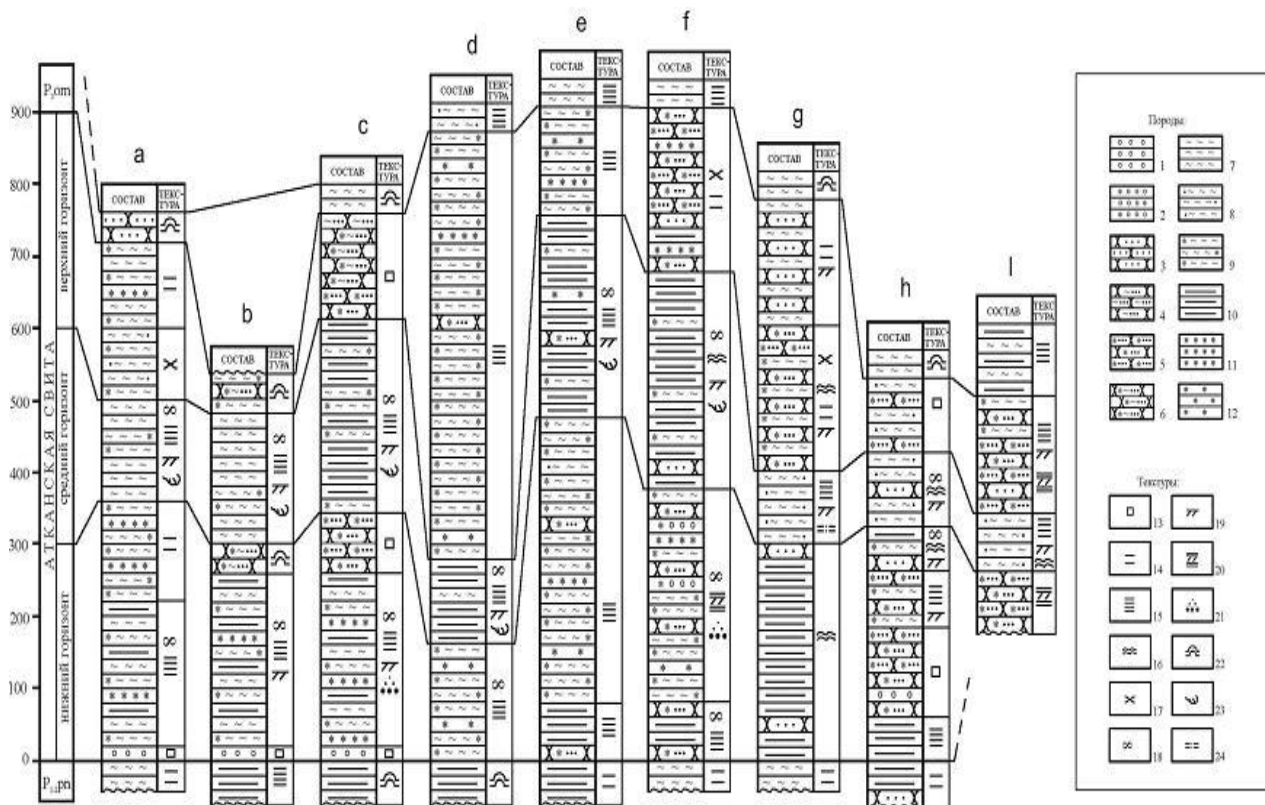


Рис. 1. Характерные разрезы атканской свиты: а – междуречье Истыннах-Вороний (правобережье р. Аян-Юрх); б – водораздел Истыннах-Улахан Матрайбыт; с – правобережье верхнего течения р. Улахан Матрайбыт; d – междуречье Лошккалах-Тырсеях (левобережье нижнего течения р. Аян-Юрх); e – левобережье нижнего течения р. Улахан Матрайбыт; f – водораздел Улахан Матрайбыт-Хугланнах; g – бассейн р. Талгичан; h – исток р. Нерючи; i – левобережье р. Токичан. 1 – гравелиты; 2 – гравелиты туфогенные; 3 – песчаные; 4 – песчаники алевритистые; 5 – песчаники туфогенные; 6 – песчаники туфогенные алевритистые; 7 – алевролиты; 8 – алевролиты песчанитые; 9 – алевролиты туфогенные; 10 – аргиллиты; 11 – туфы; 12 – туффиты; 13 – массивная текстура; 14 – горизонтальная слоистость; 15 – тонко-мелкая горизонтальная слоистость; 16 – волнистая слоистость; 17 – линзовидная слоистость; 18 – тонко-мелкая линзовидная слоистость; 19 – косая слоистость; 20 – диагональная слоистость; 21 – градиционная слоистость; 22 – неясная слоистость; 23 – текстура оползания; 24 – нерезкие границы напластования

Формирование атканской свиты происходило в условиях трансгрессии моря и выдвигания дельт рек, впадавших в морской бассейн с юго-запада (с Охотского массива). Наблюдаемая смена по площади одних типов пород другими позволяет выделить в составе атканской свиты два литолого-фациальных комплекса отложений: 1) проток авандельты; 2) бровки шельфа и континентального склона [2, 3].

Первый литолого-фациальный комплекс получил распространение в юго-западной части исследуемой территории (рис. 2). Он представлен толщей чередования мелкозернистых алевролитистых

туфопесчаников и песчаных туфоалевролитов. Комплекс содержит пачки кремнистых аргиллитов и туфоаргиллитов, а также маломощные невыдержанные прослои гравийно-псаммитовых литокристаллокластических туффитов андезидацитов, иногда гравелитов и галечных конгломератов.

Осадконакопление происходило на внешнем шельфе нормального морского бассейна в условиях миграции мелких проток авандельты, донных течений, слабого волнового воздействия, лавинной седиментации и недокомпенсированного прогибания дна моря.

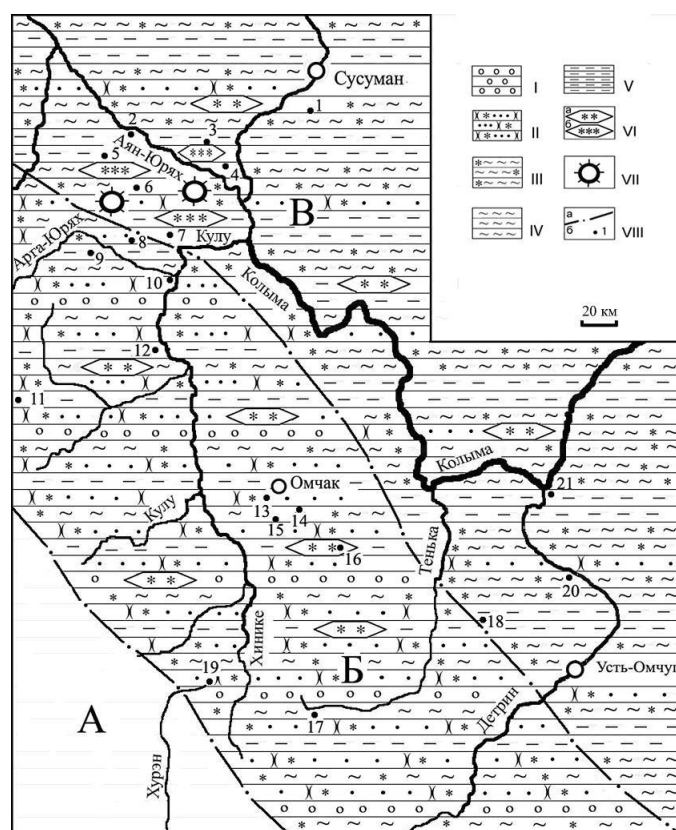


Рис. 2. Литолого-палеогеографическая схема бассейна верхнего течения р. Кольма для времени формирования атканской свиты: А – северо-восточное обрамление Охотского массива (область отсутствия отложений атканской свиты); Б – литолого-фациальный комплекс отложений подводно-аллювиальных проток авандельты; В – литолого-фациальный комплекс отложений бровки шельфа и континентального склона (центральная и юго-восточная части Аян-Юряхского антиклинория).

I – гравелиты; II – туфопесчаники; III – туфоалевролиты; IV – алевролиты; V – туфоаргиллиты и кремнистые аргиллиты;

VIa – линзовидные прослои туффитов; VIb – линзовидные прослои туфов; VII – центры вулканических извержений;

VIIIa – границы литолого-фациальных комплексов; VIIIb – разрезы отложений атканской свиты (бассейн р. Берелех:

1 – водораздел Берелех – Сума; бассейн р. Аян-Юрях: 2 – р. Аян-Юрях; 3 – руч. Лошкаллах; 4 – руч. Тырсеях; 5 – руч. Вороний; бассейн р. Кулу: 6 – руч. Афанасий; 7 – руч. Хугланнах; 8 – руч. Межевой; 9 – руч. Апогей; 10 – устье р. Арга-Юрях; 11 – р. Нерючи; 12 – руч. Индус; бассейн р. Тенька: 13 – руч. Наталкин; 14 – руч. Омчак; 15 – руч. Павлик; 16 – водораздел Старатель – Грустный; 17 – правобережье верхнего течения р. Тенька; 18 – правобережье верхнего течения р. Нелькоба; бассейн р. Хурен: 19 – руч. Титан; бассейн р. Детрин: 20 – руч. Вакханка; 21 – устье р. Детрин)

Судя по отсутствию в разрезе так называемых волновых песчаников, можно считать, что данная часть бассейна крайне редко подвергалась сильным волновым воздействиям типа штормов, цунами и

т.д., приносящим значительные порции песчаного материала. В течение времени формирования отложений атканской свиты в зоне развития описываемого литолого-фациального комплекса суще-

ствовали периоды активизации дельтового привноса. Им соответствуют толщи переслаивания туфопесчаников и туфоалевролитов с подчиненными пластами аргиллитов и гравелитов. Эти периоды сменялись ослаблением дельтовой активности.

Литолого-фациальный комплекс отложений бровки шельфа и континентального склона расположен в северо-восточной части территории. Он представлен мощной (сотни метров) толщиной туфоалевролитов с маломощными прослоями (первые метры, иногда десятки метров) туфопесчаников, туфоаргиллитов и пачками тонкого линзовидного переслаивания туфоалевролитов, туфоаргиллитов. В толще встречаются невыдержанные прослои и линзы гравийно-псаммитовых лито-кристаллокластических туффитов, пепловых и лапиллиевых туфов андезидацитов, а также лидитов. Мощные пачки неясно-, волнисто- и линзовидно-слоистых песчанисто-глинистых алевролитов, содержащих тонкодисперсное углеродистое вещество, формировались в процессе экстремального выноса взвеси при паводковом режиме рек. Относительно мощные скопления песчаного материала связаны с действием зерновых потоков. Алевритовый осадок с тонкими линзовидными прослоями мелкопесчаных частиц мог накапливаться в результате выпадения тонкой взвеси, отделенной от плотного зернового автокинетического потока континентального склона.

Между сходами автокинетических потоков наблюдается фоновое накопление пелитовой взвеси морского бассейна, нашедшее отражение в прослоях тонко-горизонтально-слоистых аргиллитов. Мощность их зависит от продолжительности межпотоковой паузы, а также от наличия и интенсивности глубоководных течений, размывающих и переотлагающих терригенный материал (тонкое волнисто-слоистое переслаивание алевролитов и аргиллитов).

Диагенез отложений атканской свиты в условиях лавинной седиментации не был завершен в силу своей кратковременности. Поскольку интенсивный привнос материала реками происходил при высоких темпах тектонического проседания дна бассейна, находящегося в неравновесном состоянии реакционно-способное осадочное и вулканогенное вещество очень быстро попадало на глубину в термодинамические условия катагенеза (температура – 30–225 °С, давление – 10–200 МПа), где происходили существенные структурно-минералогические изменения. Породам свойственна неоднородность постседиментационных преобразований. Она зависит от количества седиментационного глинистого цемента и определяется условиями накопления осадков. Алеврито-псаммиты с контурно-поровым цементом интенсивнее изменены, чем алеврито-глинистые и псаммито-алевритовые отложения с

порово-базальным цементом. Это обусловлено лучшей проницаемостью песчаников и алевритистых песчаников. В изначально обедненных глинистым веществом толщах отмечается коррозия и регенерация песчаных кварцевых зерен, окварцевание и альбитизация полевых шпатов, а также образование кварцевых прожилков. Такие преобразования в генетическом отношении не являются метаморфическими, а отвечают катагенетической стадии. В алевритово-глинистых породах катагенетические преобразования почти не сказались на обломочных зернах. Изменениям было подвергнуто только глинистое вещество. Важную роль в этом играло рассеянное углеродистое вещество, имеющее, возможно, органическое происхождение. Учитывая возраст и фациальные условия отложений, можно предположить, что рассеянное органическое вещество в них представлено частицами высших растений. Растительный детрит, находясь во взвешенном состоянии, адсорбировал золото морской воды и накапливался в осадке. Неуравновешенная процессами диагенеза органоминеральная масса вследствие лавинной седиментации оказывалась в зоне катагенеза, ускоряя постседиментационное преобразование глинистых минералов, в первую очередь монтмориллонита, который почти полностью замещен гидрослюдой и хлоритом. Поскольку выделяющиеся при гидрослюдизации воды были перегретыми (дегидратация – это экзотермический процесс), а глинистые минералы обладают высокой сорбционной способностью, то новообразованные водные системы могли быть и являлись переносчиками сорбированных, в том числе рудных, компонентов [4, 5].

Неравномерность постседиментационных изменений пород атканской свиты, связанная с различием литологического состава отложений юго-западной и северо-восточной частей площади ее распространения, приводит к неравномерному разогреву в условиях катагенеза и миграции кремнезема, золота и других рудных элементов. Поскольку необратимый процесс уплотнения глинистых коллоидно-дисперсных систем сопровождается увеличением их температуры в толще атканской свиты, обладающей литолого-фациальной неоднородностью, возникал латеральный термический градиент и в связи с этим происходила латеральная миграция нагретых элизонных вод. При этом в качестве генератора золотоносных кремнекислых растворов выступает литолого-фациальный комплекс отложений бровки шельфа и континентального склона, а местом разгрузки этих растворов является литолого-фациальный комплекс отложений проток аванделльты, в породах которого формируются послойные и секущие кварцевые жилы, прожилки и жильно-прожилковые зоны.

Элизионно-катагенетическая модель применима также к толщам переслаивания алевроито-песчаных и алевроито-глинистых отложений пионерской и омчакской свит Верхоянского комплекса.

На основании анализа строения разрезов пионерской, атканской и омчакской свит, описанных в пределах Аян-Юрхского антиклинория, а также петрографического изучения слагающих их пород можно говорить о существовании здесь единого верхнепионерско-атканско-омчакского вулканогенно-осадочного комплекса отложений, возникшего, с одной стороны, вследствие лавинной седиментации долинно-веерных систем внешнего шельфа и перегиба континентального склона, а с другой – вследствие подводного средне-кислого вулканизма, сопровождавшего терригенное осадконакопление.

Вулканогенно-осадочная природа пермских отложений Аян-Юрхского антиклинория ставит вопрос об источнике столь огромного количества ювенильного материала. Немногочисленные центры его возможных извержений, известные в пределах Охотского массива, как и гипотетическая вулканическая дуга, предполагаемая в пределах современного Охотского моря, не обеспечивают решения этой проблемы, поскольку какой-либо зональности в распределении вулкаников относительно указанных объектов не отмечается. Сравнительно однообразный состав туфов на всех участках Аян-Юрхского антиклинория при их резкой фациальной изменчивости, а также рассеянные в атканской и омчакской свитах псефитовые обломки вулкаников заставляют искать местные, причем весьма многочисленные, источники поступления вулканогенного материала. Вполне вероятно, что группирующиеся в линейную вулканическую цепь, совпадающую с осью Аян-Юрхского антиклинория, дайки Арга-Юрхского магматического комплекса, по своему составу весьма схожие с литокластикой пермских пород, могут рассматриваться как центры подводных вулканических извержений пермского возраста, которые периодически формировали выступавшие над уровнем моря и размываемые вулканические постройки. Даже если считать многочисленные дайки, прорывающие пермские породы, более поздними по времени образования, все равно обращает на себя внимание тот факт, что во всех случаях с этими дайками пространственно связаны прослои туффицитов и туфов, часто образующие единый эффузивный комплекс отложений. Это наводит на мысль о длительной истории развития эруптивного аппарата, поставившего пирокластику в пермский бассейн осадконакопления и сохранившего активность в течение последующих геологических эпох [6]. В полосе развития пионерской, атканской и омчакской свит есть и другие

участки, которые можно считать центрами предполагаемого пермского вулканизма (например, площадь, которую охватывает Омчакский рудно-россыпной узел и другие).

Определение возраста U-Pb SHRIMP-методом для ограненных кристаллов циркона, не удаленных от источника сноса и выделенных из верхней части атканской свиты, показало средневзвешенный возраст этих кристаллов $256,3 \pm 3,7$ млн лет (пермский). Аналогичные результаты получены А.С. Бяковым с соавторами [7]. Они отмечают, что «...пермские цирконы из исследованных образцов диамиктитов мы интерпретируем как магматические, принимая во внимание морфологию кристаллов (хорошая огранка) и относительно высокое отношение Th/U, варьирующее для большинства кристаллов циркона от 0,4 до 0,8». Все это указывает на пермский возраст пирокластики, входящий в состав отложений Верхоянского комплекса на исследуемой территории.

Установлено, что наиболее богатые залежи золота совпадают с определенными литолого-стратиграфическими уровнями Верхоянского комплекса, содержащими вулканогенно-осадочные породы. Так, около 75 % запасов золота Наталкинского месторождения связаны с пачками пород, содержащими до 40 % вулканогенного материала псефитопсаммитовой размерности.

Состав водно-растворимого комплекса вулканических пеплов и объем тефры крупных извержений эксплозивного типа (десятки-сотни км³) предполагает возможность поступления в осадочные бассейны рудных элементов (сурьмы, ртути, мышьяка, кадмия, селена, серебра и золота) вместе с пирокластическими продуктами. Например, установлено, что в процессе постседиментационных преобразований тефры риолитового состава, поступившей в позднекембрийские бассейны осадконакопления Русской и Южно-Китайской платформ, происходило перераспределение золота. На окислительной стадии диagenеза оно накапливалось вместе с оксидами и гидроксидами железа, образованными в результате растворения вулканического стекла и железосодержащих минералов. На последующих стадиях преобразования пирокластического материала и при формировании глинистых минералов золото выносилось из горизонтов вулканического пепла. Аналогичный механизм был возможен при формировании верхнепермских толщ. Поскольку вулканогенный материал в разрезе верхнепермских отложений Аян-Юрхского антиклинория занимает достаточно узкий стратиграфический интервал, можно предположить, что значительное количество золота поступило в толщу осадка за сравнительно короткое время. Накопителем золота могло быть рассеянное органическое вещество [8].

Магматогенный этап развития территории Аян-Юряхского антиклинория и формирования золотого оруденения – это временной интервал, в течение которого имели место одно- или многоактные, периодически повторяющиеся процессы тектономагматической активизации района и становление интрузивно-купольных структур; углубление динамотермального метаморфизма вмещающих пермских пород, сопровождающееся образованием повышенных количеств углеродистых минералов, их преобразованием в высокометаморфизованные разновидности и очередным переотложением (перекристаллизацией) сульфидов с изменением их кристаллохимического состава, соотношения их минеральных форм и размеров, отвечающих новой физико-химической обстановке; высвобождение химически связанного и сорбированного сульфидами, органикой и глинистыми минералами золота и местное концентрирование его в составе новой тонкокристаллической генерации вкрапленных сульфидов; этапное и стадийное формирование гидротермальных растворов, обогащенных как глубинным магматогенным, так и заимствованным из сульфидизированных вмещающих пород рудным веществом.

Как видно из изложенного выше, в ходе литогенеза пермских толщ Аян-Юряхского антиклинория, золото, являясь устойчивым самородным элементом, в то же время химически активно и широко участвует в геологическом кругообороте вещества по схеме: морской бассейн – хемогенное осадконакопление – метаморфогенное концентрирование – магматогенное концентрирование – гидротермальный перенос и рудоотложение с образованием коренных проявлений, но с иным уровнем организации вещества. Это подтверждается тем, что по мере омоложения золоторудных месторождений их минералогический состав усложняется, а формы проявления золота становятся более разнообразными и многочисленными.

Литература

1. Сидоров А.А. Очерки исторической металлогении. Магадан, 1995. 68 с.
2. Хардинов А.Э., Парада С.Г., Холодная И.А. Литолого-фациальные условия золотоносности верхнепермских отложений Аян-Юряхского антиклинория Яно-Колымской складчатой области // Руды и металлы. 2009. № 3. С. 22–28.
3. Хардинов А.Э., Холодная И.А. Литолого-фациальные особенности и условия образования верхнепермских отложений Аян-Юряхского антиклинория Верхояно-Колымской складчатой области // Стратиграфия и седиментология нефтегазоносных провинций. 2010. № 1. С. 65–74.

4. Габлина И.Ф. Условия меденакпления в красноцветных континентальных формациях. М., 1983. 111 с.
5. Холодов В.Н. Новое в познании катагенеза. Элизонный катагенез // Литология и полезные ископаемые. 1982. № 5. С. 15–32.
6. Сурчилов В.А. О пермском магматизме и тектонической природе Аян-Юряхского антиклинория // Наука Северо-Востока России – начало века. Магадан, 2005. С. 127–132.
7. Бяков А.С., Ведерников И.Л., Акинин В.В. Пермские диамиктиты Северо-Востока Азии и их вероятное происхождение // Вестник Сев.-Вост. науч. центра ДВО РАН. 2010. № 1. С. 14–24.
8. Астахова А.А., Хардинов А.Э. О перспективах золотоносности пермских отложений Аян-Юряхского антиклинория Верхояно-Колымской складчатой области // Материалы 9-го Уральского литологического совещания. Екатеринбург, 2012. С. 12–13.

References

1. Sidorov A.A. *Ocherki istoricheskoi metallogenii* [Essays on historical metallogeny]. Magadan, 1995, 68 p.
2. Khardikov A.E., Parada S.G., Kholodnaya I.A. *Litologofatsial'nye usloviya zolotonosnosti verkhnepermskikh otlozhenii Ayan-Yuryakhskogo antiklinoriya Yano-Kolymskoi skladchatoi oblasti* [Litho-facies conditions of gold-bearing deposits of the Upper-Ayan Yuryakh anticlinorium Yano-Kolyma folded area]. *Rudy i metally*, 2009, no 3, pp. 22-28.
3. Khardikov A.E., Kholodnaya I.A. *Litologofatsial'nye osobennosti i usloviya obrazovaniya verkhnepermskikh otlozhenii Kolymskoi Ayan-Yuryakhskogo antiklinoriya Verkhoyano- skladchatoi oblasti* [Litho-facies features and conditions of formation of deposits of the Upper-Ayan Yuryakh anticlinorium Verkhoyansk-Kolyma folded area]. *Stratigrafiya i sedimentologiya neftegazonosnykh provintsiy*, 2010, no 1, pp. 65-74.
4. Gablina I.F. *Usloviya medenakopleniya v krasnotsvetnykh kontinental'nykh formatsiyakh* [Accumulation of copper in terms of red continental formations]. Moscow, 1983, 111 p.
5. Kholodov V.N. *Novoe v poznanii katageneza. Elizionnyi katagenez* [New knowledge in katagenesis. Elyision katagenesis]. *Litologiya i poleznye iskopaemye*, 1982, no 5, pp. 15-32.
6. Surchilov V.A. *O [About Permian magmatism and tectonic nature Ayan-Yuryakh anticlinorium]*. *Nauka Severo-Vostoka Rossii – nachalo veka* [Science North-East of Russia - the beginning of the century]. Magadan, 2005, pp. 127-132.
7. Byakov A.S., Vedernikov I.L., Akinin V.V. *Permskie diamiktity Severo-Vostoka Azii i ikh veroyatnoe proiskhozhdenie* [Perm diamiktity Northeast Asia and their probable origin]. *Vestn. Sev.-Vost. nauch. tsentra DVO RAN*, 2010, no 1, pp. 14-24.
8. Astakhova A.A., Khardikov A.E. [On the prospects of gold-bearing Permian-Ayan Yuryakh anticlinorium Verkhoyansk-Kolyma folded area]. *Materialy 9 Ural'skogo litologicheskogo soveshchaniya* [Proceedings of the Ural lithological 9 meeting]. Ekaterinburg, 2012, pp. 12-13.

УДК 551.3.051.001.0.57:553.93/96.061.14

DOI 10.18522/0321-3005-2016-1-90-94

МНОГОВАРИАНТНОЕ КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ФУНДАМЕНТА ЮЖНО-ЯКУТСКОГО УГОЛЬНОГО БАСЕЙНА

© 2016 г. В.Н. Микерова, А.А. Дорофеев, А.Б. Тарасов, Л.Н. Фоменко

Микерова Вера Николаевна – заведующая лабораторией геологии и разведки угольных месторождений, акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский геологоразведочный институт угольных месторождений», пр. Стачки, 200/1, корп. 3, г. Ростов-на-Дону, 344090, e-mail: vera_mikeroва@rambler.ru

Дорофеев Алексей Анатольевич – инженер-программист, акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский геологоразведочный институт угольных месторождений», пр. Стачки, 200/1, корп. 3, г. Ростов-на-Дону, 344090, e-mail: alexeidorofeyev@yandex.ru

Тарасов Александр Борисович – научный сотрудник, акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский геологоразведочный институт угольных месторождений», пр. Стачки, 200/1, корп. 3, г. Ростов-на-Дону, 344090, e-mail: ataras@mail.ru

Фоменко Людмила Николаевна – кандидат технических наук, доцент, кафедра прикладной информатики и вычислительной техники, Ростовский государственный строительный университет, ул. Социалистическая, 162, г. Ростов-на-Дону, 344022, e-mail: detush@yandex.ru

Mikeroва Vera Nikolaevna – Head of Geology and Coalfields Prospecting Laboratory, Joint-Stock Company «All-Russian Research Geological Exploration Institution of Coalfields», Stachki Ave, 200/1, k. 3, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: vera_mikeroва@rambler.ru

Dorofeev Aleksei Anatolievich – Part-Programming Engineer, Joint-Stock Company «All-Russian Research Geological Exploration Institution of Coalfields», Stachki, 200/1, k. 3, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: alexeidorofeyev@yandex.ru

Tarasov Aleksandr Borisovich – Scientific Researcher, Joint-Stock Company «All-Russian Research Geological Exploration Institution of Coalfields», Stachki Ave, 200/1, k. 3, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: ataras@mail.ru

Fomenko Lyudmila Nikolaevna – Candidate of Technical Science, Associate Professor, Applied Mathematics Department, Rostov State Building University, Sotsialisticheskaya St., 162, Rostov-on-Don, 344022, Russia, e-mail: detush@yandex.ru

Разработана методика построения фундамента в пределах Южно-Якутского угольного бассейна с использованием комплекса исходных геолого-геофизических данных применительно к этапам региональных и поисковых геологоразведочных работ и современных программных средств (специализированных – ОКАР и геоинформационной системы ArcGIS). Выявленные геолого-структурные закономерности могут быть использованы в качестве самостоятельного информационного блока при прогнозе угленосности слабоизученных территорий бассейна.

Ключевые слова: методика, технология, модель, фундамент, ОКАР, ArcGIS, геолого-геофизические данные, Южно-Якутский угольный бассейн.

The methodology of building South Yakutia Coal Basin foundation is developed concerning to using of initial geological-geophysical data at regional and prospecting geological exploration works stages and using of modern software tools including specialized ones (OKAR) and ArcGIS geographic information system. Ascertained geological and structural regularities can be used as independent informational blocks to predict of coal content in the lands of basin which are weakly examined.

Keywords: methods, technology, model, foundation, OKAR, ArcGIS, geological-geophysical data, South Yakutia Coal Basin.

Изучение глубин и тектоники поверхности фундамента угольных бассейнов платформенного и переходного типов, а также их обрамлений является важной практической задачей, что в главной степени определяет закономерности размещения угленосности, мощность и морфологию угольных пластов. Южно-Якутский угольный бассейн относится к переходному типу, где угленосность во многом определяется строением и структурой поверхности допалеозойского фундамента и составом угленосных пород [1]. Условия поставленной задачи, традиционно решаемой посредством бурения и

глубинных сейсмических и электрических зондирований, в Южно-Якутском бассейне ограничиваются фрагментарным объемом прямых геологических данных, незначительным объемом глубинных сейсмических и электрических зондирований и невыдержанной мощностью комплексов пород мезозоя. На территории бассейна пробурена только одна скважина, достигшая фундамента. Таким образом, при решении поставленной задачи в качестве основного фактического материала были использованы результаты геологоразведочных работ по изучению угленосной толщи.

В геологическом плане Южно-Якутский бассейн расположен на юге Алданского щита [2]. Угленосная толща мощностью до 3,5 км, без существенных перерывов сложена терригенными (преимущественно песчаными) континентально-бассейновыми отложениями всех трёх отделов юры и нижнего мела. Она залегает на докембрии и локально перекрывается четвертичными отложениями. Толща имеет сложно-циклическое строение. По имеющимся геофизическим данным (вертикальное электрическое зондирование и среднемасштабная гравиметрическая съёмка), наиболее погружённые участки фундамента (до 5 000 м) тяготеют к южной части Алдано-Чульманского района, что подтверждает представление о резко асимметричном строении синклинали структуры, в которой образован бассейн. Фундамент расчленён многочисленными разрывными нарушениями на ряд блоков с амплитудой вертикальных перемещений относительно друг друга до 1,5–2 км, причём наиболее сложное строение фундамента установлено в южной части прогиба. При этом в Алдано-Чульманском районе наблюдаются постепенное погружение кристаллического фундамента с севера на юг и, соответственно, постепенное увеличение мощности угленосных отложений за счёт наращивания разреза [3].

Для перечисленных условий, т.е. наличия геолого-геофизических результатов региональных и поисковых геологоразведочных работ, разработан методика построения более детальных фрагментов фундамента на территории расположения Южно-Якутского угольного бассейна по сравнению с существующими данными. Сущность методики заключается в применении информационной технологии многофакторного моделирования и прогнозирования посредством аппроксимации измеренных параметров геофизических полей в программном комплексе (ПК) OKAP_28_Large и дальнейшей возможности анализа распределения этих параметров по любым произвольным направлениям как в пределах, так и за пределами площади исследований [4]. Методика также включает использование геоинформационной системы ArcGIS.

Технология ПК OKAP включает операции основных направлений вычислительной математики по 8 специализированным программам, реализующим различные алгоритмы парной и многомерной регрессии, расчет мер близости «эталон – испытуемый объект», классификацию объектов оценки по «средним эталонам» и их многомерно-регрессионную кластеризацию. При реализации методики моделями поискового (бассейнового) уровня являются массивы данных по обобщающей числовой

оценке структурных элементов и распределения угленосности по районам Южно-Якутского угольного бассейна.

Для работы с ПК OKAP_28_Large на основании геологических данных создается файл исходных данных, который далее последовательно обрабатывается по следующей технологии:

1. Исходные данные нормируются независимым образом для каждого столбца: обработка → нормировка → номера столбцов по гравиметрии (G), магнитометрии (M), рельефу (H). В результате столбцы модифицируются таким образом, чтобы весь набор имел нулевое среднее и единичную дисперсию.

2. Проводятся аппроксимация дискретных значений параметров и расчёт градиентов геологических характеристик фундамента на заданную сеть дискретно-непрерывной модели. Эта технология включает в себя следующее:

– в процессе диалога пользователь задает радиусы охвата для расчёта аппроксимации и градиентов: аппроксимация → топопокрытие и градиенты → радиус охвата → радиус градиента;

– для каждой i -й точки измерений находится набор точек, расстояние до которых от этой i -й точки не более заданного радиуса охвата;

– пользователю предоставляется возможность выбора метода аппроксимации между плоскостным методом и методом Криге: аппроксимация → топопокрытие и градиенты → метод расчёта;

– по методу наименьших квадратов строится плоскость $Z(x,y)$, наиболее точно описывающая поведение каждого признака в наборе.

Методика построения фундамента в пределах Южно-Якутского угольного бассейна состоит из трех этапов:

1) построение по имеющимся геологическим данным предварительного варианта карты глубин (H_f) и альтитуд (A_f) фундамента. С этой целью получены значения H_f и A_f в 60 тысячах точек сеточной основы 1×1 км в границах Усмунского и Алдано-Чульманского угленосных районов с обрамлением;

2) многовариантное моделирование поверхности фундамента Южно-Якутского угольного бассейна на основе многомерных зависимостей между величинами H_f , A_f и значениями геофизических покрытий – G , M , H , а также их производными – всего $21 \div 27$ сплошных информационных покрытий (числовая сводная матрица 5×5 км, 25 тысяч строк, $24 \div 30$ столбцов-характеристик);

3) сопоставление вариантов расчета глубин фундамента, управление процессом моделирования и оптимизация моделей, анализ конечных результатов и формулирование целевых геологических заключений.

Для решения задачи моделирования поверхности фундамента Южно-Якутского угольного бассейна все геологические информационные ресурсы рассматривались в конечном итоге как совокупность геологических моделей различных типов и назначений. Решение задачи поиска структурной компоненты в геофизических полях и уточнения на ее основе структурного плана угольных горизонтов достигалось в результате комплексной интерпретации данных геофизики и бурения. В основу интерпретации положена настройка геолого-геофизических связей на эталонном пространстве скважин, пробуренных на территории Южно-Якутского угольного бассейна, где изучаемая геологическая характеристика, т.е. глубина залегания угольных пластов, достоверно известна. Посредством такой настройки из геофизических полей извлекалась структурная компонента, наиболее тесно увязываемая с геологической структурой. Последующее уточнение структурного плана угольных комплексов пород в межскважинном пространстве осуществлялось по многомерной регрессии. В результате способом последовательных приближений создавались геологические модели каждого из изучаемых объектов с повышающейся степенью полноты, детальности, точности и достоверности. Последующие исследования охватывали всю территорию Южно-Якутского угольного бассейна.

Технология моделирования включала расчет более 30 вариантов моделей, в том числе:

1) с 4 вариантами погрешностей («зашумление») обучающей выборки значений глубин и альтитуд рельефа – 10, 20, 30, 50 %;

2) с 7 вариантами радиуса покрытия скользящего окна $R = 20, 30, 40, 60, 100, 150, 200$ км;

3) с двумя различными вариантами наборов факторов-характеристик – G, M, H , средние (G_s, M_s, R_s), дисперсии (SG, SM, SR), градиенты (dG, dM, dR) и т. д.

При построении первого исходного варианта геологической модели были взяты характеристики по скважинам для двух геологических профилей с геологической карты Алдано-Чульманского угленосного района. Внутри контура этого района добавлены расчётные точки с информацией по альтитууде и глубине фундамента, снятой с литолого-стратиграфического разреза. По Усмунскому, Гонамскому и Токинскому районам данные по альтитууде и глубине фундамента взяты из опубликованной литературы [1]. На анализируемый контур дополнительно были нанесены расчётные точки со значениями выхода фундамента на поверхность. Для создания *grid*-поверхностей альтитууды и глубины фундамента с использованием ArcGIS 9.3 строилась сеточная модель 1×1 км с внесением значений альтитууды и глубины фундамента по точ-

кам 1×1 км в контурах месторождений по свитам: юхтинская, дурайская, кабактинская.

Результатом построения первой исходной модели фундамента по Алдано-Чульманскому угленосному району явилась карта изолиний глубины фундамента, построенная с помощью метода Криге. Но эта модель считалась недостаточно объективной по причине её неоднозначности в установлении границ фундамента. Поэтому в результате всех расчётов в ArcGIS 9.3 первоначально был принят приближённый вариант геологической модели фундамента. Альтернативой этому варианту явилось применение программного комплекса OKAP_28_Large – «Обработка, корреляция, аппроксимация, распознавание», в котором заложен принцип решения задачи на основе многомерной регрессии как отображение геолого-геофизических закономерностей. Практическое решение здесь сводилось к созданию сводной матрицы (более 25 тыс. строк-точек на 31 характеристику). Сопоставление проведенных расчётов и результаты выборочных локальных регрессионных зависимостей показали хороший результат в скользящем окне. Частные статистические решения (способ статистических испытаний) – вычисление и результаты с изменяемыми размерами скользящего окна $R = 20, 30, 40, 60, 100, 150, 200$ км, вариантами производных покрытий (dG, dM, dR , вариантами погрешностей исходной выборки для рельефа – $H = 10, 20, 30, 50$ %) – дали практически одинаковые результаты.

На основе созданного сводного Excel-файла по нормированным значениям глубины фундамента Южно-Якутского угольного бассейна (матрица 5×5 км, 25 602 точек, многомерная регрессия в окне радиуса $R = 61$ км по 23 характеристикам) построена с помощью ГИС-технологий (ArcGIS 9.3) схема изменения альтитууды фундамента Южно-Якутского угольного бассейна (рис. 1).

На этой схеме показаны области максимального прогиба фундамента и наибольшего погружения депрессионных зон. Выделены области постепенного погружения кристаллического фундамента с севера на юг и, соответственно, постепенного увеличения мощности угленосных отложений за счёт наращивания разреза. Примечательно, что модель не показала наличия новых глубоких грабенов в ближайшем окружении Южно-Якутского угольного бассейна. Это следует из выделения зон выхода фундамента на поверхность рельефа, где значения альтитууды фундамента и рельефа совпадают.

На рис. 2 приведен пример получения нормированных значений глубины фундамента по результатам расчётов многомерной регрессии с радиусом $R = 63$ км. Отчетливо выделяются глубины залегания, в частности с параметром $H_f = 2000$ м.

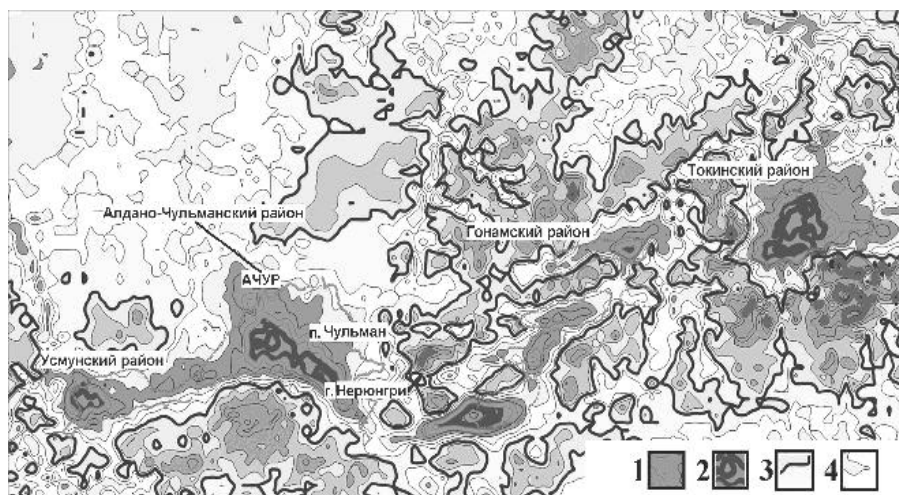


Рис. 1. Результаты расчётов альтитуды фундамента Южно-Якутского угольного бассейна по многомерной регрессии в окне радиуса $R = 61$ км по 23 характеристикам: 1 – области постепенного погружения кристаллического фундамента; 2 – области максимального прогиба фундамента и наибольшего погружения депрессионных зон; 3 – рельеф прилегающих территорий Южно-Якутского угольного бассейна (жирная линия $h = 1000$ м, тёмные цвета – горные участки $h > 1000$ м); 4 – рельеф прилегающих территорий Южно-Якутского угольного бассейна (светлые цвета – равнинные участки $h < 1000$ м)

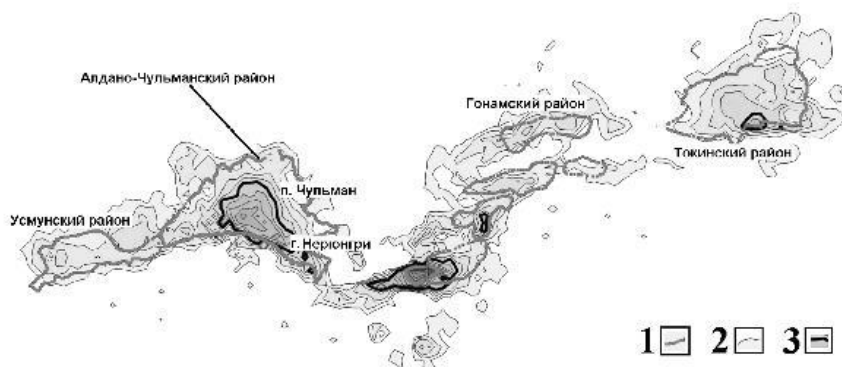


Рис. 2. Нормированные значения глубины фундамента Южно-Якутского угольного бассейна по результатам расчётов многомерной регрессии в окне радиуса $R = 63$ км: 1 – границы угольных районов Южно-Якутского угольного бассейна; 2 – изолинии глубин фундамента Южно-Якутского угольного бассейна; 3 – изолиния глубины фундамента 2000 м

Таким образом, анализ вариантов моделирования показал непротиворечивость геологического содержания получаемых вариантов моделей и возможность интерактивного управления процессом моделирования для экспертной оптимизации конечных результатов. Применена информационная технология моделирования целевых геологических параметров, основанная на использовании комплекса геолого-геофизических данных и современных программных средств (специализированных – OKAP_28_Large и геоинфор-

мационной системы ArcGIS). Получены непротиворечивые независимые оценки глубин и тектонических структур фундамента как для основных угленосных районов Южно-Якутского угольного бассейна, так и для прилегающих площадей его обрамления. Выявленные геолого-структурные закономерности могут быть использованы в качестве самостоятельного информационного блока при прогнозе угленосности слабоизученных территорий Южно-Якутского угольного бассейна.

Литература

1. Угольная база России. Т. V, кн. 2: Угольные бассейны и месторождения Дальнего Востока России (Республика Саха, Северо-Восток, о. Сахалин, п-ов Камчатка). М., 1999. 638 с.
2. Власов В.М. Строение и условия образования угленосной формации Южно-Якутского бассейна. Л., 1983.
3. Гребенников Г.А. Новые представления об условиях формирования и формационной принадлежности угленосных отложений Южно-Якутского бассейна // Тез. докл. VI Всесоюз. угольн. совещ. Ч. I. Львов, 1980.
4. Свидетельство ФАИС № 2013617557 от 20.08.2013 г. Программный комплекс ОКАР – «Обработка, корреляция, аппроксимация, распознавание» / Б.И. Журбицкий, Г.А. Жбанков. ВНИГРИуголь.

References

1. *Ugol'naya baza Rossii. T. V, kn. 2: Ugol'nye basseiny i mestorozhdeniya Dal'nego Vostoka Rossii (Respublika*

- Sakha, Severo-Vostok, o. Sakhalin, p-ov Kamchatka)* [Coal Russian base. Vol. 5, b. 2: Coal basins and deposits of the Far East of Russia (Republic of Sakha, Northeast, i. Sakhalin, p. Kamchatka)]. Moscow, 1999, 638 p.
2. Vlasov V.M. *Stroenie i usloviya obrazovaniya uglenosnoi formatsii Yuzhno-Yakutskogo basseina* [The structure and conditions of formation of coal-bearing formations of South-Yakutia basin]. Leningrad, 1983.
3. Grebennikov G.A. [New ideas about the conditions of formation and formation type of coal-bearing deposits of the South Yakutia Basin]. *Tez. dokl. VI Vsesoyuz. ugol'n. soveshch.* [Proc. rep. VI All-Union. coal. conference]. P. I. Lvov, 1980.
4. Zhurbitskii B.I., Zhibankov G.A. *Programmnyi kompleks OKAR – «Obrabotka, korrelyatsiya, approksimatsiya, raspoznavanie»* [Program complex IKAR – «Processing, correlation, approximation, recognition»]. VNIIGRIugol'. Certificate FAIS, no 2013617557, 20.08.2013.

Поступила в редакцию

12 февраля 2016 г.

УДК 556.53: 547.211: 661.249

DOI 10.18522/0321-3005-2016-1-95-100

О СВЯЗИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И СОДЕРЖАНИЯ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ГАЗОВ С СУЛЬФИТРЕДУЦИРУЮЩИМИ КЛОСТРИДИЯМИ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ МАЛЫХ РЕК*

© 2016 г. Ю.А. Федоров, М.А. Морозова, Р.Г. Трубник

Федоров Юрий Александрович – доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой физической географии, экологии и охраны природы, Институт наук о Земле Южного федерального университета, ул. Зорге, 40, г. Ростов-на-Дону, 344090, e-mail: fedorov@sfedu.ru

Морозова Марина Александровна – старший научный сотрудник, лаборатория болезней водных биоресурсов и объектов аквакультуры, Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, ул. Береговая, 21/в, г. Ростов-на-Дону, 344002, e-mail: morozova.q@mail.ru

Трубник Роман Геннадьевич – аспирант, кафедра физической географии, экологии и охраны природы, Институт наук о Земле Южного федерального университета, ул. Зорге, 40, г. Ростов-на-Дону, 344090, Россия, e-mail: truroman@sfedu.ru

Fedorov Yurii Aleksandrovich – Doctor of Geographical Science, Professor, Head of the Department of Physical Geography, Ecology and Environment, Institute of Earth Sciences of the Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: fedorov@sfedu.ru

Morozova Marina Aleksandrovna – Senior Researcher, Laboratory of Fish Diseases and Aquaculture, Azov Scientific Research Institute of Fisheries, Beregovaya St., 21v, Rostov-on-Don, 344002, Russia, e-mail: morozova.q@mail.ru

Trubnik Roman Gennad'evich – Post-Graduate Student, Department of Physical Geography, Ecology and Environment, Institute of Earth Sciences of the Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: truroman@sfedu.ru

На основании собственных данных оригинальных исследований донных отложений малых рек рассмотрена связь сульфитредуцирующих клостридий (*Clostridium perfringens*, *C. sporogenes*) со значениями pH и Eh, концентрацией метана и сероводорода. Построены регрессионные модели зависимости численности сульфитредуцирующих клостридий от уровней вышеперечисленных показателей. Получены относительно невысокие статистически достоверные значения коэффициента корреляции, что обусловлено влиянием различных факторов и процессов, которые затуманивают тесноту связи. Наличие этой связи указывает на возможное участие сульфитредуцирующих клостридий в образовании метана и сероводорода в аквальных ландшафтах.

Ключевые слова: сульфитредуцирующие клостридии, донные отложения, сероводород, метан, Восточный Донбасс, санитарно-показательные микроорганизмы.

Based on own data of the original research of bottom sediments small rivers was shows the connection between sulfite-reducing clostridia (*Clostridium perfringens*, *C. sporogenes*) with the values of pH and Eh, methane and hydrogen sulphide. The regression models dependence between the number of sulfite-reducing clostridia and above listed indicators were created. Relatively low correlation coefficients were obtained presumably due to the influence of different factors and processes that can to obscure the connection closeness. These relations point out the possible participation of sulfite-reducing clostridia in the generation of methane and hydrogen sulphide in aquatic landscapes.

Keywords: sulphite-reducing clostridia, bottom sediments, hydrogen sulfide, methane, Eastern Donbass, sanitary-indicatory microorganisms.

Исследования проводились на малых реках Восточного Донбасса (таблица, рис. 1). Данный регион является основной угольной сырьевой базой Юга России. Для подобных территорий характерна сложная экологическая обстановка, выраженная в мощном техногенном давлении на все без исключения компоненты природных ландшафтов. Подземные и поверхностные воды под воздействием агрессивных в геохимическом отношении шахтных вод в

значительной степени подвержены изменениям физико-химической обстановки. По данным [1, 2], впервые была установлена четкая обратная гиперболическая связь между содержанием сульфатных ионов и значениями pH в подземных и шахтных водах. Известно, что маслянокислые бактерии из р. *Clostridium*, сбраживают различные углеводы, осуществляют в водных экосистемах важнейший этап анаэробного распада органического вещества

*Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 16-05-00976.

и служат главными предшественниками сульфатредукторов и метаногенов [3]. В работах [4, 5] впервые на ограниченном материале была предпринята попытка рассмотреть связь физико-химических параметров и содержания восстановленных газов с сульфитредуцирующими кластридиями. В настоящей работе представлено расширенное и углубленное исследование, выполненное нами *in situ*, что отличает его от ранее выполненных экспериментов в лабо-

раторных условиях по изучению связи значений водородного показателя сточных вод с численностью *E. coli*. Это обстоятельство, а также то, что данные микроорганизмы, по мнению авторов [6], могут участвовать в образовании метана и сероводорода в аквальных ландшафтах, и послужили основанием для проведения оригинальных экспериментальных исследований на малых реках и водоемах Восточного Донбасса.

Результаты исследования донных отложений малых рек и водоемов Восточного Донбасса

№ станции	Место отбора проб	Горизонты, см	Eh, мВ	pH	CH ₄ , мкг/г	H ₂ S, мг/г	Сульфитр. кластридии, тыс. КОЕ/г
1	Устье р. Грушевки, х. Веселый (N 47°27'18,5" / E 39°59'37,6")	0–2	–11,7	7,67	7,60	0,72	10
		2–5	–93,5	7,66	4,67	0,9	100
		5–10	–120,0	7,81	2,12	1,49	100
		10–15	–123,0	7,84	1,50	1,73	10
		15–20	–141,6	7,72	1,11	2,16	0,5
2	Отстойник шахты «Южная» (N 47°41'25,4" / E 40°08'05,3")	0–2	–116,0	7,27	0,44	2,03	2,5
		2–5	–288,0	7,37	0,25	2,89	2,9
		5–10	–315,0	7,38	0,50	2,62	14
4	Артемовское водохранилище, г. Шахты (N 47°45'45,9" / E 40°17'41,2")	0–2	–50,0	7,45	9,33	1,08	90
		2–5	–113,0	7,55	12,1	0,77	1
		5–10	–50,0	7,59	14,8	0,49	9
		10–15	–135,0	7,80	21,2	0,52	4
		15–20	–170,0	7,58	16,4	0,21	1
5	Отстойник шахты «Аютинская» (N 47°38'53,9" / E 40°10' 36,8")	0–2	+103,0	7,65	0,10	<0,005	0,2
		2–5	+201,0	7,68	0,16	<0,005	1
		5–10	+204,0	7,32	0,15	<0,005	8,5
		10–15	+186,0	7,60	0,15	<0,005	1,3
		15–20	+162,0	7,37	0,22	<0,005	1
		20–25	+146,7	7,55	0,27	<0,005	1
6	Устье р. Аюты (N 47°34'00" / E 40°06'49,9")	0–2	–125,0	7,66	0,04	2,30	2
		2–5	–245,0	7,52	0,40	3,08	4,2
		5–10	–251,0	7,51	0,47	2,72	5,5
		10–15	–286,0	7,35	0,51	2,57	6
		15–20	–235,0	7,50	0,81	2,70	2,4
		20–25	–240,0	7,46	1,05	2,63	100
7	р. Глубокая, севернее г. Каменска-Шахтинского (N 48°25'42,4" / E 40°16'35,4")	0–2	–210,0	7,71	21,8	2,180	9000
		2–5	–225,5	7,60	26,8	2,210	450
		5–10	–161,0	7,60	12,9	2,130	650
		10–15	–171,0	7,55	9,36	1,840	450
		15–20	–170,0	7,59	10,2	1,890	30

Кластридии (лат. Clostridium) – грамположительные спорообразующие анаэробные бактерии, мета-

болически весьма разнообразны, широко распространены в природе, оптимальная температура для

роста 10–65 °С. Согласно определителю Берджи [7], этот род содержит более 100 видов сапрофитных и патогенных бактерий. К р. *Clostridium* относится группа сульфитредуцирующих бактерий, которые примерно на 90 % представлены видом *Clostridium perfringens* (от лат. *perfringo* – «потрясающий, прорывающий») [8]. Споры различных штаммов *C. perfringens* могут значительно отличаться друг от друга по термоустойчивости, отдельные штаммы выдерживают кипячение до 6 ч, менее термостойкие погибают через 15–60 мин [9].

Исследованием данных микроорганизмов занимаются ученые, специализирующиеся в различных областях наук. В медицинской и ветеринарной практике проводится диагностика клостридиозов. Наиболее известные из них – *C. botulinum* (возбудитель ботулизма), *C. tetani* (возбудитель столбняка), *C. septicum*, *C. perfringens* тип А, *C. oedematiens*, *C. novyi* (возбудители газовой гангрены), *C. difficile*, *C. perfringens* тип А (псевдомембранозного колита), *C. difficile* (антибиотикоассоциированных диарей), *C. perfringens* тип А (некротического энтерита, пищевой токсикоинфекции).

Жизнедеятельность клостридий осуществляется в анаэробных условиях и сопровождается выработкой токсинов, ферментов и белков, которые определяют газообразование и некроз в тканях, а также общее токсическое влияние на организм человека [10], животных [11] и гидробионтов [12]. В санитарной микробиологии определяют уровни микро-

биологической безопасности и контаминации сульфитредуцирующими клостридиями пищевой продукции, продовольственного сырья, воды и почвы [13]. Так, одним из показателей свежего фекального загрязнения почвы является высокое содержание вегетативных форм *C. perfringens* [14]. Существуют работы, в которых различные виды клостридий рассматриваются как перспективный субстрат для получения таких соединений, как этанол, бутанол, биоводород и др. [15].

Материал и методы

В период с 8 по 9 октября 2014 г. состоялась экспедиция, в ходе которой было отобрано 30 проб донных отложений на 7 станциях, расположенных в пределах малых рек и водоемов Восточного Донбасса (рис. 1). Пробы отобраны от 1 до 2 м от берега, на глубине до 1 м.

Отбор проб донных отложений производился с помощью специально сконструированной трубки из пластика с заостренными краями и поршнем для выдавливания керна [16].

Опробованы горизонты 0–2, 2–5, 5–10, 10–15 и 15–20 см на станциях № 1, 4 и 7; на станции № 5, 6 – также в слое 20–25 см; станция № 2 – только горизонты 0–2, 2–5, 5–10 см. В этих же горизонтах отложений определены величины Eh, pH, концентрации H₂S и CH₄, и КОЕ/г сульфитредуцирующих клостридий.

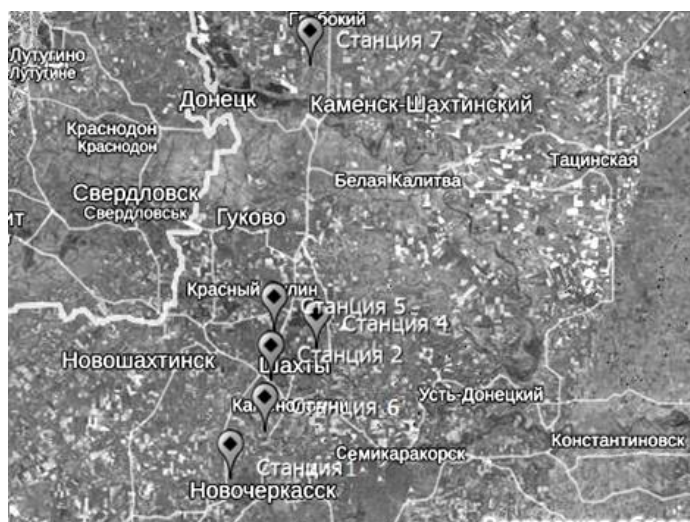


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб

Величины Eh и pH в донных осадках измерены с помощью электродов портативного pH-метра-иономера «Экотест-2000». Определение содержания метана и сероводорода в донных отложениях

проводили сотрудники Гидрохимического института (ФГБУ «ГХИ») по общепринятым методикам: метан – парофазным газохроматографическим методом [16, 17], сероводород – фотометрическим

методом с диметилпарафенилендиамином [18]. Обнаружение сульфитредуцирующих кластридий основано на выявлении способности этого микроорганизма на железосульфитном агаре и среде Вильсон – Блер восстанавливать тиосульфат натрия ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) до сульфида натрия (Na_2S), который, взаимодействуя с хлорным железом, приводит к образованию аморфного сульфида железа ($\text{FeS} \cdot n\text{H}_2\text{O}$), имеющего черный цвет [19].

Результаты исследования

Результаты исследования приведены в таблице. Анализ данных показал, что на всех станциях в донных отложениях присутствуют споры и вегетативные формы сульфитредуцирующих кластридий. Это свидетельствует не только о высокой их устойчивости во внешней среде, но и о длительном антропогенном прессинге на водоемы и водотоки. Значения pH на станциях отбора проб варьировались от 7,27 до 7,84 и характеризовались как слабощелочные. На всех станциях, кроме № 5 (отстойник шахты «Аютинская»), величины Eh изменялись в пределах от – 315 до – 11,7 мВ, что указывает на доминирование анаэробной обстановки в донных отложениях и благоприятные условия для развития кластридий.

В данной работе нами были построены регрессионные модели зависимости численности сульфитредуцирующих кластридий от гидрохимических показателей (pH, Eh) и уровней содержания метана и сероводорода в донных отложениях. В случае с pH зависимость была прямолинейной (рис. 2), и при коэффициенте корреляции (R), равном, 0,13 ($p > 0,05$), это указывало на слабую и незначительную связь между их количеством и ростом значений водородного показателя.

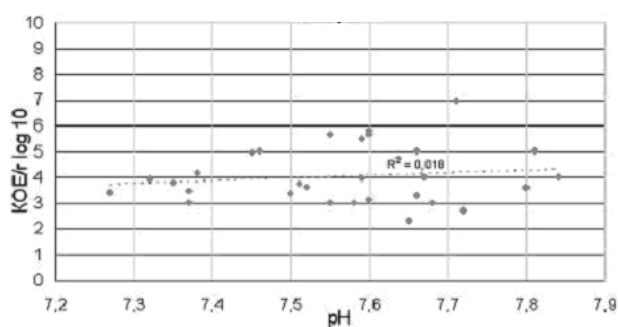


Рис. 2. График зависимости количества сульфитредуцирующих кластридий (КОЕ/г) от pH

Следует отметить, что в работе [20] была установлена значимая связь ($R = 0,83$) ($p \leq 0,01$) между

водородным показателем и численностью *E. coli* в сточных водах свинофермы.

Обратная прямолинейная зависимость между количеством кластридий и окислительно-восстановительным потенциалом характеризовалась (рис. 3) как средняя и значимая ($R = 0,39$) ($p < 0,05$).

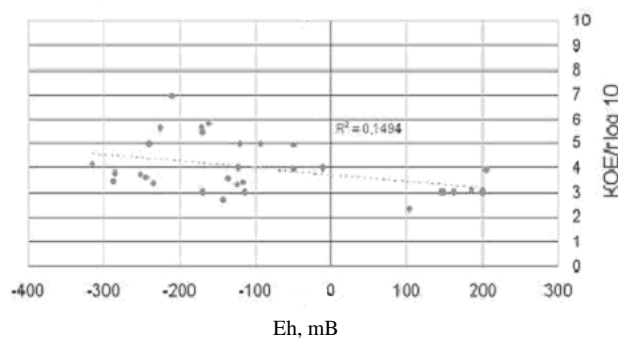


Рис. 3. График зависимости сульфитредуцирующих кластридий (КОЕ/г) от Eh

Метан и сероводород являются главными восстановленными газами водных экосистем, формирующихся в основном вследствие протекания в донных отложениях сложных метаболических процессов [21, 22].

Регрессионные модели зависимости количества сульфитредуцирующих кластридий от уровней содержания метана и сероводорода в донных отложениях отражают следующее: показана статистически достоверная зависимость между количеством кластридий и концентрацией сероводорода, коэффициент корреляции (r) составил 0,36 ($p \leq 0,05$) (рис. 4), а также установлены средние значения коэффициента корреляции ($R = 0,52$) ($p < 0,01$) между количеством сульфитредуцирующих кластридий и концентрацией метана в пробах (рис. 5).

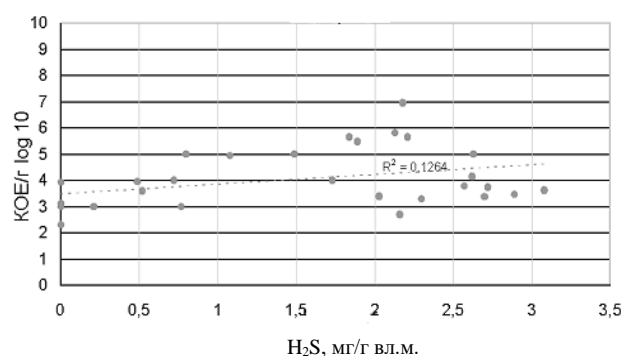


Рис. 4. График зависимости сульфитредуцирующих кластридий (КОЕ/г) от H_2S

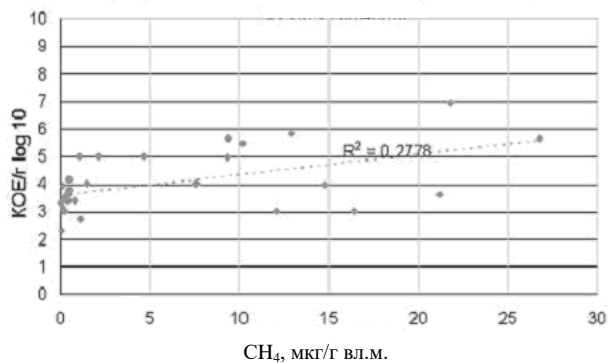


Рис. 5. График зависимости сульфитредуцирующих клостридий (КОЕ/г) от CH_4

Таким образом, впервые выполненные натурные исследования на водотоках и водоемах показали, что численность сульфитредуцирующих клостридий в донных осадках имеет тенденцию к возрастанию с ростом значений pH. Наличие выраженной связи между количеством клостридий, метаном и сероводородом указывает на возможное участие сульфитредуцирующих клостридий в образовании метана и сероводорода в аквальных ландшафтах, что позволяет по-новому осмыслить метаболический цикл данных газов в донных отложениях и сульфидных лечебных грязях пресноводных и морских экосистем, находящихся в зоне антропогенного влияния.

Относительно невысокие значения корреляции могут указывать на возможное влияние других факторов и процессов (например, низких температур, активности микроорганизмов), влияние которых затушевывает тесноту связи. Само же наличие сульфитредуцирующих клостридий в донных отложениях водных объектов Восточного Донбасса свидетельствует об антропогенном воздействии, например, хозяйственно-бытовых сточных и шахтных вод.

Литература

1. Гриненко В.А., Федоров Ю.А. Исследования взаимосвязи изотопного состава серы сульфатов с химическим составом шахтных вод Восточного Донбасса // Водные ресурсы. 1990. № 6. С. 152–161.
2. Федоров Ю.А. Стабильные изотопы и эволюция гидросферы. М., 1999. 370 с.
3. Дзюбан А.Н. Маслянокислые бактерии, относящиеся к роду *Clostridium*, в донных отложениях внутренних водоемов разного типа // Микробиология. 2005. Т. 74, № 1. С. 119–125.
4. Федоров Ю.А., Морозова М.А., Трубник Р.Г. Клостридии: распределение, связь с гидрохимическими показателями, метаном и сероводородом в водных объектах Восточного Донбасса // Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод: материалы науч. конф. с междунар. участием Ч. 1. Ростов н/Д., 8–10 сентября 2015 г. Ростов н/Д., 2015. С. 270–274.
5. Дмитрик Л.Ю., Трубник Р.Г., Афанасьев К.А., Гарькуша Д.Н., Федоров Ю.А. Экспедиционные исследования малых рек и водоемов Восточного Донбасса в 2014–2015 годах // Экологические проблемы. Взгляд в будущее: сб. тр. VII Междунар. науч.-практ. конф. Ростов н/Д., 2015. С. 137–139.
6. Трубник Р.Г., Федоров Ю.А., Морозова М.А. Распределение сульфитредуцирующих клостридий в донных отложениях водных объектов Восточного Донбасса и их связь с гидрохимическими показателями // Актуальные проблемы наук о Земле: сб. тр. науч. конф. студентов и молодых ученых с междунар. участием Ростов н/Д., 2015. С. 247–250.
7. Определитель бактерий Берджи: в 2 т. Т. 2 / пер. с англ.; под ред. Дж. Хоулта, Н. Крига, П. Снита и др. М., 1997. 368 с.
8. Пученкова С., Виннов А. Сульфитредуцирующие клостридии в упакованной рыбной продукции // Продовольства индустрия АПК. 2011. № 5 (13). С. 32–34.
9. Пилипенко И.В. *Clostridium perfringens*: характеристика, биологическое действие, индикация в пищевых продуктах // Технологический аудит и резервы производства. 2015. № 2/4 (22). С. 4–8.
10. Былова Н.А., Кафарская Л.И., Черная З.А. Роль *Cl. difficile* в развитии системного воспаления у часто госпитализирующихся пациентов с ХСН // Сердечная недостаточность. 2011. Т. 12, № 1. С. 31–35.
11. Шевченко А.А., Черных О.Ю., Шевченко Л.В. [и др.] Диагностика клостридиозов животных. Краснодар, 2013. 36 с.
12. Морозова М.А., Федоров Ю.А. Роль сульфитредуцирующих клостридий в патологии у рыб // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2015. № 1. С. 60–66.
13. Guran H.S., Vural A., Erkan M.E. The prevalence and molecular typing of *Clostridium perfringens* in ground beef and sheep meats // J. of Consumer Protection and Food Safety. 2014. Vol. 9. P. 121–128.
14. Руководство по медицинской микробиологии. Общая и санитарная микробиология / под ред. А.С. Лабинской, Е. Г. Волиной. М., 2008. 1080 с.
15. Regestein L., Doerr E. W., Staaden A., Rehmann L. Impact of butyric acid on butanol formation by *Clostridium pasteurianum* // Bioresource Technology. 2015. Vol. 196. P. 153–159.
16. Гарькуша Д.Н., Федоров Ю.А., Хромов М.И. Метан в воде и донных отложениях устьевой области Северной Двины (Белое море) // Океанология. 2010. Т. 50, № 4. С. 534–547.
17. Федоров Ю.А., Тамбиева Н.С., Гарькуша Д.Н., Хорошевская В.О. Метан в водных экосистемах. Ростов н/Д.; М., 2005. 329 с.
18. РД 52.24.525-2011. Массовая доля сульфидной серы в донных отложениях. Методика выполнения измерений фотометрическим методом с N, N-ди-метил-п-фенилендиамином. Росгидромет (ГУ ГХИ). 2011. 26 с.
19. ГОСТ 10444.9-88. Продукты пищевые. Метод определения *Clostridium perfringens*.
20. McLaughlin M.R., Brooks J.P., Adeli A. Temporal flux and spatial dynamics of nutrients, fecal indicators, and zoonotic pathogens in anaerobic swine manure lagoon water // Water Research. 2012. Vol. 46. P. 4949–4960.

21. Федоров Ю.А., Гриненко В.А., Устинов В.И. Особенности фракционирования изотопов серы и кислорода сульфатов озера Большой Тамбукан // Геохимия. 2004. № 1. С. 111–115.
22. Федоров Ю.А., Потапов Е.Г., Данилов С.Р., Салов Г.В. Особенности динамики гидрологических параметров, гидрохимических, биогеохимических показателей и компонентов рапы и сульфидной грязи оз. Большой Тамбукан // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2002. Юбилейный выпуск. С. 72–76.
10. Bylova N.A., Kafarskaya L.I., Chernaya Z.A. Rol' Cl. difficile v razvitií sistemnogo vospaleniya u chasto gospi-taliziruyushchikhsya patsientov s KhSN [The role Cl. difficile in the development of systemic inflammation among frequently hospitalized patients with heart failure]. *Serdechnaya nedostatochnost'*, 2011, vol. 12, no 1, pp. 31-35.
11. Shevchenko A.A., Chernykh O.Yu., Shevchenko L.V. i dr. *Diagnostika klostridiozov zhivotnykh* [Diagnostics of klostridioz among animals]. Krasnodar, 2013, 36 p.
12. Morozova M.A., Fedorov Yu.A. Rol' sul'fitredutsiruyushchikh klostridii v patologii u ryb [The role of sulfite-reducing clostridia in the pathology of fishes]. *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestv. nauki*, 2015, no 1, pp. 60-66.
13. Guran H.S, Vural A., Erkan M.E. The prevalence and molecular typing of Clostridium perfringens in ground beef and sheep meats. *J. of Consumer Protection and Food Safety*, 2014, vol. 9, pp. 121-128.
14. *Rukovodstvo po meditsinskoj mikrobiologii. Obshchaya i sanitarnaya mikrobiologiya* [Manual of medical microbiology. General and sanitary microbiology]. Ed. A.S. Labinskaya, E.G. Volina. Moscow, 2008, 1080 p.
15. Regestein L., Doerr E. W., Staaden A., Rehmann L. Impact of butyric acid on butanol formation by Clostridium pasteurianum. *Bioresource Technology*, 2015, vol. 196, pp. 153-159.
16. Gar'kusha D.N., Fedorov Yu.A., Khromov M.I. Metan v vode i donnykh otlozheniyakh ust'evoi oblasti Severnoi Dviny (Beloe more) [The methane in water and bottom sediments of the Northern Dvina mouth area (White Sea)]. *Okeanologiya*, 2010, vol. 50, no 4, pp. 534-547.
17. Fedorov Yu.A., Tambieva N.S., Gar'kusha D.N., Khoro-shevskaya V.O. *Metan v vodnykh ekosistemakh* [The methane in aquatic ecosystems]. Rostov-on-Don, Moscow, 2005, 329 p.
18. *Massovaya dolya sul'fidnoi sery v donnykh otlozheniyakh. Metodika vypolneniya izmerenii fotometricheskim metodom s N, N-di-metil-p-fenilendiaminom* [Mass fraction of sulphate sulfur in bottom sediments. The technique of measurement photometric method with N, N-di-methyl-p-phenylenediamine]. Certificate, no 52.24.525-2011. Rosgidromet (GU GKHI). 2011, 26 p.
19. *Produkty pishchevye. Metod opredeleniya Clostridium perfringens* [Food products. Method for the determination of Clostridium perfringens]. Certificate, no 10444.9-88.
20. *McLaughlin M.R., Brooks J.P., Adeli A.* Temporal flux and spatial dynamics of nutrients, fecal indicators, and zoonotic pathogens in anaerobic swine manure lagoon water. *Water Research*, 2012, vol. 46, pp. 4949-4960.
21. Fedorov Yu.A., Grinenko V.A., Ustinov V.I. Osobennosti fraktsionirovaniya izotopov sery i kisloroda sul'fatov ozera Bol'shoi Tambukan [Features fractionation of sulfur and oxygen isotopes at lake sulfates Big Tambukan]. *Geokhimiya*, 2004, no 1, pp. 111-115.
22. Fedorov Yu.A., Potapov E.G., Danilov S.R., Salov G.V. Osobennosti dinamiki gidrologicheskikh parametrov, gidrokhimicheskikh, biogeochemicheskikh pokazatelei i komponentov rapy i sul'fidnoi gryazi oz. Bol'shoi Tambukan [Features of dynamics of hydro-geological parameters, hydrochemical, biogeochemical indicators and brine components and sulphide mud lake Large Tambukan]. *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestv. nauki*, 2002, anniversary issue, pp. 72-76.

References

1. Grinenko V.A., Fedorov Yu.A. Issledovaniya vzaimosvyazi izotopnogo sostava sery sul'fatov s khimicheskim sostavom shakhtnykh vod Vostochnogo Donbassa [Researches the relationship of the isotopic composition of sulfate sulfur with chemical composition mine waters of the Eastern Donbass]. *Vodnye resursy*, 1990, no 6, pp. 152-161.
2. Fedorov Yu.A. *Stabil'nye izotopy i evolyutsiya gidrosfery* [Stable isotopes and the evolution of the hydrosphere]. Moscow, 1999, 370 p.
3. Dzyuban A.N. Maslyanokislye bakterii, odnosyashchiesya k rodu Clostridium, v donnykh otlozheniyakh vnutrennikh vodoemov raznogo tipa [Butyric acid bacteria belonging to the genus of Clostridium, in bottom sediments of inland waters bodies different types]. *Mikrobiologiya*, 2005, vol. 74, no 1, pp. 119-125.
4. Fedorov Yu.A., Morozova M.A., Trubnik R.G. [Clostridium: distribution, relations with hydrochemical indicators, methane and hydrogen sulfide in the water objects of Eastern Donbass]. *Sovremennyye problemy gidrokhimii i monitoringa kachestva poverkhnostnykh vod* [Modern problems of hydrochemistry and monitoring of surface water quality]. Proceedings of the scientific conference. P. 1. Rostov-on-Don, 8-10 September 2015. Rostov-on-Don, 2015, p. 270-274.
5. Dmitrik L.Yu., Trubnik R.G., Afanas'ev K.A., Gar'kusha D.N., Fedorov Yu.A. [Expeditionary researches of small rivers and reservoirs of Eastern Donbass in 2014-2015]. *Ekologicheskie problemy. Vzgl'yad v budushchee* [Environmental problems. A look into the future]. Coll. tr. VII Intern. scientific-practical. conf. Rostov-on-Don, 2015, pp. 137-139.
6. Trubnik R.G., Fedorov Yu.A., Morozova M.A. [Distribution of sulphite-reducing clostridia in bottom sediments of the Eastern Donbass water bodies and their connection to hydrochemical indicators]. *Aktual'nye problemy nauk o Zemle* [Actual problems of Earth Sciences]. Coll. tr. scientific conf. students and young scientists with intern. participation. Rostov-on-Don, 2015, pp. 247-250.
7. *Opredelitel' bakterii Berdzhii* [The determinant of bacteria Burgi]. Vol. 2. Transl. from Engl. Ed. J. Holt, N. Krieg, P. Snit. Moscow, 1997, 368 p.
8. Puchenkova S., Vinnov A. Sul'fitredutsiruyushchie klostridii v upakovannoi rybnoi produktsii [Sulphite-reducing clostridia in packaged fish products]. *Prodovol'cha industriya APK*, 2011, no 5 (13), pp. 32-34.
9. Pilipenko I.V. Clostridium perfringens: kharakteristika, biologicheskoe deistvie, indikatsiya v pishchevykh produktakh [Clostridium perfringens: characteristic, biological action, the indication in foods]. *Tekhnologicheskii audit i rezervy proizvodstva*, 2015, no 2/4 (22), pp. 4-8.

ЗАМЕТКИ О КНИГАХ

DOI 10.18522/0321-3005-2016-1-101-102

ПРИРОДНЫЕ БОГАТСТВА ДОНСКОЙ ЗЕМЛИ («Живая природа Манычской долины»)

Природа Дона отличается обилием ландшафтов и водоемов, многообразием растительного и животного мира, богатейшими природными ресурсами. Неудивительно, что она исторически привлекала к себе многие кочевые и оседлые народы. И сегодня наши степи являются важнейшими поставщиками хлеба, подсолнечного и сливочного масла, мяса, каменного угля, строительных материалов, электроэнергии и иных продуктов для России и других стран. Природные ресурсы являются богатством и одновременно из-за неразумного их использования – бедой Донской земли. Интенсивная, нередко стихийная и безграмотная антропогенная эксплуатация этих ресурсов приводит к истощению почвы, загрязнению воздуха, воды и земли, сокращению биоразнообразия и нарушению его средообразующей, ресурсной, информационной, духовно-эстетической функций. Результат экологического кризиса – падение плодородия почв, утрата рыбных и охотничьих ресурсов, возрастание роли патогенных микроорганизмов, сорняков, вредителей культурных растений, паразитов и переносчиков болезней человека и животных, другие негативные явления. Неблагоприятная экологическая ситуация в той или иной мере имеет место и в других регионах страны. Неудивительно, что решением президента России В.В. Путина 2017 г. объявлен Годом экологии. Руководитель Администрации Президента РФ С.Б. Иванов должен возглавить комитет по его подготовке и проведению.

Многие люди, критикуя экологическую ситуацию и нередко смирившись с ней, по тем или иным причинам имеют слабые знания о биоразнообразии Донской земли. Отсюда и пассивное их отношение к охране природы. Возможно, для знакомства с разнообразием ландшафтов, растительным и животным миром они выезжают на Кавказ, Черное море, озеро Байкал, в Крым, Карелию и за границу. Природа Донской земли не менее красива и богата биоразнообразием, чем в других регионах, но её надо знать и видеть. Без этого невозможны бережное отношение людей к окружающим природным ресурсам, их рачительное использование, сохранение и восстановление.

Для лучшего знакомства населения и гостей Дона с многообразием наших естественных и антропогенных экосистем, возможностями рационального их использования и восстановления ассоциация «Живая природа степи» в конце 2015 г. подготовила и издала уникальный фотоальбом «Живая природа Манычской долины». Его первое издание вышло к саммиту «Россия – ЕС» (г. Ростов-на-Дону, 2010 г.) и стало официальным изданием саммита (тираж 2000 экз.). Книга передана в публичные библиотеки, школы и вузы, различные природоохранные организации; она стала призом для победителей различных экологических конкурсов. В течение года фотоальбом стал дефицитным, и в 2012 г. ассоциация выпустила электронный вариант фотоальбома.

За прошедший после выпуска книги период ассоциация и заповедник выполнили большой объем работы по сохранению и восстановлению живой природы. Регулярно проводились различные природоохранные конференции и совещания, включая международные; каждый год проходят фестивали «Воспетая степь», десятки тысяч экологов ежегодно посещают Манычскую долину. В октябре 2015 г. ассоциация организовала экологический форум «У нас одна Земля. В гармонии с природой» с участием многих отечественных и зарубежных политических деятелей, известных ученых и специалистов, представителей различных общественных организаций. Все это отражено во втором издании фотоальбома «Живая природа Манычской долины». В нем дополнен и отредактирован текст, заменена значительная часть фотографий, книга прекрасно иллюстрирована и оформлена.

В фотоальбоме на английском и русском языках описаны природные богатства Манычской долины, в которой расположены рапсарские водно-болотные угодья международного статуса «Озеро Маныч-Гудило» и «Веселовское водохранилище». Долина является важнейшим миграционным путем большинства видов водоплавающих и других птиц центральных, восточных и северных регионов России, включая промысловых (серого и белолобого гусей, крякву, нырков, чирков и т.д.) и краснокнижных (краснозобую казарку,

пискульку, савку, кулика-сороку, канюка-курганника и др.). Многие виды размножаются (розовый и кудрявый пеликаны, колпица, каравайка, чеграва и т.д.). Сохранились ушастый еж, корсак, большой тушканчик, земляной зайчик и некоторые животные, уже не встречающиеся в других районах европейских степей.

Большое внимание в фотоальбоме уделено результатам природоохранной работы, вопросам сохранения, восстановления и разумного использования биоресурсов. Активная деятельность ассоциации «Живая природа степи» и заповедника «Ростовский» позволила восстановить естественную степь, сохранить и увеличить количество стрепета,

серой куропатки, журавля-красавки, черноголового хохотуна и многих других. Цветные фотографии фотоальбома воспроизводят красоту и богатства многочисленных ландшафтов и водоемов Маныча в разное время года, показывают прекрасные солнечные закаты, обилие и разнообразие восстановленного растительного и животного мира, мустангов и сайгаков, а также возможности активного использования природных ресурсов без нанесения им ущерба.

Фотоальбом предназначен для всех интересующихся красотой, разнообразием и богатством степей, желающих их лучше узнать, разумно использовать и активно сохранять.

В.А. Миноранский

**НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЖУРНАЛ
ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ.
СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ РЕГИОН. ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ**

Журнал «Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки», имеющий статус центрального издания, включенного в перечень ВАК, продолжает прием работ по следующим отраслям науки:

- | | |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Физико-математические науки (математика, механика). 2. Биологические науки (общая биология, физико-химическая биология). | <ol style="list-style-type: none"> 3. Науки о Земле. <p>Также публикуются материалы в разделах:</p> <ul style="list-style-type: none"> – заметки о книгах; – научная жизнь. |
|--|--|

Журнал издается с периодичностью 4 номера в год. Помимо основных номеров выходят специальные тематические выпуски, посвященные разным научным направлениям, работам отдельных организаций, а также научные труды вузов, приуроченные к юбилейным датам. С электронной версией журнала можно ознакомиться на сайте Научной электронной библиотеки www.elibrary.ru.

Авторы, сохраняя за собой авторские права на работу, и передавая журналу «Известия вузов. Северо-Кавказский регион» право первой публикации, автоматически принимают на себя обязательство не печатать ее ни полностью, ни частично в каком-либо издании без указания ссылки на оригинальную публикацию в этом журнале.

Публикация материалов, на которые получена положительная рецензия, оплачивается лично автором или организацией. Стоимость работ – договорная.

Оформление работ осуществляется согласно правилам:

1. Статья – 2 экз. В начале статьи указать индекс УДК.
2. Электронный вариант статьи на диске. Текст должен быть набран в редакторе MicroSoft Office 98 Word 2000, 2003, 2007 через 1,5 интервала, шрифтом Times New Roman размером 14 пт, страницы пронумерованы. **Для записи формул применять только редактор формул Equation 3.0.**
3. Сопроводительное или рекомендательное письмо, если статья представляется от организации.
4. Полное название организации и ее адрес на русском и английском языках.
5. Сведения об авторах с указанием адреса, по которому будет вестись переписка, на русском и английском языках.
6. Название статьи и фамилии авторов на русском и английском языках.
7. Аннотация на русском и английском языках (500 знаков/10 строк).
8. Ключевые слова на русском и английском языках.

Журнал распространяется по подписке – через ОАО «Роспечать» в подписной период. Подписной индекс – 70415 (подписка на полугодие).

В неподписной период отдельные номера журнала за нынешний и прошлые годы можно приобрести в редакции.

Адрес для переписки: 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, 105/42, ЮФУ.

Редакция журнала «Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки».

тел. 218-40-00 доб. 11-093 или тел. 218-40-00 доб. 11-094.

E-mail: izvestiya@sfedu.ru

Адрес в интернете: www.izvestiya.sfedu.ru