

## СОДЕРЖАНИЕ

---

---

2016. № 4

---

---

### МАТЕМАТИКА, МЕХАНИКА

<i>М.А. Ильгамов</i> Аппроксимация функции потенциала скорости в задачах гидроупругости .....	5
<i>А.А. Аганин, А.И. Давлетиин</i> Уточненная модель пространственного взаимодействия сферических газовых пузырьков .....	9
<i>В.Ш. Шагапов, М.Н. Галимзянов, М.Н. Запивахина</i> Моделирование процесса образования льда при нагнетании воды в сухую пористую среду .....	14
<i>Р.Ш. Гимадиев</i> Сопряжения конической и цилиндрической поверхностей .....	19
<i>А.А. Аутбаева</i> Определение коэффициента постели упругого основания балки с шарнирно закрепленными концами по собственным частотам ее колебаний .....	23
<i>Sh.U. Galiev, T. Sh. Galiyev</i> Simple model of the origin of the Universe .....	27
<i>М.М. Шакирьянов</i> Пространственные хаотические колебания трубопровода в сплошной среде под действием переменного внутреннего давления .....	35

---

### БИОЛОГИЯ, БИОХИМИЯ И ГЕНЕТИКА

<i>А.А. Айыдов</i> <i>Droperhylla pulchella</i> Jászay & Hlaváč, 2006 (Coleoptera, Staphylinidae: Omaliinae) – новый для фауны России и Северного Кавказа вид стафилинид .....	48
<i>В.В. Коробов, Н.В. Жарикова, Е.Ю. Журенко, Т.Р. Ясаков,</i> <i>А.И. Сагитова, С.Н. Стариков, Т.В. Маркушева</i> <i>Lysinibacillus</i> sp. CZ31H – штамм-деструктор хлорфеноксикислот .....	51
<i>А.Ж. Жашуев, Р.Х. Пшегусов</i> Эколого-географический анализ избранных видов печеночников природных и антропогенных экосистем зоны рекреации на Центральном Кавказе .....	56

<i>Н.Л. Цепкова</i> К синтаксономии мезофильных лугов Центрального Кавказа (в пределах Кабардино-Балкарии) .....	62
<i>Ф.К. Мурзабулатова, Н.В. Полякова</i> Коллекционный фонд рода гортензия ( <i>Hydrangea</i> L.) в Ботаническом саду-институте Уфимского научного центра РАН .....	69
<i>А.И. Бастраков, А.Е. Донцов, Н.А. Ушакова</i> Муха черная львинка <i>Hermetia illucens</i> в условиях искусственного разведения – возобновляемый источник меланин-хитозанового комплекса .....	77

---

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ

<i>Р.Ф. Абдрахманов, В.Г. Попов</i> Карстогенные полезные ископаемые Южного Предуралья и Урала .....	80
<i>А.В. Сначёв, В.И. Сначёв</i> Прогнозные ресурсы золота в углеродистых отложениях городищенской свиты (Зауральское поднятие) .....	88
<i>В.Г. Попов</i> Формирование и возраст рассолов Волго-Уральского бассейна в связи с нефтегазоносностью .....	94

---

## ИСТОРИЯ, АРХЕОЛОГИЯ, ЭТНОЛОГИЯ

<i>А.Б. Юнусова</i> Электронный ресурс «Ислам на Южном Урале» .....	102
<i>И.Г. Петров</i> Покрывало невесты в свадебной обрядности чувашей: функции и семантика .....	110
<i>Е.Е. Нечвалода</i> Русское село Карлыханово в начале XX века в сочинении П.М. Кучина .....	115
<i>Ф.Г. Галиева</i> Обереги современных башкир в контексте этнокультурных взаимодействий .....	122

# CONTENTS

---

---

2016. № 4

---

---

## MATHEMATICS, MECHANICS

<i>M.A. Ilgamov</i> Approximation of the function of velocity potential in the problems on hydroelasticity .....	5
<i>A.A. Aganin, A.I. Davletshin</i> A refined model of spatial interaction of spherical gas bubbles .....	9
<i>V.Sh. Shagapov, M.N. Galimzyanov, M.N. Zapivakhina</i> Simulation of the process of ice formation during the injection of water into dry porous medium .....	14
<i>R.Sh. Gimadiev</i> Interface between conical and cylindrical surfaces .....	19
<i>A.A. Aitbaeva</i> Determination of the bed coefficient for a beam hinged on elastic foundation using natural frequencies of its vibrations .....	23
<i>Sh.U. Galiev, T.Sh. Galiyev</i> Simple model of the origin of the Universe .....	27
<i>M.M. Shakiryaynov</i> Spatial chaotic vibrations of a pipeline in the continuous medium under the impact of alternating internal pressure .....	35

---

## BIOLOGY, BIOCHEMISTRY AND GENETICS

<i>A.A. Aiydov</i> <i>Dropephylla pulchella</i> Jászay & Hlaváč, 2006 ( <i>Coleoptera, Staphylinidae, Omaliinae</i> ), a new species of rove beetles for the fauna of Russia and the North Caucasus .....	48
<i>V.V. Korobov, N.V. Zharikova, E.Yu. Zhurenko, T.R. Yasakov,</i> <i>A.I. Sagitova, S.N. Starikov, T.V. Markusheva</i> New chlorophenoxyacetic acid-degrading bacterial strain <i>Lysinibacillus</i> sp. CZ31H .....	51
<i>A.Zh. Zhashuev, R.Kh. Pshegusov</i> Environmental and geographical analysis of some liverwort species from natural and anthropogenic ecosystems of the recreation zone in the Central Caucasus .....	56
<i>N.L. Tsepkova</i> On syntaxonomy of mesophilic meadows of the Central Caucasus (within Kabardino-Balkaria) .....	62

<i>F.K. Murzabulatova, N.V. Polyakova</i> Collection of the genus <i>Hydrangea</i> L. in the Botanical Garden-Institute, Ufa Scientific Centre, Russian Academy of Sciences .....	69
<i>A.I. Bastrakov, A.E. Dontsov, N.A. Ushakova</i> Black soldier fly <i>Hermetia illucens</i> under in vitro breeding as a renewable source of melanin-chitosan complex .....	77

---

### EARTH SCIENCES

<i>R.F. Abdrakhmanov, V.G. Popov</i> Minerals of karst genesis in the southern Cis-Urals and the Urals .....	80
<i>A.V. Snachev, V.I. Snachev</i> Inferred gold resources in carbonaceous deposits of the Gorodishche Formation (Trans-Ural Uplift) .....	88
<i>V.G. Popov</i> Brine formation and age in the Volga-Ural basin in relation to oil and gas content .....	94

---

### HISTORY, ARCHAEOLOGY, ETHNOLOGY

<i>A.B. Yunusova</i> Islam in the South Urals: Spatial analysis .....	102
<i>I.G. Petrov</i> Bridal veil in the wedding tradition of the Chuvashes: Functions and Semantics .....	110
<i>E.E. Nechvaloda</i> The Russian village of Karlykhanovo in the early 20th century according to the memoirs of P.M. Kuchin .....	115
<i>F.G. Galieva</i> Amulets and talismans of modern-day Bashkirs in the context of ethnocultural interactions .....	122

УДК 532.5; 539; 534.1

## АППРОКСИМАЦИЯ ФУНКЦИИ ПОТЕНЦИАЛА СКОРОСТИ В ЗАДАЧАХ ГИДРОУПРУГОСТИ

© М.А. Ильгамов

Рассматривается вопрос о сопряжении решений для упругой пластины и контактирующих по обеим ее поверхностям жидкостей разных плотностей. Решения для этих сред представляются по собственным функциям вдоль контактных поверхностей. Рассматривается точное решение линейной динамической задачи для протяженных областей с периодической структурой, а также приближенное решение задачи для случая ограниченной области, занятой жидкостью. Дается сравнение этих решений, которые сводятся к определению присоединенных масс жидкостей.

Ключевые слова: взаимодействие пластины и жидкости, разные плотности, динамика, неустойчивость, потенциал скорости в жидкости.

При сопряжении решений на контактной поверхности упругого тела и жидкости возникает необходимость переразложения собственных функций одной среды по собственным функциям другой среды. Это приводит к системе уравнений [1]. Такая трудность не возникает только в случае периодических структур неограниченной протяженности, когда собственные функции для обеих сред совпадают.

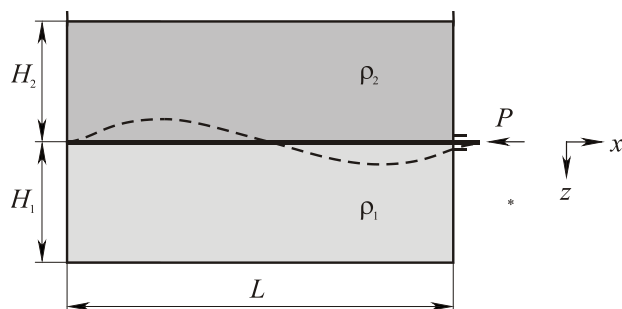


Рис. 1

1. В [2, 3] рассматривалась задача о взаимодействии упругой и гидродинамической неустойчивостей в системе, показанной на рис. 1. Плоская линейная задача включает уравнения изгиба тонкой пластины относительно функции прогиба  $w(x, t)$

$$D \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + P \frac{\partial^2 (w_0 + w)}{\partial x^2} + \rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = \rho G h + p \quad (1.1)$$

$(0 \leq x \leq L)$

и уравнения движения контактирующих с ней идеальных несжимаемых жидкостей разной

плотности относительно потенциалов скоростей  $\varphi_1(x, z, t)$  и  $\varphi_2(x, z, t)$

$$\nabla^2 \varphi_i = 0, \quad p_i = -\rho_i \partial \varphi_i / \partial t \quad (i = 1, 2). \quad (1.2)$$

Здесь  $D, h, L$  – изгибная жесткость, толщина и длина пластины,  $P$  – сжимающая сила,  $\rho, \rho_1, \rho_2$  – плотности пластины и жидкостей,  $G$  – ускорение, направленное перпендикулярно плоскости пластины,  $p$  – перепад давлений со стороны жидкостей

$$p = p_2 - p_1 = G(\rho_2 - \rho_1)(w_0 + w) - G\rho h + \rho_1 \partial \varphi_1 / \partial t - \rho_2 \partial \varphi_2 / \partial t. \quad (1.3)$$

Принимаются условия относительно начального и текущего прогибов  $w_0(x)$  и  $w(x, t)$

$$w_0 = 0, \quad \partial^2 w_0 / \partial x^2 = 0 \quad (x = 0, L), \quad (1.4)$$

$$w = 0, \quad \partial^2 w / \partial x^2 = 0 \quad (x = 0, L),$$

и с условия относительно потенциалов  $\varphi_i(x, z, t)$

$$\partial \varphi_i / \partial z = \partial w / \partial t \quad (z = 0), \quad (1.5)$$

$$\partial \varphi_i / \partial x = 0 \quad (x = 0, L). \quad (1.6)$$

Ставятся условия замкнутости нижней полости

$$\int_0^L w dx = 0 \quad (1.7)$$

и затухания решений  $\varphi_i(x, z, t)$  вдали от пластины. Начальные условия являются нулевыми (кроме заданного начального прогиба  $w_0(x)$ ).

Условиям (1.4) удовлетворяют функции

$$w_0 = W_{0n} \sin n\beta x, \quad (1.8)$$

$$w = W_n \sin n\beta x \quad (\beta = \pi/L),$$

причем согласно (1.7) число полувольт  $n = 2, 4, \dots$

В [2, 3] функции  $\varphi_i(x, z, t)$  по  $x$  были приняты совпадающими с функцией  $w(x)$  по (1.8). Тогда получается выражение

$$\varphi_i = \Phi_i(t) \exp\left((-1)^i n\beta z\right) \sin n\beta x \quad (n = 2, 4, \dots), \quad (1.9)$$

которое является решением уравнения  $\nabla^2 \varphi_i = 0$  для обеих областей, затухающим при удалении от пластины.

При задании функции  $w(x, t)$ ,  $\varphi_i(x, 0, t)$  в виде (1.8), (1.9) точно удовлетворяются условия (1.5), уравнения (1.3) и  $\nabla^2 \varphi_i = 0$ , однако не удовлетворяются условия (1.6) на жестких вертикальных краях обеих областей.

Из (1.5), (1.8), (1.9) получаем при  $z = 0$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = (-1)^i \frac{\rho_i}{n\beta} \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \quad (i = 1, 2) \quad (1.10)$$

и в случае  $P = 0$ ,  $G = 0$  ( $t < 0$ ),  $P = \text{const}$ ,  $G = \text{const}$  ( $t \geq 0$ ) из уравнений (1.1) – (1.3)

$$\frac{W_n}{W_{0n}} = \begin{cases} \left(\frac{s_n}{k_n}\right)^2 (1 - \cos k_n t) & (k_n < 0), \\ \frac{s_n^2}{2} t^2 & (k_n = 0), \\ \left(\frac{s_n}{k_n}\right)^2 (\text{ch} k_n t - 1) & (k_n > 0). \end{cases} \quad (1.11)$$

Здесь введены обозначения

$$s_n^2 = \frac{P(n\beta)^2 + G(\rho_2 - \rho_1)}{m_n}, \quad \omega_n^2 = \frac{P_E(n^2\beta)^2}{m_n}, \quad (1.12)$$

$$P_E = D\beta^2, \quad k_n^2 = s_n^2 - \omega_n^2, \quad m_n = \rho h + \frac{\rho_1 + \rho_2}{n\beta}.$$

В выражении  $m_n$  из (1.12) первый член представляет собой массу пластины единичной площади, а второй член – присоединенную массу жидкостей, контактирующих с этой площадью. Представим  $m_n$  в виде

$$m_n = \rho h \left( 1 + \frac{(\rho_1 + \rho_2)L}{\pi \rho h} N_n \right), \quad N_n = \frac{1}{n}. \quad (1.13)$$

Так как величина присоединенной массы определяется последними двумя членами в (1.3), то она зависит от точности определения  $\partial \varphi_1 / \partial t$  и  $\partial \varphi_2 / \partial t$ . Следовательно, в [2, 3] присоединенная масса определяется с погрешностью ввиду того, что функции  $\varphi_1(x, z, t)$ ,  $\varphi_2(x, z, t)$  не удовлетворяют условиям (1.6). Поэтому сравним значение этого результата с другим приближенным решением. Для этого достаточно рассмотреть в (1.3) перепад динамических давлений на пластину со стороны жидкостей  $\rho_1 \partial \varphi_1 / \partial t - \rho_2 \partial \varphi_2 / \partial t$ .

2. Примем функции  $\varphi_1, \varphi_2$  в виде

$$\begin{aligned} \varphi_i &= \Phi_{n-1}^i(z, t) \cos(n-1)\beta x + \\ &+ \Phi_{n+1}^i(z, t) \cos(n+1)\beta x + \\ &+ \Phi_{n+3}^i(z, t) \cos(n+3)\beta x, \end{aligned} \quad (2.1)$$

удовлетворяющие условиям (1.6). Из уравнений  $\nabla^2 \varphi_i = 0$  следуют решения ( $i = 1, 2$ )

$$\begin{aligned} \Phi_{n-1}^i &= \Psi_{n-1}^i(t) \exp\left((-1)^i \beta(n-1)z\right), \\ \Phi_{n+1}^i &= \Psi_{n+1}^i(t) \exp\left((-1)^i \beta(n+1)z\right), \\ \Phi_{n+3}^i &= \Psi_{n+3}^i(t) \exp\left((-1)^i \beta(n+3)z\right), \end{aligned} \quad (2.2)$$

которые затухают по мере удаления от пластины ( $z = \infty, -\infty$ ). Подставив в (1.5) выражения (1.8), (2.1) и (2.2) при  $z = 0$ , убеждаемся, что условие (1.5) не удовлетворяется. Поэтому проинтегрируем его в пределах от нуля до  $L$ , предварительно умножив подынтегральное выражение последовательно на  $\cos(n-1)\beta x$ ,  $\cos(n+1)\beta x$ ,  $\cos(n+3)\beta x$ . В результате получаем

$$\begin{aligned} \Psi_{n-1}^i &= \frac{(-1)^i 4n}{\pi\beta(2n-1)(n-1)} \frac{\partial W_n}{\partial t}, \\ \Psi_{n+1}^i &= -\frac{(-1)^i 4n}{\pi\beta(2n+1)(n+1)} \frac{\partial W_n}{\partial t}, \\ \Psi_{n+3}^i &= -\frac{(-1)^i 4n}{3\pi\beta(2n+3)(n+3)} \frac{\partial W_n}{\partial t}. \end{aligned} \quad (2.3)$$

Выражение для части перепада давления (1.3) при учете (2.1)–(2.3) принимает вид

$$\begin{aligned} &\rho_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial t} - \rho_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial t} = \\ &= \frac{4n(\rho_1 + \rho_2)}{\pi\beta} \frac{\partial^2 W_n}{\partial t^2} \left( \frac{\cos(n-1)\beta x}{(2n-1)(n-1)} - \right. \\ &\left. - \frac{\cos(n+1)\beta x}{(2n+1)(n+1)} - \frac{\cos(n+3)\beta x}{3(2n+3)(n+3)} \right). \end{aligned} \quad (2.4)$$

Подставим (2.4), (1.8), (1.3) в уравнение (1.1) и проинтегрируем его от нуля до  $L$ , умножив подынтегральное выражение на  $\sin n\beta x$ . В результате получаем решение (1.11), (1.12), где в составе (1.13) выражение для  $N_n$  будет иметь вид

$$\begin{aligned} N_n &= \left(\frac{4n}{\pi}\right)^2 \left( \frac{1}{(2n-1)^2(n-1)} + \right. \\ &\left. + \frac{1}{(2n+1)^2(n+1)} + \frac{1}{3(2n+3)^2(n+3)} \right). \end{aligned} \quad (2.5)$$

Отношение третьего члена к первому (при  $n = 2$ ) равно 0.01. С увеличением  $n$  сходимость ряда ухудшается. Имея в виду не очень высокие

гармоники  $n$ , ограничимся учетом только первых двух членов в (2.5). Тогда

$$N_n = \frac{128n^3(n^2 + 1)}{\pi^2(4n^2 - 1)^2(n^2 - 1)}. \quad (2.6)$$

На рис. 2 представлены функции  $N_n = n^{-1}$  (линия 1), (2.5) (линия 2) и (2.6) (линия 3), где по постановке задачи  $n=2, 4, \dots$

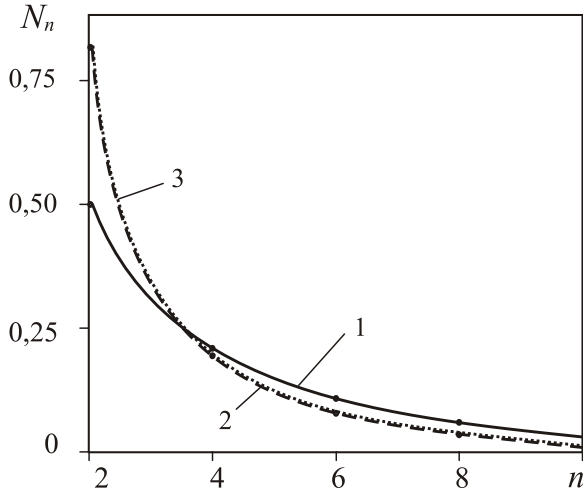


Рис. 2

Отметим, что значение  $N_n = n^{-1}$  получается при точном решении уравнений движения сред и точном удовлетворении условий сопряжения в задаче о взаимодействии протяженной пластины с периодическими опорами (рис. 3), когда решение по  $x$  для сред имеет вид  $\sin n\beta x$  [4]. При этом не ставятся условия (1.6). Как отмечалось выше, это значение  $N_n = n^{-1}$  получено также в [1, 2], когда условия (1.6) присутствуют по физической постановке задачи, но не выполняются.

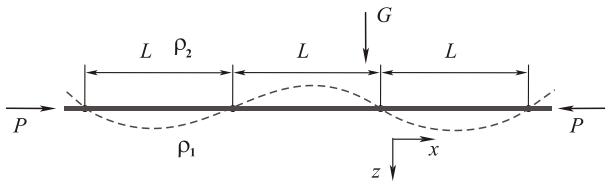


Рис. 3

Выражения (2.5) и (2.6) получены при точном решении уравнений для жидкостей и точном удовлетворении условий (1.6), но при приближенном удовлетворении условий (1.5) и приближенном решении уравнения (1.1) для задачи, поставленной в [2, 3] и схематично показанной на рис. 1.

Как видно из рис. 2, наибольшая разница между указанными значениями  $N_n$  имеет место при  $n=2$ . При более высоких гармониках  $n$  разница уменьшается, причем значения (2.6) лежат

ниже значений  $n^{-1}$  на 6–20%. При  $n^2 \gg 1$  формула (2.6) сводится к  $N_n = 8/(\pi^2 n)$ , хотя указанная формула получена для низших мод. Отметим, что соответствующая оценка по (2.5)  $N_n = 9.33/(\pi^2 n)$ . Привлечение большого числа членов в (2.10) привело бы к еще большему приближению к значению  $N_n = n^{-1}$ . Физически понятно, что обе рассмотренные постановки задач при больших  $n$  должны приводить к близким значениям присоединенных масс.

В соответствии с (1.13) и (2.6), с увеличением числа полуволн  $n$  присоединенная масса уменьшается. Например, в случае отношений  $\rho/(\rho_1 + \rho_2) = 4$ ,  $L/h = 100$  по (1.13) общая масса на единицу площади пластины равна  $m_2 = 7.05\rho h$  ( $n=2$ ),  $m_4 = 2.83\rho h$ ,  $m_6 = 2.06\rho h$ . Та же самая масса в случае  $N_n = n^{-1}$  равна  $m_2 = 4.98\rho h$ ,  $m_4 = 2.99\rho h$ ,  $m_6 = 2.32\rho h$ .

В задаче динамической гидроупругости ввиду сложности их описания приходится принимать допущения, позволяющие получить качественные результаты. В частности, в [2, 3] принимается модель плоской задачи, отсутствия сил вязкости, несжимаемости срединной поверхности пластины и жидкостей, установления сжатия пластины по всей ее длине одновременно, скачкообразного характера силы сжатия и перпендикулярного ускорения сред, а в [4] – допущение о большой протяженности пластины и областей, занятых жидкостями, равномерности расположения опор и т.д. К ряду таких допущений можно отнести принятие функции по  $x$  потенциала скорости, удовлетворяющей условиям свободного протекания на вертикальных границах областей, занятых жидкостями, а не условиям (1.6).

Изменение некоторых из названных допущений приводит к качественному изменению конечного результата. Например, учет сжимаемости жидкости или наличия пузырьков в несжимаемой жидкости приводит к тому, что числа полуволн могут быть не только четными (как в (1.8)), а  $n=1, 2, 3, \dots$

В то время как невыполнение функцией  $\phi(x, z, t)$  условий непротекания (1.6) несколько изменяет присоединенную массу жидкостей и приводит только к количественному изменению результата (решений (1.11), (1.12)). Отметим, что величина  $m_n$  входит в решения (1.11) через коэффициенты  $s_n^2$ ,  $\omega_n^2$ . Поэтому для получения качественных результатов в анализе динамиче-

ского поведения гидроупругой системы могут быть использованы аппроксимации функции потенциала скорости, подобные приведенным выше. Как показано, небольшое усложнение расчетов происходит при уточнении решения в виде быстросходящегося ряда (2.1).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ильгамов М.А. Колебания упругих оболочек, содержащих жидкость и газ. М.: Наука, 1969. 184 с.
2. Ильгамов М.А. Взаимодействие неустойчивости Эйлера и неустойчивости Рэлея-Тейлора // Изв. РАН. МТТ. 2012. № 2. С. 28–38.
3. Ильгамов М.А. Взаимодействие гидродинамической и упругой неустойчивостей // ДАН. 2015. Т. 463, № 1. С. 36–38.

4. Ильгамов М.А. Взаимодействие неустойчивостей в гидроупругой системе // ПММ. 2016. Т. 80, вып. 5. С. 566–579.

#### References

1. Ilgamov M.A. Oscillations of elastic shells containing liquid and gas. Moscow, Nauka, 1969. 184 p.
2. Ilgamov M.A. Interaction between the Euler and Rayleigh-Taylor instabilities // Mechanics of Solids, 2012, vol. 47, no. 2, pp. 178–186.
3. Ilgamov M.A. Interaction between hydrodynamic and elastic Instabilities // Doklady Physics, 2015, vol. 60, no. 7, pp. 296–298.
4. Ilgamov M.A. Interaction between instabilities in a hydroelastic system // Journal of Applied Mathematics and Mechanics, 2016, vol. 80, no. 5, pp. 566–579.



### APPROXIMATION OF THE FUNCTION OF VELOCITY POTENTIAL IN THE PROBLEMS ON HYDROELASTICITY

© М.А. Ilgamov

Mavlyutov Institute of Mechanics, Ufa Scientific Centre, RAS,  
71, prospect Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation  
Bashkir State University,  
32, ulitsa Zaki Validi, 450076, Ufa, Russian Federation

The paper deals with the problem on mating the solutions for an elastic plate and liquids with different densities that contact both of its surfaces. The solutions for these media are presented according to natural functions along the contact surfaces. Consideration is given to the accurate solution of the linear dynamic problem for extensive domains having a periodic structure and also to the approximate solution of this problem in the case of a limited domain occupied by a liquid. A comparison is shown for these solutions that come to the determination of the attached mass of liquids.

Key words: interaction between plate and liquid, different densities, dynamics, instability, velocity potential in liquid.



## УТОЧНЕННАЯ МОДЕЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СФЕРИЧЕСКИХ ГАЗОВЫХ ПУЗЫРЬКОВ

© А.А. Аганин, А.И. Давлетшин

Предлагается математическая модель пространственного гидродинамического взаимодействия сферических газовых пузырьков в жидкости в акустическом поле. Она представляет собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка относительно радиусов пузырьков и радиус-векторов их центров. При выводе уравнений предполагается, что пузырьки находятся в пучности интенсивной стоячей волны с давлением, изменяющимся по гармоническому закону. Колебания давления жидкости вызывают сильные радиальные пульсации пузырьков, что приводит к их гидродинамическому взаимодействию. В результате взаимодействия пузырьки в ходе расширения и сжатия могут перемещаться в жидкости. Газ в пузырьках принимается идеальным гомобарическим, его давление – изменяющимся по адиабатическому закону. Считается, что эффекты вязкости и сжимаемости жидкости малы. Поэтому они учитываются с помощью поправок к уравнениям взаимодействия пузырьков, выведенным в предположении, что жидкость является идеальной несжимаемой. Вывод уравнений осуществляется методом сферических функций с использованием интеграла Коши – Лагранжа, кинематических и динамических граничных условий на поверхности пузырьков. При этом применяется полученное ранее авторами выражение для преобразования сферических функций при переходе от системы координат с началом в центре одного пузырька к системе координат с началом в центре другого. Уравнения имеют четвертый порядок точности относительно  $R/D$  ( $R$  – характерный радиус пузырьков,  $D$  – характерное расстояние между пузырьками), что на порядок выше, чем у известных в литературе аналогов. Это позволяет исследовать взаимодействие пузырьков при их более близком расположении друг к другу. Решение системы обыкновенных дифференциальных уравнений находится численно при заданных начальных условиях. Для иллюстрации применимости модели приведены примеры расчетов взаимодействия трех, пяти и семи одинаковых сферических пузырьков на протяжении нескольких периодов колебания давления окружающей жидкости. Показано влияние гидродинамического взаимодействия на радиальную динамику пузырьков и их пространственные перемещения в жидкости.

Ключевые слова: гидродинамическое взаимодействие пузырьков, акустическое поле, потенциал скорости жидкости.

**Введение.** При относительно близком расположении соседних пузырьков в жидкости друг к другу важную роль в их динамике начинает играть их гидродинамическое взаимодействие [1–7]. Это особенно сильно проявляется в акустических полях, где из-за переменного давления жидкости пузырьки испытывают сильные радиальные расширения–сжатия. Результатом взаимодействия пузырьков может быть, например, их взаимное притягивание или отталкивание. Сближение пузырьков может приводить к их столкновению с образованием в жидкости новых, более крупных газовых включений. Из-за отталкивания пузырьки могут удаляться так далеко, что их последующее взаимодействие

становится несущественным. Эти и другие особенности динамики пузырьков, возникающие в результате их гидродинамического взаимодействия, могут быть использованы в различных приложениях.

При изучении взаимодействия пузырьков в жидкости широко используются эффективные математические модели, в которых разрешающие соотношения представляют собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений. В работах [1–5] подобные модели применяются для изучения взаимодействия пузырьков в двумерной (осесимметричной) постановке, когда центры взаимодействующих пузырьков находятся на одной прямой. В [6, 7] представлены

АГАНИН Александр Алексеевич – д.ф.-м.н., Институт механики и машиностроения Казанского научного центра РАН, e-mail: aganin@kfti.knc.ru

ДАВЛЕТШИН Анас Ильгизович – к.ф.-м.н., Институт механики и машиностроения Казанского научного центра РАН, e-mail: anas.davletshin@gmail.com

модели для изучения гидродинамического взаимодействия сферических пузырьков в трехмерной постановке.

В настоящей работе предлагается уточненная математическая модель пространственного гидродинамического взаимодействия сферических газовых пузырьков в жидкости. Уточнение заключается в том, что в ней, в отличие от моделей [6, 7], учитываются члены четвертого порядка точности относительно параметра  $\delta = \max_{k,j} \left[ \frac{(R_k + R_j)}{d_{kj}} \right]$  – максимального по всем парам взаимодействующих пузырьков ( $k, j = 1, 2, \dots, K, k \neq j$ ) отношения суммы их радиусов  $R_k, R_j$  к расстоянию между их центрами  $d_{kj}$ . Это позволяет рассчитывать пространственное взаимодействие пузырьков при их более близком расположении друг к другу.

**Постановка задачи.** Рассматривается гидродинамическое взаимодействие сферических газовых пузырьков в трехмерном кластере (рис. 1), расположенном в жидкости в пучности стоячей волны с изменяющимся по гармоническому закону давлением  $p_\infty$

$$p_\infty = p_0 - \Delta p \sin \omega t.$$

Здесь  $t$  – время,  $p_0$  – статическое давление жидкости,  $\omega, \Delta p$  – частота и амплитуда колебаний. За счет колебаний давления окружающей жидкости пузырьки радиально пульсируют и, взаимодействуя друг с другом, могут перемещаться в пространстве.

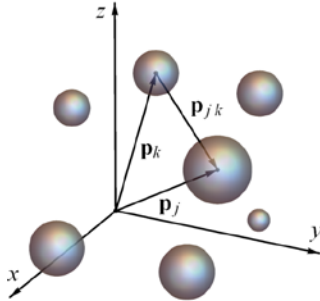


Рис. 1. Трехмерный кластер сферических пузырьков

Газ в пузырьках принимается идеальным с однородным давлением, изменяющимся по адиабатическому закону

$$p_k = \left( p_0 + \frac{2\sigma}{R_{0k}} \right) \left( \frac{R_{0k}}{R_k} \right)^{3\kappa},$$

где  $p_k$  – давление газа в  $k$ -м пузырьке,  $\kappa$  – показатель адиабаты,  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения,  $R_{0k}, R_k$  – начальный и текущий

радиусы  $k$ -го пузырька,  $k = 1, 2, \dots, K, K$  – число взаимодействующих пузырьков.

Эффекты вязкости и сжимаемости жидкости учитываются с помощью поправок к уравнениям взаимодействия пузырьков, выведенным в предположении, что жидкость является идеальной несжимаемой. С учетом этого динамика жидкости описывается в терминах потенциала скорости  $\Phi$  следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} \nabla^2 \Phi &= 0, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial t} - \mathbf{w}_k \cdot \nabla \Phi + \frac{1}{2} \nabla \Phi \cdot \nabla \Phi + \frac{p - p_\infty}{\rho_0} &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь  $\rho_0$  – плотность жидкости,  $p$  – давление в произвольной точке жидкости,  $\mathbf{w}_k = \dot{x}_k \mathbf{i} + \dot{y}_k \mathbf{j} + \dot{z}_k \mathbf{k}$ ,  $x_k, y_k, z_k$  – координаты центра  $k$ -го пузырька,  $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$  – единичные векторы декартовой системы координат, точка сверху означает дифференцирование по времени.

На поверхностях пузырьков выполняются кинематические и динамические граничные условия

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_k}{\partial t} - \mathbf{w}_k \cdot \nabla F_k + \nabla \Phi \cdot \nabla F_k &= 0, \\ p &= p_k - \frac{2\sigma}{R_k}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $F_k(r_k, \theta_k, \varphi_k, t) = r_k - R_k(t) = 0$  – уравнение поверхности  $k$ -го пузырька,  $r_k, \theta_k, \varphi_k$  – локальная сферическая система координат с началом отсчета в центре  $k$ -го пузырька.

**Математическая модель.** Потенциал скорости жидкости  $\Phi$  записывается в виде ряда по сферическим функциям

$$\Phi = \sum_{k=1}^K \sum_{\gamma=0}^{\infty} \sum_{\gamma'=-\gamma}^{\gamma} \frac{B_{\gamma k}^{\gamma'}(t) Y_{\gamma}^{\gamma'}(\theta_k, \varphi_k)}{r_k^{\gamma+1}}, \quad (4)$$

где  $Y_{\gamma}^{\gamma'}(\theta_k, \varphi_k) = P_{\gamma}^{|\gamma'|}(\cos \theta_k) e^{i\gamma'\varphi_k}$  – сферические функции,  $P_{\gamma}^{|\gamma'|}$  – присоединенные полиномы Лежандра степени  $\gamma$  и порядка  $|\gamma'|$ ,  $i$  – мнимая единица,  $e^{i\gamma'\varphi_k} = \cos \gamma'\varphi_k + i \sin \gamma'\varphi_k$ .

Неизвестные коэффициенты  $B_{\gamma k}^{\gamma'}$  находятс я подстановкой потенциала (4) в кинематические (2) граничные условия. С этой целью все слагаемые потенциала (4) нужно выразить в системе координат одного пузырька. Для этого используется следующее выражение преобразования сферических функций (получено авторами в работе [8]):

$$\frac{Y_{\gamma}^{\gamma'}(\theta_k, \varphi_k)}{r_k^{\gamma+1}} = \sum_{\zeta=0}^{\infty} \sum_{\zeta'=-\zeta}^{\zeta} \frac{C_{\gamma\zeta}^{\gamma'\zeta'} Y_{\gamma+\zeta}^{\gamma'-\zeta'}(\theta_{jk}, \varphi_{jk})}{r_{jk}^{\gamma+\zeta+1}} r_j^{\zeta} Y_{\zeta}^{\zeta'}(\theta_j, \varphi_j), \quad (5)$$

где  $r_{jk}, \theta_{jk}, \varphi_{jk}$  – координаты центра  $k$ -го пузырька в системе  $j$ -го,

$$C_{\gamma\zeta}^{\gamma'\zeta'} = (-1)^{\gamma+(|\gamma'-\zeta|+|\gamma'-\zeta'|)/2} \frac{(\gamma+\zeta-|\gamma'-\zeta'|)!}{(\gamma-|\gamma'|)! (\zeta+|\zeta'|)!}.$$

Подставляя выражение потенциала (4) (с учетом соотношения (5)) в кинематические контактные условия (2) и воспользовавшись ортогональностью сферических функций, получим выражения для коэффициентов разложения потенциала скорости  $B_{\gamma k}^{\gamma'}$ . В силу громоздкости эти выражения в настоящей работе не представлены.

Подставив в интеграл Коши – Лагранжа (1) (с учетом динамических граничных условий (3)) выражение потенциала (4) с коэффициентами  $B_{\gamma k}^{\gamma'}$ , полученными вышеописанным способом, и проведя ряд довольно громоздких преобразований с учетом ортогональности сферических функций, в предположении, что  $\delta^5 \ll 1$  ( $\delta = \max_{k,j} [(R_k + R_j)/d_{kj}]$ ,  $k, j = 1, 2, \dots, K$ ,  $k \neq j$ ), получим следующую систему обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка для радиусов пузырьков  $R_k$  и радиус-векторов их центров  $\mathbf{p}_k$

$$\begin{aligned} R_k \ddot{R}_k + \frac{3\dot{R}_k^2}{2} - \frac{\dot{\mathbf{p}}_k^2}{4} - \frac{p_k - p_{\infty}}{\rho_0} + \frac{2\sigma}{\rho_0 R_k} + \Psi_{0k} + \Delta_k = \\ = \sum_{j=1, j \neq k}^K \left[ \frac{\dot{B}_{0j}}{d_{kj}} - \frac{R_j^2 \mathbf{p}_{kj} \cdot (R_j \ddot{\mathbf{p}}_j + \dot{R}_j \dot{\mathbf{p}}_k + 5\dot{R}_j \dot{\mathbf{p}}_j)}{2d_{kj}^3} + \right. \\ \left. + \frac{R_j^3 \dot{\mathbf{p}}_j \cdot (\dot{\mathbf{p}}_k + 2\dot{\mathbf{p}}_j)}{4d_{kj}^3} - \frac{3R_j^3 \mathbf{p}_{kj} \cdot \dot{\mathbf{p}}_j \mathbf{p}_{kj} \cdot (\dot{\mathbf{p}}_k + 2\dot{\mathbf{p}}_j)}{4d_{kj}^5} + \right. \\ \left. + \sum_{l=1, l \neq k}^K \frac{3B_{0j} B_{0l} \mathbf{p}_{kj} \cdot \mathbf{p}_{kl}}{4d_{kj}^3 d_{kl}^3} - \sum_{l=1, l \neq j}^K \frac{(R_j^3 B_{0l})' \mathbf{p}_{jl} \cdot \mathbf{p}_{kj}}{2d_{kj}^3 d_{jl}^3} \right], \quad (6) \\ \frac{R_k \ddot{\mathbf{p}}_k}{3} + \dot{R}_k \dot{\mathbf{p}}_k + \Psi_{1k} = \sum_{j=1, j \neq k}^K \left[ -\frac{(R_k B_{0j})' \mathbf{p}_{kj}}{d_{kj}^3} - \right. \\ \left. - \frac{(R_k R_j^3 \dot{\mathbf{p}}_j)' - 2R_k B_{0j} \dot{\mathbf{p}}_j}{2d_{kj}^3} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -\frac{3R_j^3 R_k (\dot{\mathbf{p}}_j \cdot \dot{\mathbf{p}}_j \mathbf{p}_{kj} + 2\mathbf{p}_{kj} \cdot \dot{\mathbf{p}}_j \dot{\mathbf{p}}_j)}{2d_{kj}^5} + \\ + \frac{3\mathbf{p}_{kj} \cdot \left( (R_k R_j^3 \dot{\mathbf{p}}_j)' - 2R_k B_{0j} \dot{\mathbf{p}}_j \right) \mathbf{p}_{kj}}{2d_{kj}^5} + \\ + \frac{15R_j^3 R_k (\mathbf{p}_{kj} \cdot \dot{\mathbf{p}}_j)^2 \mathbf{p}_{kj}}{2d_{kj}^7} \Big]. \quad (7) \end{aligned}$$

Здесь точки сверху и штрих означают производную по времени,  $B_{0k} = -R_k^2 \dot{R}_k$ ,  $\mathbf{p}_{kj} = \mathbf{p}_k - \mathbf{p}_j$ ,  $d_{kj} = |\mathbf{p}_{kj}|$  – расстояние между центрами  $k$ -го и  $j$ -го пузырьков,  $\Psi_{0k}, \Psi_{1k}, \Delta_k$  – поправки, учитывающие влияние вязкости и сжимаемости жидкости.

Эффекты вязкости и сжимаемости жидкости описываются без учета взаимодействия между пузырьками, так что поправки  $\Psi_{0k}, \Psi_{1k}$  и  $\Delta_k$  определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} \Psi_{0k} = 4\nu \dot{R}_k / R_k, \quad \Psi_{1k} = 12\nu \dot{\mathbf{p}}_k / R_k, \\ \Delta_k = -\frac{\dot{R}_k}{c_0} \left( R_k \ddot{R}_k + \frac{\dot{R}_k^2}{2} + \frac{p_k - p_{\infty}}{\rho_0} \right) - \\ - \frac{R_k}{c_0} \left( \frac{\dot{p}_k - \dot{p}_{\infty}}{\rho_0} - \frac{4\nu \ddot{R}_k}{R_k} \right), \end{aligned}$$

где  $\nu = \mu / \rho_0$ ,  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости жидкости,  $c_0$  – невозмущенная скорость звука в жидкости.

Решение системы (6), (7) находится численно при заданных начальных значениях  $R_k, \dot{R}_k, \mathbf{p}_k, \dot{\mathbf{p}}_k$ .

**Результаты расчетов.** Для иллюстрации применимости предложенной модели приводятся результаты расчетов динамики одиночного пузырька и взаимодействующих трех, пяти и семи одинаковых пузырьков на протяжении нескольких периодов колебания давления жидкости. Центры пузырьков расположены на взаимно перпендикулярных прямых (рис. 2, а): центр одного из пузырьков находится в точке пересечения этих прямых, а центры остальных пузырьков (в случае  $K \geq 3$ ) попарно располагаются на одинаковом удалении от этой точки. В начальный момент времени радиусы пузырьков  $R_k$  предполагаются равными 3 мкм, расстояние между центрами боковых и центрального пузырьков  $d_0$  – равным 100 мкм, скорости радиальных пульсаций  $\dot{R}_k$  и пространственных

перемещений  $\dot{\mathbf{r}}_k$  пузырьков – равными нулю. Значения остальных параметров задачи следующие:  $c_0 = 1500$  м/с,  $\rho_0 = 998$  кг/м<sup>3</sup>,  $p_0 = 1$  бар,  $\sigma = 0.0725$  Н/м,  $\mu = 10^{-3}$  кг/(м с),  $\kappa = 1.4$ ,  $\Delta p = 1.2$  бар,  $\omega / 2\pi = 20$  кГц. Результаты расчетов представлены на рис. 2 и 3.

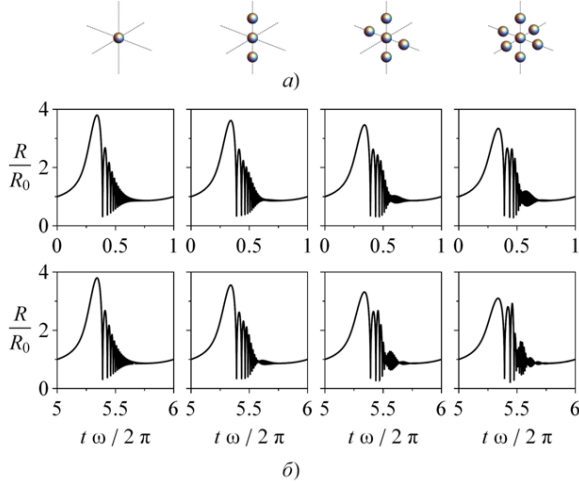


Рис. 2. Взаимное расположение пузырьков в начале взаимодействия (а) и изменение безразмерного радиуса  $R/R_0$  одиночного пузырька и центрального из трех, пяти и семи взаимодействующих пузырьков на протяжении первого (б, сверху) и шестого (б, снизу) периодов колебания давления окружающей жидкости

В результате колебаний давления окружающей жидкости пузырьки испытывают сильные радиальные расширения и сжатия. Так, одиночный пузырек на стадии понижения давления жидкости расширяется почти в четыре раза (рис. 2, б). Наличие соседних пузырьков приводит к уменьшению максимального радиуса центрального пузырька: чем больше пузырьков и время взаимодействия, тем меньше максимальный радиус центрального пузырька. Влияние соседних пузырьков на радиальную динамику центрального еще больше проявляется на стадии затухающих радиальных пульсаций, где взаимодействие приводит к существенному нарушению монотонности затухания.

Изначально одиночный и центральный пузырьки в группе, в силу симметрии, остаются неподвижными на протяжении всего рассмотренного промежутка времени. В отличие от этого изначально неподвижные боковые пузырьки в результате взаимодействия начинают перемещаться в жидкости (рис. 3) в сторону центрального пузырька. Вместе с тем скорость сближения пузырьков, как видно на рис. 3, во всех случаях оказывается разной: увеличение

числа взаимодействующих пузырьков в рамках рассмотренных конфигураций приводит к возрастанию скорости их сближения.

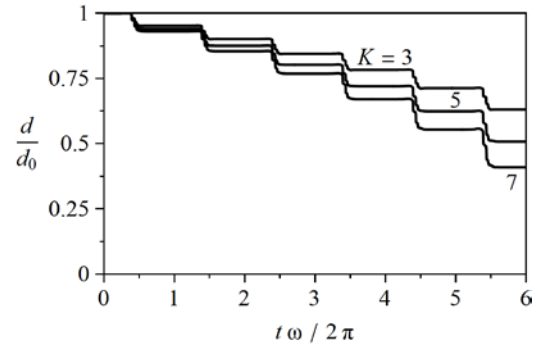


Рис. 3. Изменение безразмерного расстояния между центрами боковых и центрального пузырьков  $d/d_0$  при взаимодействии трех, пяти и семи одинаковых сферических пузырьков, взаимное расположение которых приведено на рис. 2, а

**Заключение.** Предложена математическая модель пространственного гидродинамического взаимодействия сферических газовых пузырьков в жидкости в акустическом поле. Эффекты вязкости и сжимаемости жидкости учитываются приближенно, газ в пузырьках полагается гомобарическим. Уравнения математической модели получены методом сферических функций с использованием интеграла Коши – Лагранжа, кинематических, динамических граничных условий на поверхности пузырьков и представляют собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка относительно радиусов пузырьков и радиус-векторов их центров. Они имеют четвертый порядок точности относительно параметра  $\delta = \max_{k,j} [(R_k + R_j)/d_{kj}]$  – максимального по всем парам взаимодействующих пузырьков ( $k, j = 1, 2, \dots, K, k \neq j$ ) отношения суммы их радиусов  $R_k, R_j$  к расстоянию между их центрами  $d_{kj}$ , что на порядок выше точности известных в литературе моделей. Это позволяет исследовать взаимодействие пузырьков при их более близком расположении друг к другу.

Для иллюстрации применения модели приведены примеры расчетов пространственного взаимодействия трех, пяти и семи одинаковых сферических пузырьков на протяжении нескольких периодов гармонических колебаний давления жидкости. Показано влияние гидродинамического взаимодействия на радиальную динамику пузырьков и их пространственные перемещения в жидкости.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аганин А.А., Давлетшин А.И. Моделирование взаимодействия газовых пузырьков в жидкости с учетом их малой несферичности // Математическое моделирование. 2009. Т. 21, № 6. С. 89–102.
2. Аганин А.А., Давлетшин А.И. Уточненная модель взаимодействия сферических газовых пузырьков в жидкости // Математическое моделирование. 2009. Т. 21, № 9. С. 89–98.
3. Кузнецов Г.Н., Щукин И.Е. Взаимодействие пульсирующих пузырьков в вязкой жидкости // Акустический журнал. 1972. Т. 18. С. 565–570.
4. Doinikov A.A. Translational motion of two interacting bubbles in a strong acoustic field // Phys. Rev. E. 2001. V. 64. № 2. P. 026301.
5. Harkin A., Kaper T.J., Nadim A. Pulsation and translation of two gas bubbles // J. Fluid Mech. 2001. V. 445. P. 377–411.
6. Konovalova S., Akhatov I. Structure formation in acoustic cavitation // Multiphase Science and Technology. 2005. V. 17. № 3. P. 343–371.
7. Doinikov A.A. Mathematical model for collective bubble dynamics in strong ultrasound fields // J. of the Acoustical Society of America. 2004. V. 116, № 2. P. 821–827.
8. Аганин А.А., Давлетшин А.И. Преобразование сферических функций при моделировании взаимодействия газовых пузырьков в жидкости // Волны и вихри в сложных средах: 4-я международная научная школа молодых ученых: сб. мат-лов. М., 2013. С. 49–51.

## References

1. Aganin A.A., Davletshin A.I. Simulation of interaction of gas bubbles in a liquid with allowing for their small asphericity. *Matematicheskoe modelirovanie*, 2009, vol. 21, no. 6, pp. 89–102.
2. Aganin A.A., Davletshin A.I. A refined model of interaction of spherical gas bubbles in a liquid. *Matematicheskoe modelirovanie*, 2009, vol. 21, no. 9, pp. 89–98.
3. Kuznetsov G.N., Shchukin I.E. Interaction of pulsating bubbles in viscous liquid. *Akusticheskiy zhurnal*, 1972, vol. 18, pp. 565–570.
4. Doinikov A.A. Translational motion of two interacting bubbles in a strong acoustic field. *Phys. Rev. E*, 2001, vol. 64, no. 2, p. 026301.
5. Harkin A., Kaper T.J., Nadim A. Pulsation and translation of two gas bubbles. *J. Fluid Mech.*, 2001, vol. 445, pp. 377–411.
6. Konovalova S., Akhatov I. Structure formation in acoustic cavitation. *Multiphase Science and Technology*, 2005, vol. 17, no. 3, pp. 343–371.
7. Doinikov A.A. Mathematical model for collective bubble dynamics in strong ultrasound fields. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2004, vol. 116, no. 2, pp. 821–827.
8. Aganin A.A., Davletshin A.I. Transform of spherical functions for spatial modelling of interaction of gas bubbles in liquid. *Volny i vikhri v slozhnykh sredakh. 4-ya mezhdunarodnaya shkola molodykh uchenykh. Sbornik materialov shkoly*. Moscow, MAKS Press, 2013, pp. 49–51.

## A REFINED MODEL OF SPATIAL INTERACTION OF SPHERICAL GAS BUBBLES

© A.A. Aganin, A.I. Davletshin

Institute of Mechanics and Engineering, Kazan Scientific Centre, RAS,  
2/31, ulitsa Lobachevskogo, 420111, Kazan, Russian Federation

A mathematical model of spatial hydrodynamic interaction of spherical gas bubbles in liquid in an acoustic field is proposed. It is a system of ordinary differential equations of the second order in radii of the bubbles and the position vectors of their centres. In deriving the equations, it is supposed that the bubbles are in the antinode of an intensive standing wave with the pressure changing harmonically. The fluid pressure oscillations result in strong radial pulsations of the bubbles leading to their hydrodynamic interaction. As a result of the interaction, the bubbles in the course of their expansion and compression can move in the liquid. The gas in the bubbles is assumed ideal, with the uniform pressure changing according to the adiabatic law. The effects of the liquid viscosity and compressibility are assumed small so that they are taken into account by means of corrections to the equations of interaction of the bubbles, assuming that the liquid is ideal and incompressible. The derivation of the equations is carried out by the method of spherical functions with the use of Bernoulli integral and the kinematic and dynamic boundary conditions on the surfaces of the bubbles. Here, an expression obtained earlier by the authors is used regarding the transform of spherical functions from the coordinate system with the origin at the centre of one bubble to that with the origin at the centre of another bubble. The equations derived are of the fourth order of accuracy in  $R/D$  ( $R$  is the characteristic radius of the bubbles,  $D$  is the characteristic distance between the bubbles), which is one order of magnitude greater than the accuracy of similar equations known in literature. This allows one to study bubble interaction at smaller distances between the bubbles. The system of ordinary differential equations is solved numerically with given initial conditions. To illustrate the applicability of the model, some computational examples are presented, in which the interaction of three, five and seven identical spherical bubbles is considered during several periods of oscillations of the surrounding liquid pressure. The effect of hydrodynamic interaction on radial dynamics of the bubbles and their spatial movement in the liquid is shown.

Key words: hydrodynamic interaction of bubbles, acoustic field, liquid velocity potential.

УДК 532.546:536.421

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ЛЬДА ПРИ НАГНЕТАНИИ ВОДЫ В СУХУЮ ПОРИСТУЮ СРЕДУ

© В.Ш. Шагапов, М.Н. Галимзянов, М.Н. Запивахина

В плоскоодномерной автомодельной постановке рассмотрена задача об образовании льда в сухой холодной пористой среде, насыщенной газом (воздухом), при закачке теплой воды. На основе построенных автомодельных решений проведен численный анализ, иллюстрирующий влияние исходных параметров сухой пористой среды, насыщенной газом, а также температуры закачиваемой воды на распределение температуры и давления в пористой среде. Установлено, что снижение температуры инжектируемой воды приводит к снижению скорости образования льда. При низкой исходной температуре пористой среды область образования льда оказывается локализованной в достаточно узкой области около границы нагнетания воды. Получено условие проникания воды в сухой холодный пористый пласт.

Ключевые слова: инъекция, фильтрация, пористая среда, образование льда.

**Введение.** В связи с интенсивным освоением северных территорий, находящихся в районах с холодным климатом, большая часть которых располагается в зонах распространения вечной мерзлоты, особенно актуальным становится изучение процессов, связанных с тепло-массопереносом в почвах, грунтах и горных породах [1], и особо важным является изучение механизма влагопереноса в промерзающих и протаивающих грунтах.

**Постановка задачи и основные уравнения.** В плоскоодномерной автомодельной постановке рассмотрим задачу об инъекции теплой воды в холодную пористую среду, насыщенную газом (воздухом). Будем полагать, что при закачке воды в пористом пласте происходит прихват тепла скелетом, и в порах образуется лед. При этом пласт можно разделить на три области. В первой (ближней) области в порах присутствует вода, во второй (промежуточной) области в порах содержится вода и лед, в третьей (дальней) области находится газ.

Будем полагать, что в начальный момент времени ( $t = 0$ ) температура пористой среды равна  $T = T_0$ , а давление  $p = p_0$ .

Пусть через границу  $x = 0$  закачивается вода с температурой  $T_e$  при постоянном давлении  $p_e$ . Схема процесса нагнетания воды в пористую среду, насыщенную газом, показана на рис. 1.

Тогда граничное условие имеет вид:  $x = 0: p = p_e, T = T_e (t > 0)$ . Кроме этого, будем полагать, что температура на границах областей меняется скачкообразно. Температура в ближней зоне  $T_1$  равна температуре закачиваемой воды  $T_e$ ; температура в промежуточной области  $T_2$  равна температуре плавления  $T_{(n)}$ ; температура в дальней области  $T_3$  равна исходной температуре пористой среды  $T_0$ .

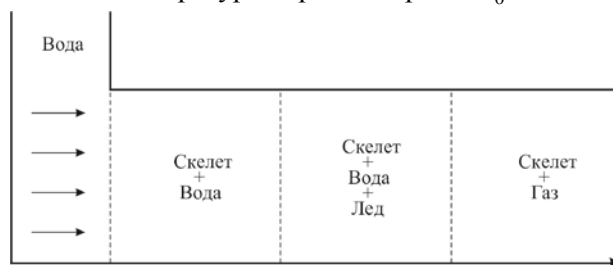


Рис. 1. Схема процесса нагнетания теплой воды в пористую среду, насыщенную газом

ШАГАПОВ Владислав Шайхулаязамович – д.ф.-м.н., Институт механики им. Р.Р. Мавлютова Уфимского научного центра РАН, e-mail: shagapov@rambler.ru

ГАЛИМЗЯНОВ Марат Назипович – к.ф.-м.н., Институт механики им. Р.Р. Мавлютова Уфимского научного центра РАН, e-mail: monk@anrb.ru

ЗАПИВАХИНА Марина Николаевна – к.ф.-м.н., Башкирский государственный университет, Бирский филиал, e-mail: zapivakhina-marina@rambler.ru

Для описания процессов теплообмена при закачке воды в пористый пласт примем следующие допущения. Будем считать, что процесс однотемпературный, т.е. температура пористой среды и насыщающего вещества (газа, льда и воды) одинаковы; скелет пористой среды, лед и вода несжимаемы; скелет и лед неподвижны, пористость скелета постоянна:

$$\rho_{sk}, \rho_l, \rho_i, m = \text{const.}$$

Здесь  $\rho_j$  ( $j = sk, l, i$ ) – истинные плотности фаз;  $m$  – пористость; индексы  $sk, l, i$  соответствуют параметрам скелета, воды и льда.

С учетом принятых допущений для ближней области, уравнения сохранения массы воды запишем в виде [2, 3]:

$$m \frac{\partial \rho_l}{\partial t} + \frac{\partial (\rho_l m v_l)}{\partial x} = 0, \quad (1)$$

$$S_l = 1,$$

где  $S_l$  – водонасыщенность,  $v_l$  – скорость фильтрации воды.

Процесс фильтрации воды подчиняется закону Дарси

$$m v_l = - \frac{k_l}{\mu_l} \frac{\partial p}{\partial x}. \quad (2)$$

Зависимость коэффициента проницаемости скелета  $k_l$  от «живой» пористости  $m S_l$  будем задавать на основе формулы Козени [2]. Тогда для зависимости проницаемости от водонасыщенности будем иметь

$$k_l = k_* \frac{(m S_l)^3}{(1 - m S_l)^2}. \quad (3)$$

Если  $m \ll 1$ , то  $m S_l \ll 1$ , и поэтому можно полагать

$$k_l = k_* (m S_l)^3 \approx k_0 S_l^3 \quad (k_0 = k_* m^3), \quad (4)$$

где  $k_0$  соответствует проницаемости «чистого» скелета.

Уравнение сохранения массы воды для промежуточной зоны, где поры заполнены льдом и водой, запишется в виде [2, 3]

$$m(1 - S_i) \frac{\partial \rho_l}{\partial t} + \frac{\partial (\rho_l m (1 - S_i) v_l)}{\partial x} = 0, \quad (5)$$

где  $S_i$  – льдонасыщенность среды.

Процесс фильтрации воды в данной области также подчиняется закону Дарси:

$$m(1 - S_i) v_l = - \frac{k_l}{\mu_l} \frac{\partial p}{\partial x}, \quad (6)$$

$$S_l = 1 - S_i,$$

где коэффициент проницаемости  $k_l$ , согласно формуле Козени, равен  $k_l \approx k_0 (1 - S_i)^3$ .

На границе между образовавшимися областями должны выполняться условия баланса массы и тепла:

$$x = x_{(n)}:$$

$$m v_{(n)}^- - m(1 - S_i) v_{(n)}^+ = m S_i (1 - \tilde{\rho}) \dot{x}_{(n)}, \quad (7)$$

$$m \rho_l c_l \Delta T_{(n)} v_{(n)}^- = (\rho c \Delta T_{(n)} + m S_i \rho_i L) \dot{x}_{(n)},$$

$$x = x_{(d)}:$$

$$m(1 - S_i) v_{(d)}^- = m(1 - S_i (1 - \tilde{\rho})) \dot{x}_{(d)}, \quad (8)$$

$$m \rho_i L S_i = \rho c \Delta T_{(d)}.$$

Здесь  $\rho c = (1 - m) \rho_{sk} c_{sk} + m \sum_{j=g,l,i} S_j \rho_j c_j$  – удельная

объемная теплоемкость системы;  $c_j$  – удельная теплоемкость фаз,  $L$  – удельная теплота плавления льда;  $\Delta T_{(d)} = T_0 - T_{(n)}$ ,  $\Delta T_{(n)} = T_{(n)} - T_e$ ,  $\tilde{\rho} = \rho_i / \rho_l$ . Верхние значки (+) и (–) соответствуют значению параметров, терпящих разрыв, перед и за границей. Во всем пласте величину  $\rho c$  будем считать постоянной, поскольку основной вклад в нее вносят параметры скелета пористой среды.

Из условия баланса тепла на дальней границе получаем температурный критерий проникновения воды в пористый пласт

$$\Delta T_{(d)} = \frac{m \rho_i L}{\rho c}.$$

Анализ показывает, что для большинства пористых сред значение исходной температуры пласта, при которой еще возможно проникновение воды в грунт, составляет около 253 К.

Сформулированная задача имеет автомодельное решение. Введем автомодельную переменную  $\xi = x / \sqrt{\aleph^{(p)} t}$  ( $\aleph^{(p)} = \frac{k_0 \Delta p}{m \mu_l}$ ), где  $\aleph^{(p)}$  –

пьеzoпроводность пласта,  $\Delta p = p_e - p_0$  – перепад давления в пласте,  $\mu_l$  – динамическая вязкость воды. Закон движения границы фазовых переходов будем искать в виде

$$x_{(s)} = \xi_{(s)} / \sqrt{\aleph^{(p)} t}, \quad \text{где } s = n, d.$$

Проинтегрировав уравнения (1) и (5) с учетом выражений (2) и (6), а также начальных и граничных условий, для каждой из областей получаем следующие аналитические решения:

$$\xi = \xi_{(n)} : P_{(1)} = p_e + (P_{(n)} - p_e) \frac{\xi}{\xi_{(n)}}, \quad (9)$$

$$\xi_{(n)} \leq \xi \leq \xi_{(d)} :$$

$$P_{(2)} = P_{(n)} + (P_0 - P_{(n)}) \frac{\xi - \xi_{(n)}}{\xi_{(d)} - \xi_{(n)}}, \quad (10)$$

$$\xi = \xi_{(d)} : P_{(3)} = P_0. \quad (11)$$

После подстановки аналитических решений (9)–(11) в систему граничных условий (7)–(8), она принимает вид:

$$\xi = \xi_{(n)} :$$

$$\frac{(1 - S_i)^3 \Delta P_{(d)}}{\xi_{(d)} - \xi_{(n)}} - \frac{1 - \Delta P_{(d)}}{\xi_{(n)}} = \frac{\xi_{(n)}}{2} S_i (1 - \tilde{\rho}), \quad (12)$$

$$\frac{1 - \Delta P_{(d)}}{\xi_{(n)}} = \frac{\xi_{(n)}}{2} \frac{(1 - \theta_{(d)}) + m \tilde{\rho}_i Ja S_{i0}}{m \tilde{\rho}_i \tilde{c}_l (1 - \theta_{(d)})},$$

$$\xi = \xi_{(d)} :$$

$$\frac{(1 - S_i)^3 \Delta P_{(d)}}{\xi_{(d)} - \xi_{(n)}} = \frac{\xi_{(d)}}{2} (1 - S_i (1 - \tilde{\rho})), \quad (13)$$

$$\theta_{(d)} = m \tilde{\rho}_i Ja S_i.$$

Здесь  $\tilde{\rho}_l = \rho_l / \rho$ ,  $\tilde{\rho}_i = \rho_i / \rho$ ,  $\tilde{c}_l = c_l / c$ ,

$$J_a = L / c \Delta T, \quad \Delta T = T_e - T_0, \quad \Delta P_{(d)} = \frac{P_{(n)} - P_0}{P_e - P_0},$$

$$\theta_d = \frac{T_{(n)} - T_0}{T_e - T_0}.$$

**Результаты расчетов.** Таким образом, теоретическое описание полей давления и температур свелось к нахождению трех неизвестных параметров  $\xi_{(n)}$ ,  $\xi_{(d)}$  и  $P_{(d)}$  из системы (12) и (13). Такая система может быть решена численно, например, методом итераций. Для параметров, определяющих свойства пористой среды (если специально не оговорено), воды и льда приняты следующие величины:  $k_0 = 10^{-12} \text{ м}^2$ ,  $\rho c = 1.6 \times 10^6 \text{ Дж/К} \cdot \text{кг}$ ,  $\lambda = 0.105 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ ,  $\rho_l = 10^3 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_i = 900 \text{ кг/м}^3$ ,  $S_{i0} = 0.5$ ,  $\mu_l = 10^{-3} \text{ кг/м} \cdot \text{с}$ ,  $L = 3.4 \times 10^5 \text{ Дж/кг}$ ,  $T_0 = 268 \text{ К}$ ,  $p_0 = 0.1 \text{ МПа}$ ,  $p_e = 0.12 \text{ МПа}$ ,  $c_l = 4200 \text{ Дж/К} \cdot \text{кг}$ .

На рис. 2 и 3 представлены картины полей температуры, давления и льдонасыщенности для различных значений температур закачиваемой воды  $T_e$ . Линии 1, 2 и 3 на рис. 2 соответ-

ствуют значениям температур инжектируемой воды  $T_e = 300, 320$  и  $340 \text{ К}$ . Как следует из данного рис., с увеличением температуры инжектируемой воды при одном и том же значении граничного давления уменьшается ширина промерзшей области, определяемая значениями подвижных границ  $\xi_{(n)}$  и  $\xi_{(d)}$ .

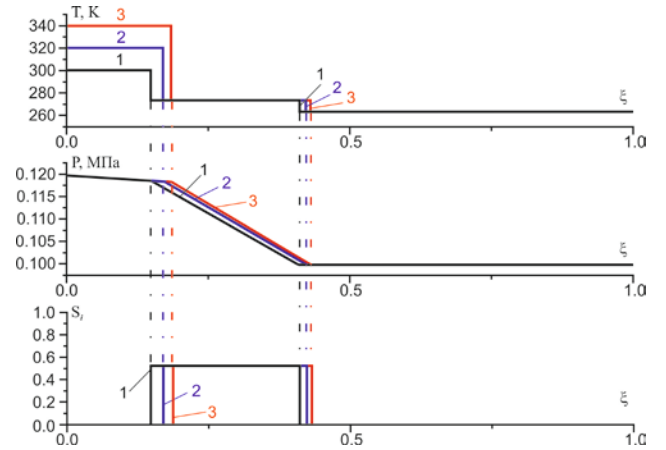


Рис. 2. Распределение температуры, давления и льдонасыщенности в пористой среде при различных значениях температуры нагнетаемой воды:  $T_e = 300$  (1),  $320$  (2) и  $340 \text{ К}$  (3)

На рис. 3 представлены результаты расчетов при пористости среды  $m = 0.2$  для моментов времени  $t = 1$  час (сплошная линия) и  $t = 1$  сутки (пунктирная линия). Линии 1 и 2 соответствуют значениям температур инжектируемой воды  $T_e = 300$  и  $340 \text{ К}$ . Из данного рис. видно, что увеличение температуры инжектируемой воды через сутки приводит к многократному росту промежуточной области.

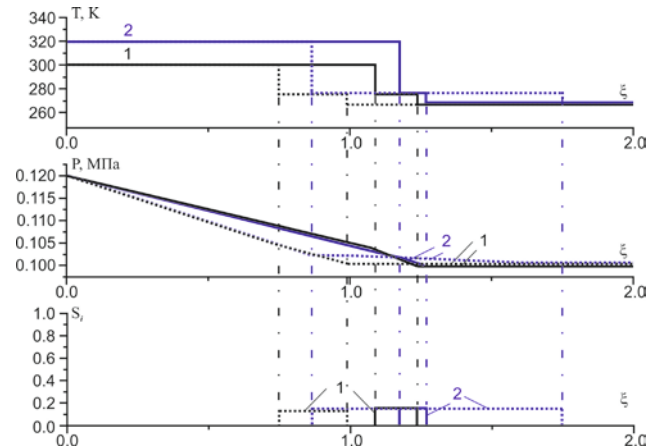


Рис. 3. Распределение температуры, давления и льдонасыщенности в пористой среде при различных значениях температуры нагнетаемой воды:  $T_e = 300$  (1) и  $340 \text{ К}$  (2) при  $t = 1$  час (сплошная линия) и  $t = 1$  сутки (пунктирная линия)



На рис. 4 представлены картины полей температуры, давления и льдонасыщенности для различных исходных температур пористой среды  $T_0$ . Линии 1, 2 и 3 соответствуют значениям температур пористой среды  $T_0 = 271, 263$  и  $258$  K. Как следует из представленных графиков, по мере снижения температуры грунта процесс «прихвата» тепла холодной средой происходит более интенсивно. Видно, что при уменьшении исходной температуры пористой среды на 10 K ширина промерзшей зоны сокращается примерно в два раза, при этом льдонасыщенность пор увеличивается примерно в три раза. Из граничного условия для баланса тепла (6) получаем условие проникания воды в холодный пористый пласт:  $T_0 = T_{(n)} - m\rho_i L / \rho c$ . Как показывают расчеты, для большинства пористых сред эта величина составляет около 293 K.

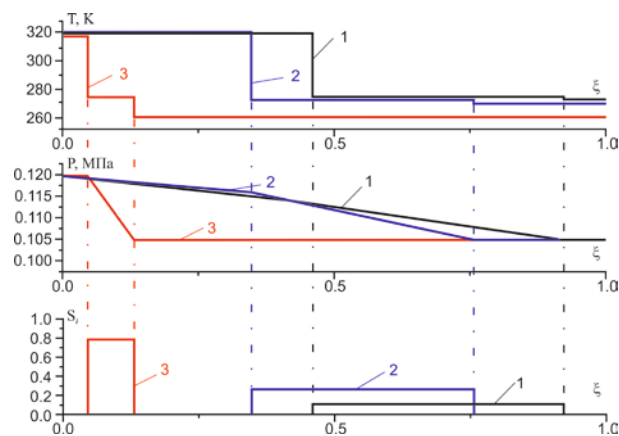


Рис. 4. Распределение температуры, давления и льдонасыщенности в пористой среде при различных исходных температурах среды:  $T_e = 271$  (1),  $263$  (2) и  $258$  K (3)

**Заключение.** На основе построенных автомодельных решений проведен численный анализ, иллюстрирующий влияние исходных параметров сухой пористой среды, насыщенной газом, а также температуры закачиваемой воды на распределение температуры и давления в пористой среде.

Установлено, что снижение температуры инжектируемой воды приводит к снижению скорости образования льда. При низкой исходной температуре пористой среды область образования льда оказывается локализованной в достаточно узкой области около границы нагнетания воды. Получено условие проникания воды в сухой холодный пористый пласт.

Более простая постановка и случай, когда в третьей зоне в начальный момент присутствует лед, был рассмотрен в [4, 5].

*Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фонда фундаментальных исследований Президиума РАН (П-43) и Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 14-01-97004-р\_поволжье\_a и № 16-01-00432-a).*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов. М.: Высшая школа, 1973. 448 с.
2. Лейбензон А.С. Движения природных жидкостей и газов в пористой среде. М.: ОГИЗ, 1947. 244 с.
3. Баренблатт Г.И., Ентов В.М., Рыжик В.М. Движение жидкостей и газов в природных пластах. М.: Недра, 1984. 211 с.
4. Шагапов В.Ш., Запивахина М.Н. Численное моделирование процесса разложения газогидратов при инжекции газа в пористую среду // Теоретические основы химических технологий. 2012. Т. 46, № 3. С. 293–302.
5. Шагапов В.Ш., Галимзянов М.Н., Запивахина М.Н. Моделирование процесса образования льда при инжекции воды в пористую среду, насыщенную льдом и газом // Вестник Башкирского государственного университета. 2013. Т. 18, № 1. С. 22–26.

## References

1. Tsytoovich N.A. Mechanics of frozen soils. Moscow, Vysshaya shkola, 1973. 448 p.
2. Leybenzon A.S. Movement of natural liquids and gases in porous media. Moscow, OGIZ, 1947. 244 p.
3. Barenblatt G.I., Entov V.M., Ryzhik V.M. Movement of liquids and gases in natural reservoirs. Moscow, Nedra, 1984. 211 p.
4. Shagapov V.Sh., Zapivakhina M.N. Numerical modelling of gas hydrate decomposition during gas injection into porous medium. Theoretical Foundations of Chemical Engineering, 2012, vol. 46, no. 3. pp. 248–257.
5. Shagapov V.Sh., Galimzyanov V.N., Zapivakhina M.N. Simulation of ice formation during water injection into porous medium saturated with ice and gas. Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo universiteta, 2013, vol. 18, no. 1. pp. 22–26.



**SIMULATION OF THE PROCESS OF ICE FORMATION DURING THE INJECTION  
OF WATER INTO DRY POROUS MEDIUM**

© V.Sh. Shagapov<sup>1</sup>, M.N. Galimzyanov<sup>1</sup>, M.N. Zapivakhina<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mavlyutov Institute of Mechanics, Ufa Scientific Centre, RAS,  
71, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

<sup>2</sup> Birk Branch, Bashkir State University  
10, ulitsa Internatsionalnaya, 452453, Birk, Russian Federation

Using the flat one-dimensional self-similar formulation, the article considers the problem of ice formation in cold dry porous medium saturated with gas (air) during the injection of warm water. Numerical analysis based on previously developed self-similar solutions has been performed to illustrate the effect of the initial parameters of the dry porous medium saturated with gas as well as the temperature of the injected water on the distribution of temperature and pressure in the porous medium. It has been found that the reduction in the temperature of the injected water results in a lower rate of ice formation. At low initial temperature of the porous medium, the zone of ice formation turns out to be localized in a rather narrow region near the boundary of water injection. A condition has been obtained for the penetration of water into cold dry porous strata.

Key words: injection, filtration, porous medium, ice formation.

УДК 621.64

## СОПРЯЖЕНИЯ КОНИЧЕСКОЙ И ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ

© Р.Ш. Гимадиев

При проектировании соединения трубопроводов, имеющих формы части конуса и цилиндра или двух цилиндров, приходится решать задачу сопряжения поверхностей и определения линии кривой соединения или развертки части цилиндра. Рассматриваются математические задачи о сопряжении конической поверхности с цилиндрической, а также двух цилиндрических поверхностей.

Ключевые слова: математическое моделирование, сопряжение, трубопроводы, конус, цилиндр, край, лекало.

При проектировании соединения трубопроводов различной геометрии, имеющих формы части конуса и цилиндра, актуальной задачей является определение линии сопряжения поверхностей. Наиболее близкие задачи к этой теме рассмотрены в работах [1, 2]. Требуется определение развертки соединения цилиндрической части поверхности (края) для последующего наложения и определения линии соединения. Также эти вопросы актуальны при расчете на прочность, где исходным является определение начального состояния соединения трубопроводов, находящихся под давлением рабочей среды.

Рассмотрим три вида соединения: оси конуса и цилиндра перпендикулярны; конус вырождается в цилиндр; оси конуса и цилиндра параллельны.

**1. Оси конуса и цилиндра перпендикулярны.** Рассмотрим сопряжение смещенной относительно оси  $Oz$  цилиндрической поверхности с радиусом  $r$  и части конической поверхности с текущим радиусом  $bz$  (рис. 1). Оси цилиндра и конуса перпендикулярны. Положение основания цилиндра относительно оси конуса определяется параметром  $l$ . Найдем линию сопряжения этих поверхностей и площадь поверхности цилиндра от основания до линии сопряжения.

Поверхности конуса с вершиной в начале координат  $Oxyz$  и смещенного цилиндра относительно начала координат вдоль оси  $Oz$  на величину  $z_0$  (рис. 1) описываются уравнениями

$$\begin{aligned} x^2 + y^2 &= (bz)^2, \\ x^2 + (z - z_0)^2 &= r^2, \end{aligned} \quad (1.1)$$

где параметр  $b$  является безразмерной величиной.

Исключая из системы (1.1)  $x^2$ , имеем

$$y = \sqrt{(z - z_0)^2 + (bz)^2 - r^2}. \quad (1.2)$$

Уравнение (1.2) определяет линию пересечения поверхностей в проекции на плоскость  $Oyz$ .

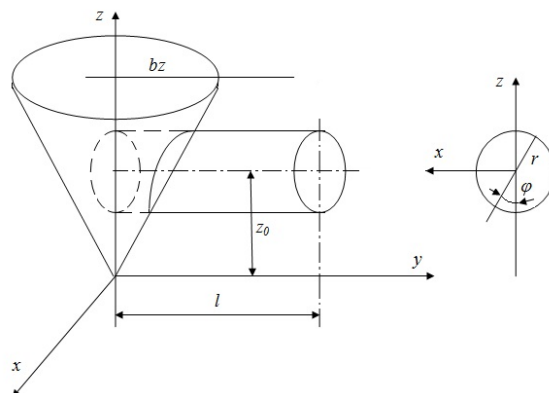


Рис. 1

Для сопряжения поверхностей введем следующие ограничения на определяющие параметры:

$$bz \geq r, z_0 \geq r + r/b. \quad (1.3)$$

Определим площадь части цилиндра, который сопрягается с конусом, для этого рассмотрим поверхностный интеграл первого рода  $I = \iint_{(D)} d\sigma$ .

Для описания геометрии части сопряжения цилиндрической поверхности введем параметрические уравнения  $x = x(\varphi, y), z = z(\varphi, y), y = y$ . На основании рис. 1 имеем

$$x = r \sin \varphi, z = z_0 - r \cos \varphi, y = y. \quad (1.4)$$

Тогда в новой криволинейной системе координат поверхностный интеграл примет вид

$$I = \iint_{(D^*)} J d\varphi dy,$$

где Якобиан преобразования координат определяется по формуле

$$J = \left| \begin{pmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ x_\varphi & z_{uu} & y_\varphi \\ x_y & z_y & y_y \end{pmatrix} \right| = \left| \begin{pmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ r \cos \varphi & r \sin \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \right| = r.$$

Тогда полная площадь цилиндра до линии сопряжения определяется как

$$F = 2 \int_0^\pi r d\varphi \int_{y_c}^l dy. \quad (1.5)$$

Здесь нижний предел интегрирования по  $y$  определяется по формуле (1.2)

$$y_c = \sqrt{(z - z_0)^2 + (bz)^2 - r^2}.$$

В криволинейных координатах линия сопряжения в плоскости  $Oyz$  с учетом (1.4) примет вид

$$y = \sqrt{(1 + b^2)r^2 \cos^2 \varphi - 2bz_0 \cos \varphi + b^2 z_0^2 - r^2}.$$

Тогда площадь сопряженного цилиндра определяется выражением

$$F = 2\pi lr - 2r \int_0^\pi \sqrt{(1 + b^2)r^2 \cos^2 \varphi - 2bz_0 \cos \varphi + b^2 z_0^2 - r^2} d\varphi. \quad (1.6)$$

Интеграл (1.6) при произвольных параметрах определяется одним из численных методов интегрирования: методом Эйлера, Адамса или Рунге – Кутта.

**Пример расчета.** С учетом ограничений (1.3) приведем расчеты при следующих исходных параметрах:

$$b = 1, z_0/r = 2, l/r = 4.$$

Расчет линии сопряжения в плоскости  $Oyz$  приведен в табл. 1, выражение (1.2) при этих параметрах имеет вид

$$y/r = \sqrt{2k^2 - 4k + 3}, \quad (1.7)$$

где  $k = z/r$ .

Линия сопряжения в проекции на плоскость  $Oyz$  (в соответствии с табл. 1) изображена на рис. 2.

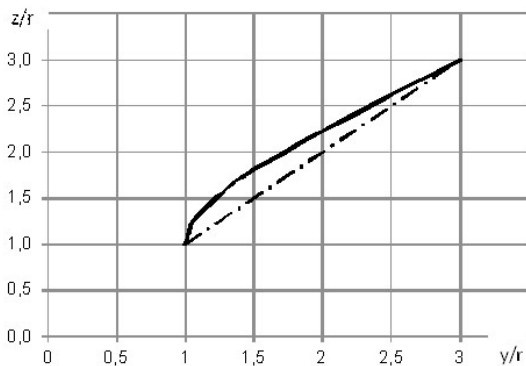


Рис. 2

### Определение развертки (края) цилиндра сопряжения.

Если  $y/r = f(k) = \sqrt{2k^2 - 4k + 3}$ , линию развернуть по дуге  $s = r\varphi$ , то функция  $(l - y)/r = f(s)$  и будет определять край части сопряжения цилиндра. Эти расчеты приводятся в табл. 2. На рис. 3 приводится край половины поверхности сопряжения цилиндра.

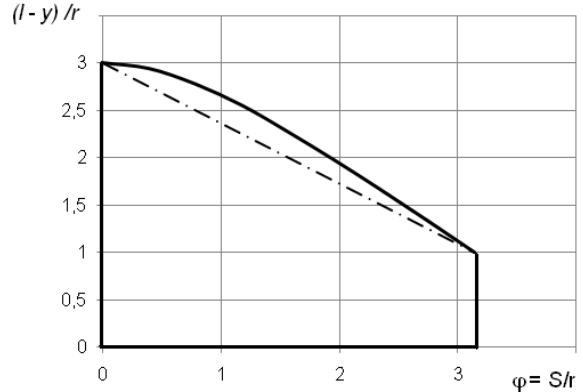


Рис. 3

**2. Сопряжение двух цилиндров с взаимно перпендикулярными осями.** Эта задача является продолжением первой задачи, когда конус вырождается в цилиндр. Найдем линию сопряжения двух цилиндров с радиусами  $r_1$  и  $r_2$ .

Пусть в системе координат  $Oxuz$  уравнения поверхности первого цилиндра с радиусом  $r_1$  и смещенного цилиндра с радиусом  $r_2$  относительно начала координат вдоль оси  $Oz$  на величину  $z_0$  описываются уравнениями

$$\begin{aligned} x^2 + y^2 &= r_1^2, \\ x^2 + (z - z_0)^2 &= r_2^2. \end{aligned} \quad (2.1)$$

Исключая из системы (2.1)  $x^2$ , имеем

$$y = \sqrt{(z - z_0)^2 + r_1^2 - r_2^2}. \quad (2.2)$$

Уравнение (2.2) определяет линию пересечения поверхностей в проекции на плоскость  $Oyz$ . Для сопряжения поверхностей необходимо  $r_1 \geq r_2$ .

Определим площадь части цилиндра с радиусом  $r_2$ , основание которого расположено на расстоянии  $l$  от плоскости  $Oxz$ , который сопрягается с первым цилиндром, с помощью поверхностного интеграла.

Для описания геометрии части сопряжения цилиндрической поверхности введем параметрические уравнения  $x = x(\varphi, y), z = z(\varphi, y), y = y$  в виде

$$x = r_2 \sin \varphi, z = z_0 - r_2 \cos \varphi, y = y. \quad (2.3)$$

Таблица 1

$k = z/r$	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00
$y/r$	1	1,061	1,225	1,43	1,732	2,031	2,345	2,669	3

Таблица 2

$\varphi = S/r$	0	$\pi/8$	$\pi/4$	$3\pi/8$	$\pi/2$	$5\pi/8$	$3\pi/4$	$7\pi/8$	$\pi$
$(l-y)/r$	3	2,939	8,775	2,550	2,268	1,969	1,655	1,331	1

Таблица 3

$\varphi = S/r$	0	$2\pi/32$	$4\pi/32$	$6\pi/32$	$8\pi/32$	$9\pi/32$	$10\pi/32$	$11\pi/32$	$12\pi/32$	$13\pi/32$	$14\pi/32$	$15\pi/32$	$31\pi/64$	$16\pi/32$
$(l-y)/r$	1	1,019	1,076	1,169	1,293	1,366	1,444	1,529	1,617	1,710	1,805	1,902	1,951	2

Тогда полная площадь второго цилиндра с радиусом  $r_2$  до линии сопряжения определяется как

$$F = 2 \int_0^\pi r_2 d\varphi \int_{y_c}^l dy, \quad (2.4)$$

здесь нижний предел интегрирования по  $y$  определяется по формуле (2.2)

$$y_c = \sqrt{(z - z_0)^2 + r_1^2 - r_2^2}.$$

В криволинейных координатах линия сопряжения в плоскости  $Oyz$  примет вид

$$y = \sqrt{r_2^2 \cos^2 \varphi + r_1^2 - r_2^2}. \quad (2.5)$$

Тогда площадь сопряжения цилиндра определяется выражением

$$F = 2\pi r_2 l - 2r \int_0^\pi \sqrt{r_2^2 \cos^2 \varphi + r_1^2 - r_2^2} d\varphi. \quad (2.6)$$

**Пример расчета.** Приведем расчеты при следующих исходных параметрах:

$$r_1 = r_2 = r, z_0/r = 2, l/r = 2.$$

Площадь сопряжения цилиндра (2.6) при этих исходных данных определяется как

$$F = 4\pi r^2 - 4r \int_0^{\pi/2} \cos \varphi d\varphi = 4r^2(\pi - 1).$$

Для линии сопряжения в плоскости  $Oyz$  из (2.5) имеем  $y = r \cos \varphi$ . Разворачивая эту линию по дуге  $S = r\varphi$ , получаем развертку или лекало сопряжения цилиндра. Эти расчеты приведены в табл. 3.

На рис. 4 приводится край полного цилиндра с радиусом  $r_2 = r$ , построенного по табл. 3.

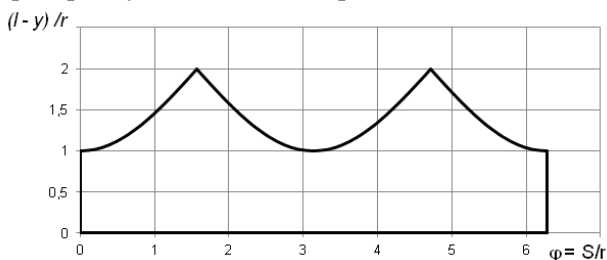


Рис. 4

На рис. 5 изображено соединение цилиндров, выполненное по лекалу рис. 4.

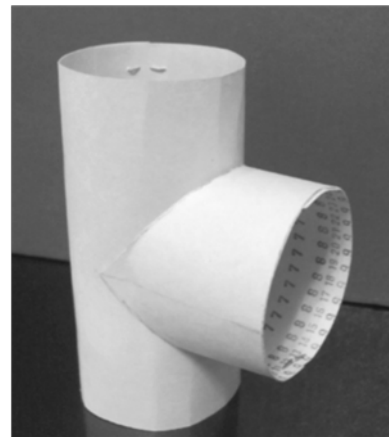


Рис. 5

**3. Соединение конуса и цилиндра с параллельными осями.** Найдем линию сопряжения этих поверхностей и площадь поверхности цилиндра от основания до линии сопряжения (рис. 6).

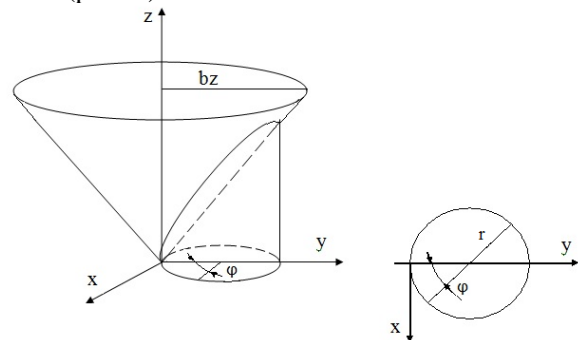


Рис. 6

Уравнения поверхностей смещенного цилиндра относительно начала координат вдоль оси  $Oy$  на величину  $y_0$  и конуса с вершиной в начале координат  $Oxyz$  (см. рис. 6) описываются уравнениями

$$\begin{aligned} x^2 + (y - y_0)^2 &= r^2, \\ x^2 + y^2 &= (bz)^2 \end{aligned} \quad (3.1)$$

или

$$\begin{aligned} x^2 + y^2 &= 2y_0y + r^2 - y_0^2, \\ x^2 + y^2 &= (bz)^2. \end{aligned} \quad (3.2)$$

Из равенства правых частей системы (3.2) следует

$$z = \sqrt{2y_0y + r^2 - y_0^2} / b. \quad (3.3)$$

Уравнение (3.3) определяет линию пересечения поверхностей в проекции на плоскость  $Oyz$ .

Площадь части цилиндра, который сопрягается с конусом, определяется поверхностным интегралом.

Для описания геометрии части сопряжения цилиндрической поверхности введем параметрические уравнения  $x = x(\varphi, z)$ ,  $y = y(\varphi, z)$ ,  $z = z$ . На основании рис. 6 имеем

$$x = r \sin \varphi, y = y_0 - r \cos \varphi, z = z. \quad (3.4)$$

Тогда в новой криволинейной системе координат поверхностный интеграл примет вид

$$F = 2 \int_0^\pi r d\varphi \int_0^{z_c} dz, \quad (3.5)$$

здесь верхний предел интегрирования по  $z$  определяется по формуле (3.3)

$$z_c = \sqrt{2y_0y + r^2 - y_0^2} / b.$$

Учитывая  $y = y_0 - r \cos \varphi$  (3.4), имеем

$$z_c = \sqrt{r^2 + y_0^2 - 2ry_0 \cos \varphi} / b.$$

Тогда площадь поверхности цилиндра до линии сопряжения составит

$$F = (2r/b) \int_0^\pi \sqrt{r^2 + y_0^2 - 2ry_0 \cos \varphi} d\varphi. \quad (3.6)$$

Исходя из геометрии сопряжения следует ограничение  $bz \geq y_0 + r$ .

При  $y_0 = r$  интеграл (3.6) упрощается:

$$F = (2r/b) \int_0^\pi 2r \sin \frac{\varphi}{2} d\varphi = 8r^2/b. \quad (3.7)$$

Полная площадь поверхности цилиндра равна  $4\pi r^2/b$ .

Следовательно, площадь сопряжения цилиндра составляет  $2/\pi$  от полной площади цилиндра.

Интеграл (3.6) при  $y_0 \neq r$  вычисляется одним из численных методов интегрирования. При выборе шага интегрирования и определения точности вычисления можно ориентироваться на точное решение (3.7).

**Определение развертки цилиндра сопряжения (кроя или лекало).** Если линию со-

пряжения цилиндра  $z = \sqrt{r^2 + y_0^2 - 2ry_0 \cos \varphi} / b$  в плоскости  $Oyz$  развернуть по дуге  $s = r\varphi$ , то функция  $z = f(s)$  и будет определять кривую части сопряжения цилиндра.

**Пример расчета.** Для случая  $y_0 = r$  имеем  $z = (2r/b) \sin \frac{\varphi}{2}$ ,  $s = r\varphi$ .

На рис. 7 приводится график половины поверхности цилиндра сопряжения, т.е. кроя или лекало части цилиндрической поверхности до линии сопряжения с конусом

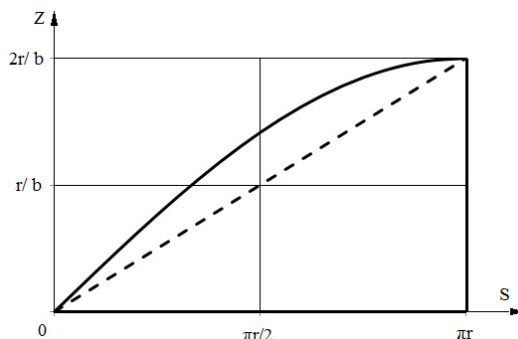


Рис. 7

**Выводы.** Результаты могут быть использованы в машиностроении при проектировании сопряжений криволинейных поверхностей, имеющих формы части конуса и цилиндра, и цилиндров с произвольными радиусами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Высоцкая Н.Н. и др. Технические развертки изделий из листового материала. Л. Машиностроение, 1968. С. 78–83.
2. Солнцев О.В. Способ получения разверток отрезков и отверстий в стволах тройников и крестовин: пат. RU 2346772 C2; опубл. 20.02. 2009. Бюл. № 5.

#### References

1. Vysotskaya N.N., Ierusalimskiy A.M., Nevelson R.A., Fedorenko V.A. Flat patterns for the components made of sheet material. Leningrad, Mashinostroenie, 1968, pp. 78–83.
2. Solntsev O.Yu. A method for producing flat patterns of branch pipes and holes in the stems of tee-joints and cross-pieces. Patent RF, no. 2346772 C2, February 20, 2009. Bulletin 5.

## INTERFACE BETWEEN CONICAL AND CYLINDRICAL SURFACES

© R.Sh. Gimadiev

Kazan State Power Engineering University,  
51, ulitsa Krasnoselskaya, Kazan, 420034, Russian Federation

When designing pipeline connections having the shape of a cone and a cylinder or two cylinders, it is necessary to solve the problem of interfacing their surfaces and defining the line of a curve for the connection or a flat pattern of the cylinder. The paper considers mathematical problems concerning the interface between conical and cylindrical surfaces and also between two cylindrical surfaces.

Key words: mathematical modelling, interface, pipelines, cone, cylinder, cutting, pattern.

УДК 519.624, 534.1

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОСТЕЛИ УПРУГОГО ОСНОВАНИЯ БАЛКИ С ШАРНИРНО ЗАКРЕПЛЕННЫМИ КОНЦАМИ ПО СОБСТВЕННЫМ ЧАСТОТАМ ЕЕ КОЛЕБАНИЙ

© А.А. Аитбаева

В инженерной практике часто встречаются балки, лежащие на сплошном упругом основании. В данной работе рассматривается один из видов таких балок – конечная однородная балка Эйлера–Бернулли с шарнирно закрепленными концами. Здесь упругое основание представляет собой систему не связанных между собой пружин, опирающихся на жесткое горизонтальное основание. Цель данной работы – по собственным частотам свободных изгибных колебаний балки определить коэффициент пропорциональности между нагрузкой и деформацией, который называется коэффициентом постели. Решение задачи заключается в решении прямой и обратной задач. Прямая задача представляет собой вычисление собственных значений поставленной краевой задачи. Обратная задача заключается в нахождении коэффициента в дифференциальном уравнении по найденным собственным значениям. Показано, что для определения коэффициента постели требуется знание лишь одной собственной частоты изгибных колебаний балки.

Ключевые слова: коэффициент постели; собственные значения; собственные частоты; балка; обратная задача.

**Введение.** В инженерной практике часто встречаются балки, лежащие на сплошном упругом основании. К таким балкам могут быть отнесены фундаменты зданий, шпалы железнодорожного пути, рельсы, трубопроводы и т. д. При этом величина реакции в каждой точке статически нагруженной балки зависит от ее прогиба, а прогиб, в свою очередь, зависит от реакции со стороны основания, таким образом, эта задача является статически неопределимой.

В данной работе применяется модель *Винклеровского основания*, связывающая величины реакций с деформацией основания. Упругое основание рассматривается как система опирающихся на жесткое горизонтальное основание не связанных между собой пружин, сжатие которых возрастает прямо пропорционально приложенной нагрузке. Коэффициент пропорциональности между нагрузкой и деформацией называется *коэффициентом постели*.

Соппротивление основания развивается только непосредственно под нагрузкой, поэтому модель Винклера хорошо отражает работу конструкции, если основание представлено жидкостью, и чаще всего этот метод используется при строительстве на слабых грунтах или в случае малой мощности слоя сжимаемого грунта.

Также существуют более сложные модели расчета конструкций на упругом основании, например, *модель Пастернака* [1, 2], модель упругого полупространства, имеется еще ряд так называемых условных моделей упругого основания [3–5]. Много работ посвящено расчетам балки на упругом основании (см., например, [6; 7, с. 172; 8, с. 141; 9, с. 365] и др.). В более сложной и строгой постановке нахождение коэффициента постели приведены в [10, 11]. В отличие от уже решенных задач в данной статье задача определения коэффициента постели рассматривается как динамическая и сводится к обратной. В такой формулировке требуется найти неизвестный параметр по собственным частотам изгибных колебаний.

**Постановка задачи.** Рассмотрим конечную однородную балку Эйлера – Бернулли постоянной изгибной жесткости  $EI = \text{const}$ , лежащую на упругом основании с коэффициентом постели  $k_0 = \text{const}$ . Уравнение изгибных колебаний балки запишется в виде [12]:

$$EI \frac{\partial^4 U(X, t)}{\partial X^4} + k U(X, t) + \rho F \frac{\partial^2 U(X, t)}{\partial t^2} = 0,$$

где  $U(X, t)$  – прогиб оси балки,  $\rho$  – ее плотность,  $F$  – площадь поперечного сечения балки,

$k = k_0 b$ ,  $b$  – ширина балки. При  $t = 0$  должны выполняться начальные условия [12]

$$U(X, 0) = f(X), \quad \frac{\partial U(X, 0)}{\partial t} = g(X),$$

где  $f(X)$ ,  $g(X)$  – функции, определяющие начальное положение оси балки.

Граничные условия не зависят от того, связана балка с упругим основанием или нет. Они определяются условиями закрепления и нагруженности концов стержня. Поэтому краевые условия шарнирно-опертого закрепления [12, с. 153,] могут быть перенесены на случай балок, связанных с упругим основанием:

$$X = 0: \quad U(0, t) = 0, \quad EI \frac{\partial^2 U(0, t)}{\partial X^2} = 0;$$

$$X = L: \quad U(L, t) = 0, \quad EI \frac{\partial^2 U(L, t)}{\partial X^2} = 0.$$

Вводя обозначения  $x = X/L$ ,  $u = U/L$ , запишем уравнение и краевые условия, приведенные выше, следующим образом:

$$\frac{\partial^4 u(x, t)}{\partial x^4} + \frac{L^4 k u(x, t)}{EI} + \frac{\rho F L^4}{EI} \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2} = 0,$$

$$x = 0: \quad u(x, t) = 0, \quad \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} = 0;$$

$$x = 1: \quad u(x, t) = 0, \quad \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} = 0.$$

Тогда при замене  $u(x, t) = y(x) \cos(\omega t)$  поставленная выше задача сводится к следующей спектральной задаче [12]:

$$y^{(4)} = \lambda^4 y, \tag{1}$$

$$U_1 = y(0) = 0, \quad U_2 = y''(0) = 0; \tag{2}$$

$$U_3 = y(1) = 0, \quad U_4 = y''(1) = 0.$$

Здесь

$$\lambda^4 = \frac{\rho F L^4 \omega^2}{EI} - \frac{L^4 k}{EI}. \tag{3}$$

Таким образом, имеем краевую задачу (1), (2) со спектральным параметром  $\lambda$  и неизвестным коэффициентом  $k$ . Прямая задача заключается в вычислении собственных значений  $\lambda_i$ , а обратная – в нахождении коэффициента постели  $k_0$  по собственным частотам изгибных колебаний балки.

**Решение прямой и обратной задач**

Найдем собственные значения  $\lambda_i$ .

$$\text{Функции } y_1(x, \lambda) = (\cos \lambda x + \cos h \lambda x) / 2,$$

$$y_2(x, \lambda) = (s \sin \lambda x + s \sinh \lambda x) / 2\lambda,$$

$$y_3(x, \lambda) = (-\cos \lambda x + \cos h \lambda x) / (2\lambda^2),$$

$$y_4(x, \lambda) = (-s \sin \lambda x + s \sinh \lambda x) / (2\lambda^3)$$

являются линейно независимыми решениями уравнения

$$y^{(4)}(x, \lambda) = \lambda^4 y(x, \lambda), \tag{4}$$

удовлетворяющими условиям

$$y_j^{(r-1)}(0, \lambda) = \begin{cases} 0, & j \neq r, \\ 1, & j = r \end{cases} \quad (j, r = 1, 2, 3, 4), \tag{5}$$

(другими словами, решения  $y_j(x, \lambda)$  ( $j=1, 2, 3, 4$ ) образуют фундаментальную систему Коши и выражаются через функции Крылова [12]). Общее решение уравнения (4) представляется в следующем виде:

$$y(x) = y(x, \lambda) = C_1 y_1(x, \lambda) + C_2 y_2(x, \lambda) + C_3 y_3(x, \lambda) + C_4 y_4(x, \lambda).$$

Для нахождения констант  $C_1 - C_4$  используем краевые условия (2):

$$U_i(y) = U_i(C_1 y_1 + C_2 y_2 + C_3 y_3 + C_4 y_4) = C_1 U_1(y_1) + C_2 U_2(y_2) + C_3 U_3(y_3) + C_4 U_4(y_4), \quad (i = \overline{1, 4}). \tag{6}$$

Уравнение для определения собственных значений задачи (1), (2) следует из условия существования ненулевого решения системы (6). Ненулевое решение существует тогда и только тогда, когда равняется нулю определитель системы

$$\Delta(\lambda) = \begin{vmatrix} U_1(y_1) & U_1(y_2) & U_1(y_3) & U_1(y_4) \\ U_2(y_1) & U_2(y_2) & U_2(y_3) & U_2(y_4) \\ U_3(y_1) & U_3(y_2) & U_3(y_3) & U_3(y_4) \\ U_4(y_1) & U_4(y_2) & U_4(y_3) & U_4(y_4) \end{vmatrix}. \tag{7}$$

Выражение (7) называется *характеристическим определителем* спектральной задачи (1), (2). Его нули совпадают с собственными значениями этой задачи. Учитывая условия (5), из (7) получаем

$$\Delta(\lambda) = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ U_3(y_1) & U_3(y_2) & U_3(y_3) & U_3(y_4) \\ U_4(y_1) & U_4(y_2) & U_4(y_3) & U_4(y_4) \end{vmatrix}.$$

Отсюда, с учетом (1), (2), имеем

$$\Delta(\lambda) = -\frac{\sin \lambda \sinh \lambda}{\lambda^2}. \tag{8}$$

Число собственных значений  $\lambda_i$  бесконечно, выпишем только первые три:

$$\lambda_1 = 3,141593, \lambda_2 = 6,283185, \lambda_3 = 9,424778. \tag{9}$$



Выразив из (3) коэффициент  $k$ , найдем решение обратной задачи

$$k = \rho F \omega_i^2 - \frac{EI \lambda_i^4}{L^4}, \quad (i = 1, 2, \dots).$$

Учитывая, что  $k = k_0 b$ , получим формулу для нахождения коэффициента постели

$$k_0 = \frac{\rho F \omega_i^2}{b} - \frac{EI \lambda_i^4}{bL^4}, \quad (i = 1, 2, \dots). \quad (10)$$

Справедливо следующее **утверждение**: для нахождения коэффициента постели, определяемого формулой (10), достаточно использовать одну собственную частоту.

Справедливость данного утверждения покажем на примере.

Пусть требуется определить коэффициент постели основания, на котором лежит железобетонная шпала  $E = 3,05 \times 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>,  $\rho = 2500$  кг/м<sup>3</sup> и длиной 2,7 м, с размерами поперечного сечения  $b \times h = 0,25 \times 0,18$  м<sup>2</sup>, по собственным частотам  $\omega_1 = 476,490$  рад/с,  $\omega_2 = 1064,279$  рад/с,  $\omega_3 = 2248,813$  рад/с.

Последовательно вычисляем все необходимые геометрические и жесткостные расчетные характеристики для заданной системы:  $I = bh^3/12 = 1,215 \times 10^{-4}$  м<sup>4</sup>,  $EI = 3,71 \times 10^6$  Нм<sup>2</sup>.

Данные взяты из справочника [13]. Подставив все полученные значения, а также собственные частоты в (10), получим:

$$k_{01} = \frac{EI \lambda_1^4}{bL^4} + \frac{\rho F \omega_1^2}{b} = 7,5 \times 10^7 \text{ Па/м},$$

$$k_{02} = \frac{EI \lambda_2^4}{bL^4} + \frac{\rho F \omega_2^2}{b} = 7,5 \times 10^7 \text{ Па/м},$$

$$k_{03} = \frac{EI \lambda_3^4}{bL^4} + \frac{\rho F \omega_3^2}{b} = 7,5 \times 10^7 \text{ Па/м}.$$

Как видим, для различных собственных частот мы получили такое же значение коэффициента постели. Из справочника [13, табл. 12.1] определяем, что основанием является балластный слой щебня.

**Заключение.** В данной работе мы показали, что коэффициент податливости основания можно найти по одной собственной частоте. Как показывает практика и многочисленные примеры, для более точного решения рекомендуется брать одну из первых собственных частот.

*Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (проект № 16-31-00077 мол\_а и проект № 16-31-00113 мол\_а).*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пастернак П.Л. Исследование пространственной работы монолитных железобетонных конструкций // Труды МИСИ. 1940. № 4.
2. Пастернак П.Л. Основы нового метода расчета фундаментов на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели. М.: Стройиздат, 1954.
3. Филоненко-Бородич М.М. Некоторые приближенные теории упругого основания // Ученые зап. МГУ. 1940. Вып. 46б.
4. Власов В.В., Леонтьев Н.Н. Техническая теория расчета фундаментов на упругом основании // Труды МИСИ. 1956. № 14.
5. Антоневиц П.Г. К расчету балок и плит, опирающихся на упругое основание // Изв. АН СССР. 1969. № 3.
6. Крылов А.Н. О расчете балок, лежащих на упругом основании. Л.: Изд-во АН СССР, 1931. 154 с.
7. Коллатц Л. Задачи на собственные значения (с техническими приложениями). М.: Наука, 1968. 504 с.
8. Баженов В.А., Оробей В.Ф., Дашенко А.Ф., Коломиец Л.В. Строительная механика (специальный курс. Применение метода граничных элементов). Одесса: Астропринт, 2001. 288 с.
9. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. М.: Наука, 1957. 444 с.
10. Ильгамов М.А., Иванов В.А., Гулин Б.В. Прочность, устойчивость и динамика оболочек с упругим наполнителем. М.: Наука, 1977. 332 с.
11. Ильгамов М.А., Иванов В.А., Гулин Б.В. Расчет оболочек с упругим наполнителем. М.: Наука, 1987. 264 с.
12. Вибрации в технике: справочник в 6 т. Т. 1. Колебания линейных систем / под ред. В.В. Болотина. М.: Машиностроение, 1978. 352 с.
13. Каримов И.Ш. Строительная механика: Теоретический курс с примерами типовых расчетов: учебное пособие. Уфа: Белая река, 2008. 280 с.

## References

1. Pasternak P.L. Study on spatial behaviour of reinforced monolithic constructions. Trudy MISI, no. 4. Moscow, Stroyizdat, 1940.
2. Pasternak P.L. The fundamentals of a new method for calculating elastic foundations using two bed coefficients. Moscow, Stroyizdat, 1954.
3. Filonenko-Borodich M.M. Some approximate theories of the elastic foundation. Uchenye zapiski MGU, 1940, no. 46, pp. 3–18.

4. Vlasov V.V., Leontyev N.N. Technical theory for calculating elastic foundations. Trudy MISI, no. 14, 1956.
5. Antonevich P.G. On calculations of beams and plates on elastic foundation. Izvestiya AN SSSR, Mekhanika tverdykh tel, 1969, no. 3.
6. Krylov A.N. On analysis of beams on elastic foundation. Leningrad, Izdatelstvo AN SSSR, 1931. 154 p.
7. Collatz L. Eigenwertaufgaben mit technischen Anwendungen. Russian edition. Moscow, Nauka, 1968. 504 p.
8. Bazhenov D.A., Orobey V.F., Dashchenko A.F., Kolomiets L.V. Structural mechanics (Special course. Application of the boundary element method). Odessa, Astroprint, 2001. 288 p.
9. Timoshenko S.P. Vibration problems in engineering. Moscow, Nauka, 1957. 444 p.
10. Ilgamov M.A., Ivanov V.A., Gulin B.V. Strength, stability and dynamics of shells with an elastic core. Moscow, Nauka, 1977. 332 p.
11. Ilgamov M.A., Ivanov V.A., Gulin B.V. Analysis of shells with an elastic core. Moscow, Nauka, 1987. 264 p.
12. Vibrations in engineering. Reference book in 6 volumes. Vol. 1. Vibrations of linear systems. V.V. Bolotin (ed.). Moscow, Mashinostroenie, 1978. 352 p.
13. Karimov I.Sh. Structural mechanics. Theoretical course with examples of type calculations. Training manual. Ufa, Belaya reka, 2008. 280 p.



## DETERMINATION OF THE BED COEFFICIENT FOR A BEAM HINGED ON ELASTIC FOUNDATION USING NATURAL FREQUENCIES OF ITS VIBRATIONS

© A.A. Aitbaeva

Mavlyutov Institute of Mechanics, Ufa Scientific Centre, RAS,  
71, prospect Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

Beams resting on a continuous elastic foundation are often encountered in engineering practice. This paper considers one of the types of such beams, namely, the finite homogeneous Euler-Bernoulli beam hinged on an elastic foundation. In this case the elastic foundation represents a system of unconnected springs resting on a rigid horizontal base. The purpose of this work is to determine the coefficient of proportionality between the load and the deformation (called the bed coefficient) using natural frequencies of flexural vibrations of the beam. The solution to the problem lies in attacking both primal and inverse problems. The primal problem deals with the computation of eigenvalues for the boundary problem under investigation. The inverse problem is to find a coefficient of the differential equation using the eigenvalues obtained. It is shown that to determine the bed coefficient we should know only one natural frequency of flexural vibrations of a beam.

Key words: bed coefficient, eigenvalues, natural frequencies, beam, inverse problem.

## SIMPLE MODEL OF THE ORIGIN OF THE UNIVERSE

© Sh.U. Galiev, T.Sh. Galiyev

Strongly nonlinear model of evolution of some pre-universe into our Universe is suggested. The evolution is described by the nonlinear Klein–Gordon equation (NKGE). Continuous and discontinuous solutions of the equation are presented which model very fast evolution some small piece of pre-universe into the Universe.

Key words: Pre-universe, nonlinear scalar fields, quantum action, discontinuous solutions, interaction of the fields.

### 1. Introduction, basic equation and solutions

Cosmologists described the history of the entire universe –from the present day all the way back to a fraction of a fraction of a second after the Universe beginning. For example, the Big Bang model and its modifications explain many of the detailed features of the Universe seen today [1–10]. But many cosmological theories cannot describe the very starting point.

How did the Universe come to be? Recently, it was suggested to use a model of the scalar fields so that to describe the origin of the Universe from so-called ‘pre-universe’. It was suggested in [11–13] that pre-universe evolution into the Universe might be described solely by nonlinear Klein–Gordon equation (NKGE). Approximate solutions of NKGE can describe the sequence of stages of this evolution [13].

**Versions of NKGE.** Here we develop some results presented in [13]. We assume that there is nothing in the pre-Universe except the scalar field. Let it be described by NKGE in the following form

$$\hat{\Phi}_{tt} - c_*^2 \sum_{i=1}^I \hat{\Phi}_{ii} = -\partial V(\hat{\Phi}) / \partial \hat{\Phi}. \quad (1)$$

Here  $c_*$  denotes a constant,  $I$  is an integer value ( $I \geq 1$ ) and  $V$  is the scalar field potential. The indexes denote the differentiation;  $\hat{\Phi}_{tt} = \partial^2 \hat{\Phi} / \partial t^2$ ,  $\hat{\Phi}_{ii} = \partial^2 \hat{\Phi} / \partial x_i^2$ , here  $x_i$  are the rectangular cartesian coordinates. These coordinates were used widely to describe complex processes in different arias of physics. In particular, turbulent processes are often described using these coordinates. Recently the collision of universes was

modelled with the help of the cartesian coordinates [14, 15]. We will use (1) to study the dynamics of the strongly nonlinear scalar massless field inside the multidimensional spacetime.

Different expressions for the function  $V$  can be found in many books and papers. We assumed that

$$V(\hat{\Phi}) = \frac{1}{2} m^2 \hat{\Phi}^2 - \frac{1}{4} \lambda \hat{\Phi}^4. \quad (2)$$

Here  $m^2$  and  $\lambda$  are constants. A solution of (1) is represented as a sum,

$$\hat{\Phi} = \bar{\Phi} + \Phi. \quad (3)$$

Here  $\bar{\Phi}$  is a stationary part and  $\Phi$  is a dynamic part of the scalar field. Using (3) we can obtain from (1) two equations for  $\bar{\Phi}$  and  $\Phi$ :

$$-c_*^2 \sum_{i=1}^I \bar{\Phi}_{ii} = -m^2 \bar{\Phi} + \lambda \bar{\Phi}^3, \quad (4)$$

$$\Phi_{tt} - c_*^2 \sum_{i=1}^I \Phi_{ii} = -m^2 \Phi + \lambda(3\bar{\Phi}^2 \Phi + 3\bar{\Phi} \Phi^2 + \Phi^3) \quad (5)$$

Equation (5) is not integrable in the general case. So to simplify the problem, we will consider static and dynamic parts of the scalar potential as independent functions. In this case, (5) yields

$$\Phi_{tt} - c_*^2 \sum_{i=1}^I \Phi_{ii} = -m^2 \Phi + \lambda \Phi^3. \quad (6)$$

Thus, we assume that  $\bar{\Phi} \Phi \approx 0$  in (5). The case will be studied when the stationary and dynamic parts are described by the equations (4) and (6).

**New variables and a simplified model of NKGE.** We can not tell what pre-universe looked

like. However, we can assume that some structures inside the pre-universe were similar to those of the very early Universe. Therefore we assume that pre-universe contains multidimensional spherical structures. The following new variables are used to describe these structures and different scenarios of the evolution of the scalar field:

$$\eta = -\bar{K} \sum_i^I \sin^2 \vartheta x_i ,$$

$$\xi = R^* + B \sin^2 \omega t - K \sum_i^I \sin^2 \vartheta x_i . \quad (7)$$

Here  $\bar{K} = \bar{K}(x_i, t)$ ,  $\vartheta = \vartheta(x_i, t)$ ,  $R^* = R^*(x_i, t)$ ,  $B = B(x_i, t)$ ,  $\omega = \omega(x_i, t)$  and  $K = K(x_i, t)$ . Let us assume that the dependence of the coefficients from coordinates and time is very weak. Therefore we will assume the coefficients  $\bar{K}$ ,  $\vartheta$ ,  $R^*$ ,  $B$ ,  $\omega$  as constants considering any local structures of the scalar field.

Using (7) we can find expressions  $\bar{\Phi}_{tt}$ ,  $\bar{\Phi}_{ii}$ ,  $\Phi_{tt}$  and  $\Phi_{ii}$ . For example,

$$\begin{aligned} \bar{\Phi}_{tt} &= \frac{1}{2} \omega^2 B^2 \Phi_{\xi\xi} (1 - \cos 4\omega t) + \\ &+ 2\omega^2 B \Phi_{\xi} \cos 2\omega t, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \bar{\Phi}_{ii} &= \vartheta^2 K^2 \Phi_{\xi\xi} \sin^2 2\vartheta x_i - \\ &- 2\vartheta^2 K \Phi_{\xi} \cos 2\vartheta x_i. \end{aligned} \quad (9)$$

Then, we will ignore in (8), (9) the terms explicitly dependent on the harmonics. In this case, using (7) we rewrite equations (4) and (6) in the form

$$\frac{1}{2} c_*^2 \vartheta^2 \bar{K}^2 I \bar{\Phi}_{\eta\eta} - m^2 \bar{\Phi} + \lambda \bar{\Phi}^3 = 0, \quad (10)$$

$$\frac{1}{2} (\omega^2 B^2 - c_*^2 \vartheta^2 K^2 I) \Phi_{\xi\xi} + m^2 \Phi - \lambda \Phi^3 = 0. \quad (11)$$

Thus, we have reduced the problem to the consideration of the ordinary differential equations. As a result, we strongly simplify the analysis of the equation (1). In general, this approach is widely used in cosmology for the modelling of scalar field dynamics [10, 12, 16–19]. This approximation allows to obtain observable results and to identify the main trends in the development of fundamental processes.

We emphasize that very strongly nonlinear fields will be considered, when the coefficient  $\lambda$  varies within very wide limits. In particular, cases will be considered when  $\lambda$  changes from  $10^{-20}$  to  $10^{20}$ .

**Basic solutions.** The localised exact solutions of (10) and (11) are sought in the form

$$\bar{\Phi} = \bar{A} \operatorname{sech} \eta, \quad \Phi = A \operatorname{sech} \xi. \quad (12)$$

Using (12) we found from (10) and (11) that

$$\bar{A}_0 = A_0 = 0, \quad \bar{A}_{\pm} = A_{\pm} = \pm \sqrt{2\lambda}^{-0.5} m, \quad (13)$$

$$\vartheta^2 \bar{K}^2 = 2m^2 c_*^{-2} I^{-1},$$

$$\omega^2 B^2 = -2m^2 + c_*^2 \vartheta^2 K^2 I. \quad (14)$$

The amplitudes (13) are determined by the values  $m^2$  and  $\lambda$ . Values  $\vartheta$ ,  $\bar{K}$ ,  $B$ ,  $\omega$  and  $K$  are not completely determined by (14). We will consider these values as arbitrary. Thus, the three solutions for static and dynamic parts of the field are found. We can not really know what are those scalar fields represented by these solutions. But we can assume that the solutions correspond to 3 types of dynamic fields (vacuums) [20]. We will call of them as positive ( $A = A_+$ ), negative ( $A = A_-$ ) and zero ( $A = A_0$ ) fields determined according to (13).

It can be imagined that the birth of the Universe may be associated with the interaction of these fields. We will now investigate this idea.

**Remarks.** The expression  $\xi$  (7) can be compared with the Minkowski formula linking time and space. Indeed, if  $R^* = 0$  and  $\omega t$ ,  $\vartheta x_i$  are very small, the expression  $\xi$  describes the distance from arbitrary point of spacetime to point  $t = 0$ ,  $x_i = 0$ .

We used the variables  $t$ ,  $x_i$  and  $\eta$ ,  $\xi$  (7). We will assume, for the most part, that the scalar field and its corresponding derivatives are finite and continuous function of these variables. At the same time we will consider also cases of exception, when the equation (11) has discontinuous solutions.

Our interpretation of the above is that the spacetime of the pre-universe is pervaded by a number of scalar fields. Perhaps, these fields determine different vacuum energies.

## 2. Landscapes and instant quantum actions

How can we interpret the expressions (7), (12)–(14) written using the cartesian coordinates. On the other hand – how can we introduce a quantum action so that to describe the evolution of pre-universe into the Universe?

Landscapes. At first we consider the landscape of the scalar field so that to appreciate its dynamics. Generally speaking, using the solutions (13) we can construct smooth as well as discontinuous landscapes. Here a smooth landscape is considered. Assuming  $A = \bar{A} = A_- = -\sqrt{2\lambda}^{-0.5} m$  (13) and using (12) and (3) we find that

$$2^{-0.5} \lambda^{0.5} m^{-1} \hat{\Phi} = -\operatorname{sech} \eta - \operatorname{sech} \xi. \quad (15)$$

The expressions (15) and (2) allow us to calculate the scalar function and the scalar potential.

In particular, expression  $2^{-0.5}\lambda^{0.5}m^{-1}\hat{\Phi}$  (15) determines a landscape of the scalar field which is described by static and dynamic parts. We stress that if  $\eta$  and  $\xi$  are very large then  $\hat{\Phi} \approx 0$ .

For simplicity, the two-dimensional landscapes of  $\hat{\Phi}$  will be calculated. In Figs. 1 and 2 the results of the model calculations are presented. It is assumed that  $R^* = 5$ ,  $B = 25$ ,  $\omega = 1$ ,  $K = 300$ ,  $\mathfrak{S} = 0.15$  and  $\bar{K} = 0.85$ . We stress that  $K = 300$  is used. In this case, the solution (12) for dynamical part describes a structure having a very thin wall.

The stationary part of the scalar field describes a landscape which consists of ridges and valleys (Fig. 1 left). The highest value of the function is reached at the top of the ridges. The dynamical part of the field disturbs the stationary picture in the valleys where a thin ring radially oscillates (Fig. 1 right). This ring may be named as the oscillon [21].

This oscillon corresponds to a multidimensional oscillating bubble (sphere, clot) which can have a very thin wall. The lowest value of the dynamic field (negative field) is reached in this wall. Within the bubble  $\Phi \approx 0$  if the wall is very thin ( $K \rightarrow \infty$ ).

Substituting (12), (13) into (3) and (2) we approximately find that

$$\lambda m^{-4}V(\hat{\Phi}) = \text{sech}^2 \eta + \text{sech}^2 \xi - \text{sech}^4 \eta - \text{sech}^4 \xi. \quad (16)$$

The expression (16) determines a landscape of the scalar potential (Fig. 2 right) which takes into account static and dynamic parts of the field.

The dynamic part (bubble, sphere, clot) of the scalar field oscillates inside of the scalar potential well (Fig.2 right). This part cannot escape from the well unless it is given a large enough energy influx. We assume that similar landscapes describe the scalar potential of some pre-universe.

Thus, according to our model the pre-universe is a system of infinite number of bubbles oscillating in potential wells. The bubbles may be slightly different from each other since the coefficients in (7) may be different slightly. The bubbles contain scalar fields which were called as the zero fields. The negative fields are concentrated in the surface of the bubbles. We can compare the zero fields with pressure of gas in some elastic bubble and the negative fields may be some analogue of the surface tension. Thus, this negative field (which was described as  $-\sqrt{2}\lambda^{-0.5}m \text{sech} \xi$  (12), (13)) does not allow to increase strongly the volume of the bubble. We can use another parallel for the oscillating bubbles. Let us suggest that the ‘potential’ energy of bubbles transforms partly into ‘kinetic’ energy and vice versa. In other words, the zero field (pressure) transforms partly into the negative field (tension) and back.

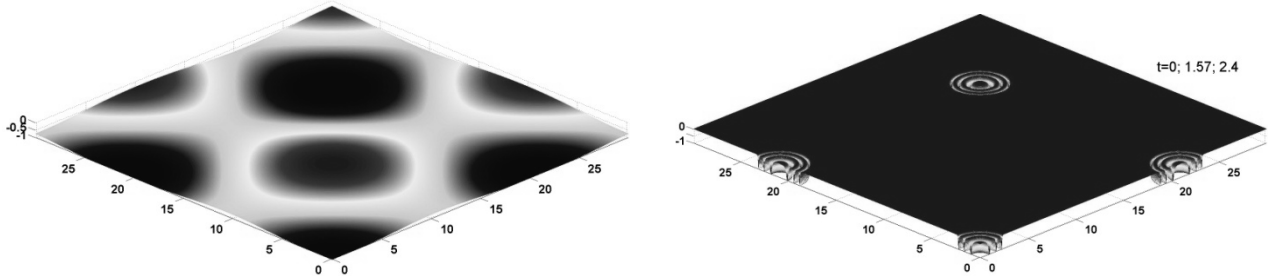


Fig. 1. The static (left) and dynamic (right) two-dimension schemes of the landscape of the scalar function. The dynamic landscapes were calculated at three dimensionless moments of time: 0, 1.57 and 2.4

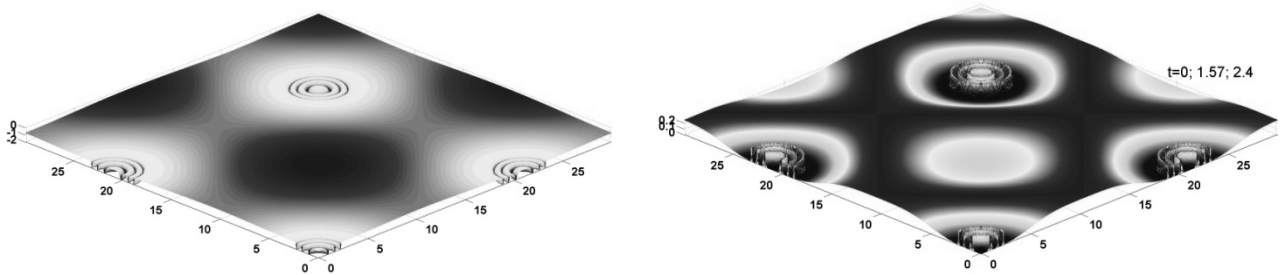


Fig. 2. The two-dimensional maps of the combined landscapes calculated for different times. The map of the scalar field (left) and the map of the scalar potential (right). The calculations were made at three dimensionless moments of time: 0, 1.57 and 2.4

Generally speaking the bubbles might be very small (the value  $R^*$  may be like the Planck's scale dimension) and the amplitude of oscillations might be also extreme small. Let us consider an impact of a quantum fluctuation [22, 23] on the energy bubble. We will consider a case when the quantum fluctuation acts on whole bubble and its surface.

According to the Heisenberg's uncertainty principle, particles and antiparticles spontaneously form and quickly annihilate each within vacuum. This process is known as 'quantum fluctuations'. We assume that these fluctuations occur in the pre-universe. The problem is to describe an influence of the perturbations on the scalar fields.

The main idea is to introduce a new term in the right-hand side of the equation (11) which describes some internal sources. This term can be achieved by several ways, with more or less theoretical justification. We can require a small coupling of the three scalar fields near oscillating boundaries of the potential wells. As a result, the sources of the quantum perturbation can appear there. On the other hand, these dynamic boundaries may be considered as local inhomogeneities which can activate internal quantum fluctuations. At last, as a certain approximation, we can consider the quantum fluctuation as an action of certain internal sources [24]. All these ways can determine the way to some version of the equation  $(-\square + \mu^2)G(x, y) = \delta(x, y) - (3/8\pi^2)H^4$ , which was derived by Hawking [24].

**Modelling of instant quantum actions.** The amplitude  $A$  (12) of the considered scalar field has three different values (13). The quantum actions change these values. Our main aim is to study the influence of nonlinearity on this change.

As a result of the quantum action a new term appears in the right-hand side of the equation (11). We will consider the equation (11) subject to an instant quantum action. In this case we have

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2}(\omega^2 B^2 - c_*^2 \vartheta^2 K^2 I) \Phi_{\xi\xi} + \\ & + m^2 \Phi - \lambda \Phi^3 = f(\Phi) \tilde{A} \delta(\bar{\xi}). \end{aligned} \quad (17)$$

Here  $\bar{\xi}$  is a point subject to the quantum action,  $\delta(\bar{\xi})$  is the Dirac delta function (the impulse function),  $\tilde{A}$  is the amplitude of the quantum fluctuation and  $f(\Phi)$  is an arbitrary function. Let

$$\Phi = A \operatorname{sech} \xi \text{ and } f(\Phi) = \operatorname{sech}^2 \bar{\xi} \sinh \bar{\xi}. \quad (18)$$

We will consider the field in the vicinity of  $\bar{\xi}$ . It is assumed that there the value of the field can change discontinuously as a result of a quantum kick (fluctuation). This discontinuous change in the

field is computed by integration (17) from  $\xi_j = \bar{\xi} - \varepsilon$  to  $\xi_{j+1} = \bar{\xi} + \varepsilon$ :

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2}(\omega^2 B^2 - c_*^2 \vartheta^2 K^2 I) [\Phi_{\xi}(\bar{\xi} + \varepsilon) - \\ & - \Phi_{\xi}(\bar{\xi} - \varepsilon)] + \int_{\bar{\xi} - \varepsilon}^{\bar{\xi} + \varepsilon} (m^2 A \operatorname{sech} \xi - \\ & - \lambda A^3 \operatorname{sech}^3 \xi) d\xi = \tilde{A} \int_{\bar{\xi} - \varepsilon}^{\bar{\xi} + \varepsilon} f(\Phi) \delta(\bar{\xi}) d\xi. \end{aligned} \quad (19)$$

This equation is rewritten using (18). As a result we have

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2}(\omega^2 B^2 - c_*^2 \vartheta^2 K^2 I) [- (A \operatorname{sech}^2 \xi \sinh \xi)_{\bar{\xi} + \varepsilon} + \\ & + (A \operatorname{sech}^2 \xi \sinh \xi)_{\bar{\xi} - \varepsilon}] + \\ & + 2m^2 [(A \arg \tan(\exp \xi))_{\bar{\xi} + \varepsilon} - \\ & - (A \arg \tan(\exp \xi))_{\bar{\xi} - \varepsilon}] - \\ & - \frac{1}{2} \lambda [(A^3 \operatorname{sech}^2 \xi \sinh \xi)_{\bar{\xi} + \varepsilon} - \\ & - (A^3 \operatorname{sech}^2 \xi \sinh \xi)_{\bar{\xi} - \varepsilon}] - \\ & - \lambda [(A^3 \arg \tan(\exp \xi))_{\bar{\xi} + \varepsilon} - \\ & - (A^3 \arg \tan(\exp \xi))_{\bar{\xi} - \varepsilon}] = \\ & = \tilde{A} \int_{\bar{\xi} - \varepsilon}^{\bar{\xi} + \varepsilon} \operatorname{sech}^2 \bar{\xi} \sinh \bar{\xi} \delta(\bar{\xi}) d\xi \end{aligned} \quad (20)$$

Let  $\varepsilon \rightarrow 0$  and  $(A)_{\bar{\xi} + \varepsilon} \gg (A)_{\bar{\xi} - \varepsilon}$ . First we collect the terms with

$$(\operatorname{sech}^2 \xi \sinh \xi)_{\bar{\xi} + \varepsilon}. \quad (21)$$

As a result we have an equation connected  $A_{\bar{\xi}}$  and  $\tilde{A}$ ,

$$A_{\bar{\xi}}^3 + \lambda^{-1} (\omega^2 B^2 - c_*^2 \vartheta^2 K^2 I) A_{\bar{\xi}} + 2\tilde{A} \lambda^{-1} = 0. \quad (22)$$

Then we collect the terms with

$$\arg \tan(\exp \xi)_{\bar{\xi} + \varepsilon}. \quad (23)$$

In this case the equation (20) approximately yields that

$$m^2 = \frac{1}{2} \lambda (A_{\bar{\xi}})^2. \quad (24)$$

Thus, we have the algebraic equation (22) coupling the nonlinear properties of NKGE and the amplitude of the quantum action. Our interest is strongly nonlinear effects and discontinuous solutions. The equation (22) can have these solutions for some value of the coefficient  $\omega^2 B^2 - c_*^2 \vartheta^2 K^2 I$ .

### 3. Calculations and its analysis

**Discontinuous solutions.** We remind that  $\vartheta$ ,  $B$ ,  $\omega$  and  $K$  in (22) are arbitrary values which determine the coefficient  $\omega^2 B^2 - c_*^2 \vartheta^2 K^2 I$ . Solutions of (22) are also depended strongly on the nonlinear coefficient

(on  $\lambda$ ). If  $2\tilde{A}\lambda^{-1}$  is very small, the equation (22) has practically only continuous real solutions. Namely, one solution if  $\omega^2 B^2 - c_*^2 \vartheta^2 K^2 I \gg 0$  and three solutions if  $\omega^2 B^2 - c_*^2 \vartheta^2 K^2 I \ll 0$  (see Fig. 3 A). The situation is different for strong enough quantum actions. In this case, we can construct a discontinuous multivalued solution having the jump (see curves 1, 2, 3 in Fig. 3 B). It is the solution which we look for. This discontinuous multivalued solution is a composition of the smooth curves in Fig. 3 C (real roots). We stress that if approximately  $\omega^2 B^2 - c_*^2 \vartheta^2 K^2 I < -6 \times 10^{-18}$ , there are three different real solutions of (22) (curves 1, 2 and 3), while if approximately  $\omega^2 B^2 - c_*^2 \vartheta^2 K^2 I > -6 \times 10^{-18}$  then the solution is determined by one curve (1, 2, 3), which is composed from curves 3 and 2 (see Fig. 3 C). The jump takes approximately the place in the point  $\omega^2 B^2 - c_*^2 \vartheta^2 K^2 I = -6 \times 10^{-18}$ .

It is important that the jump to the positive values experiences fields having the negative amplitudes (curves 1 and 2). It is seen that values of these fields may be very different. However, during the jump, these fields coalesce, and begin to interact in such a way that they form a new field described by the upper curves of Fig. 3 B in an interval  $0 > \omega^2 B^2 - c_*^2 \vartheta^2 K^2 I > -6 \times 10^{-18}$ .

So we have presented in Fig. 3 the curves determining the amplitude of the function  $\Phi = A \operatorname{sech} \xi$  (18) for some value  $\xi$ . Generally speaking, equation (22) determines the amplitude  $A$  as a function of the parameters included in  $\omega^2 B^2 - c_*^2 \vartheta^2 K^2 I$ . These parameters link  $\xi$  with time  $t$  and coordinates  $x_i$ . Depending on the coefficient  $\omega^2 B^2 - c_*^2 \vartheta^2 K^2 I$  equation can define three different curves. These curves correspond to three different real roots of the equation (22).

We will call these real roots as  $A_1$ ,  $A_2$  and  $A_3$ . They were found for  $2\lambda^{-1} = 10^4$ . In this case, we found that very weak action ( $\tilde{A} = 10^{-25}$ ) increases instantly the amplitude of the function  $\Phi = A \operatorname{sech} \xi$  up to the order of  $10^{-7}$ . It is interesting to compare the results presented in Fig. 3 and the solutions (12), (13). It is seen that to a certain extent, the curve 1 (root  $A_1$ ) corresponds to  $A_- = -\sqrt{2}\lambda^{-0.5}m$ , and the curve 2 (root  $A_2$ ) corresponds to  $A_0 = 0$ . The upper curve 3 (root  $A_3$ ) can be compared with  $A_+ = \sqrt{2}\lambda^{-0.5}m$ . Of course, we do not mean "fully compliant" speaking of the comparison, since these curves depend on the quantum action and value  $\lambda^{-1}(\omega^2 B^2 - c_*^2 \vartheta^2 K^2 I)$ .

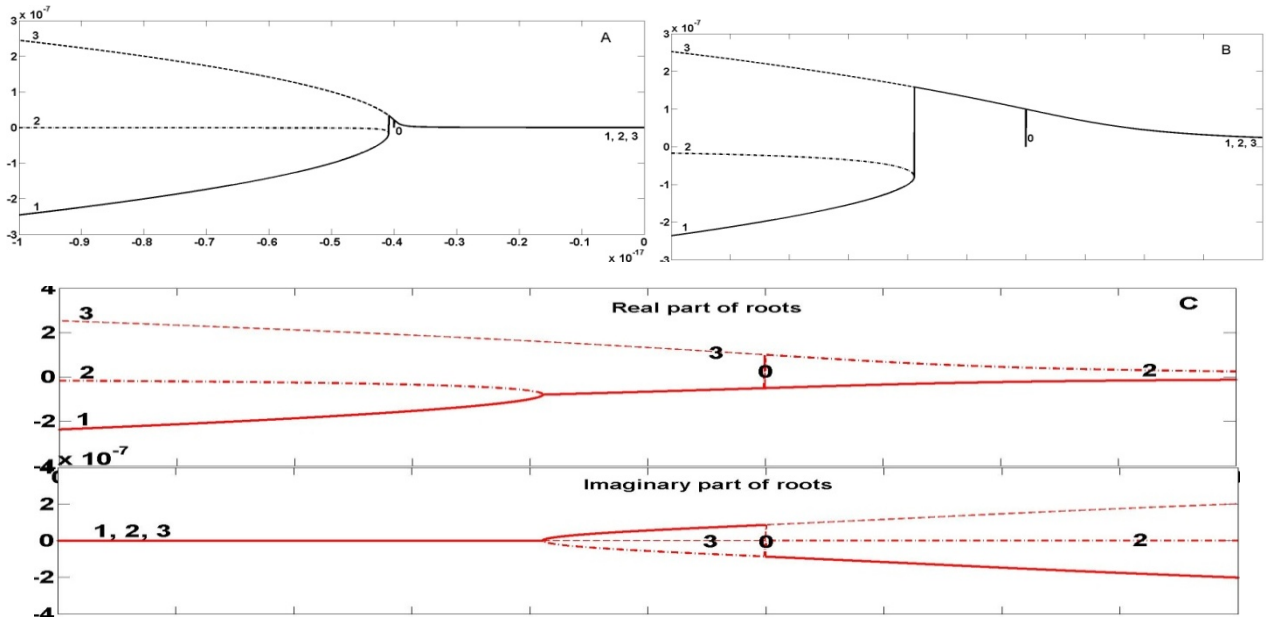


Fig. 3. Typical bifurcations of the amplitude of the dynamic part calculated for different values  $\omega^2 B^2 - c_*^2 \vartheta^2 K^2 I$ ,  $2\lambda = 10^4$  and  $\tilde{A} = 10^{-27}$  (A) and  $\tilde{A} = 10^{-25}$  (B and C). The vertical line 0 is results of numerical errors. The curves show and explain the formation of the discontinuous solution of (22)

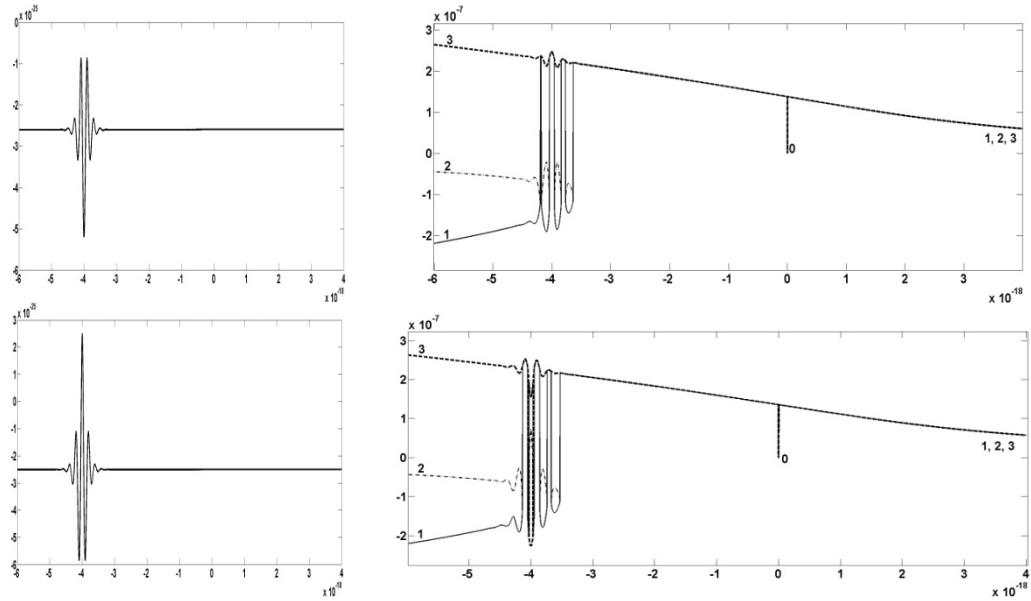


Fig. 4. Two examples of discontinuous evolution of the scalar field. The quantum actions are shown on the left

The latter is not equal to  $-2\lambda^{-1}m^2$  (13) if there is the quantum action. Thus, comparing (12), (13), and results of Fig. 3 it can be concluded that in the case of strong enough quantum action the dynamic part of the resulting scalar field can jump and significantly exceed the maximum value  $A_+ = \sqrt{2}\lambda^{-0.5}m$  for the static part of the scalar field. In this case, the dynamic part of the scalar field can leave its potential well. On the contrary, if quantum action is small enough, the dynamic part can remain practically unchanged, that is, the jump is very small or it is missing (see, as example, Fig. 3A). In this case, the leaving (tunnelling) from the potential well is impossible.

**Structure of the jump and its formation.**

We emphasize that here we were talking about an instantaneous tunnelling, which corresponds to the instantaneous quantum action. We have calculated the value of the scalar field jump for certain values of variable  $\omega^2 B^2 - c_*^2 \mathcal{G}^2 K^2 I$ , nonlinearity and the quantum fluctuation. In some spacetime point characterized by these parameters the scalar field can jump out of the pre-universe. This jump can be viewed as the starting point of the evolution of our universe. Of course, this point requires a careful study.

It is noted in [13] that the jump can have on a closer examination a complex structure. It may consist of a series of jumps. The jumps from one energy level to another can be accompanied by the destruction of the spacetime and the appearance of particles of matter and energy [13].

We now focus on multiple jumps of the scalar field. First we look closer the jump area from Fig. 3. To do this, we assume that in this region there is a strong dependence of  $\tilde{A}$  (22) on  $\omega^2 B^2 - c_*^2 \mathcal{G}^2 K^2 I$ . Thus we believe that the amplitude  $\tilde{A}$  varies with  $\omega^2 B^2 - c_*^2 \mathcal{G}^2 K^2 I$ , but the field remains at the point  $\bar{\xi}$ .

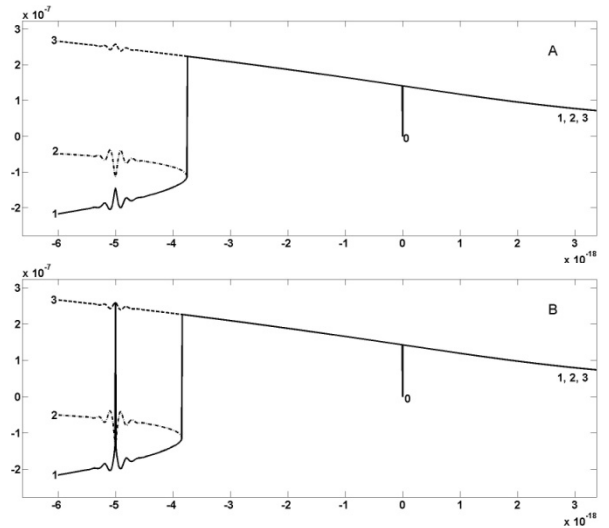


Fig. 5. An example of the formation of the jump (discontinuity) which can kick out the piece of the scalar field of the pre-universe in new spacetime [13]

Some results of calculations are presented in Fig. 4. In contrast with Fig. 3 we now have the multiple jumps. Of course, the number and size of jumps (discontinuities) depend on many circumstances. Generally speaking, they can appear in dif-



ferent points of the horizontal axis (Fig. 4). A version of the appearance is shown in Fig.5.

Of course, the appearance and location of the jumps depends strongly on the quantum amplitude. Small enough quantum action can locally change the amplitudes of the field but cannot form the new jump (Fig. 5 A). The jump forms if the amplitude increases enough (Fig. 5 B).

We can have the extremely large amplification of the scalar field due to the jump. According our calculations the scalar fields of the bubble jumps approximately to the same value ( $\approx 10^{20} \tilde{A}$ ): both the inner part of the bubble (curve 2 or the zero field) and its surface (curve 1 or the negative field). It seems if there is a sufficiently strong quantum impact, then the scalar field can tunnel out of the potential well.

It is interesting to compare the curves of figures 3–5 with data presented in [13]. According to [13] the discontinuities (jumps) form a new scalar field which is a start point of the origin of the Universe and four dimensional spacetime [13].

#### 4. The origin of the Universe, conclusion and acknowledgment

The lifted landscape element is shown in Fig. 6. We assumed that at the moment the amplitudes  $A_0$  and  $A_-$  (13) instantly jump up to  $A_+$ . Namely, the level of the dynamic part of the landscape instantly exceeds the level of the static part (cf. figures 2 (right) and 6) [25]. After the quantum action the landscape returns back to showed in Fig. 2.

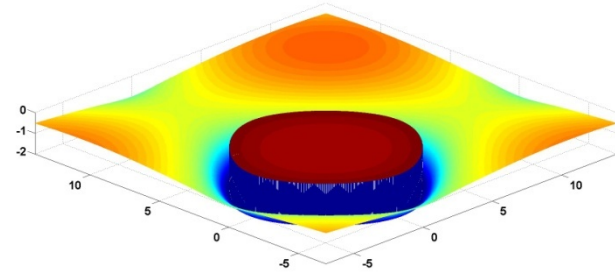


Fig. 6. The jump of a bubble of the scalar field to a new, very high energy level. The birth of our Universe can put in compliance with this jump

**The origin of the Universe.** We studied the influence of the nonlinearity and the amplitude  $\tilde{A}$  on the size of the discontinuity (jump). According to Fig. 3, the field reaches the values of the order of  $10^{-7}$ , when  $2\lambda^{-1} = 10^4$  and  $\tilde{A} = 10^{-25}$ . If  $2\lambda^{-1} = 10^{20}$  and  $\tilde{A} = 10^{-18}$ , then the jump was of the order of 10. If  $2\lambda^{-1} = 10^{-20}$  and  $\tilde{A} = 10^{-38}$ ,

then the jump was of the order of  $10^{-19}$ . Thus, the jump depends strongly on  $\tilde{A}$  and  $\lambda$ . At the same time, we found that the jump amplification of the scalar field was proportional to  $2\lambda^{-1}\tilde{A}$ . For any  $\lambda^{-1}$  this amplification was approximately  $10^{20}\tilde{A}$ . Thus, the scalar field can be amplified extremely as a result of the enough weak quantum action.

Together with this we recall that basic laws of quantum mechanics is applicable for our analysis. In particular, it is well known [15] that the energy density and the energy pressure of the scalar field depend on derivatives  $\Phi_i^2$ ,  $\Phi_i^2$  and the scalar potential  $V(\Phi)$ . Thus, these density and pressure can increase infinitely in the points of discontinuity. Due to above circumstances, our Universe can emerge having practically infinite energy and mass.

**Conclusion.** Scalar fields are often the easiest way to describe different physical phenomena. For this reason, scalar field theories are often used for purposes of introduction of novel concepts and techniques. Different versions of the Klein – Gordon equation play traditionally the fundamental role in many cosmological models. We used some nonlinear version of NKGE so that to describe the ‘birth’ of the Universe. The universe’s origin may be a result of extreme amplification of oscillations and waves existing in some pre-universe.

We considered a few examples of the effect of the quantum actions on the scalar field. According to the calculations tiny quantum actions can increase the energy of the field very strongly. We have found resonant parameters when the three independent scalar fields interact and form a new composite field as a result of the discontinuous jump. Generally speaking, a structure of the jump may be very complex and can potentially consist from discontinuous oscillations.

These discontinuous oscillations include the elements of the previously independent fields. The discontinuities could destroy the spacetime of the initial scalar field [13, 25]. Thus, in the course of the jump (tunnelling) the bubble (clot) of the scalar field can strongly increase its energy, lose the space dimensions and strongly increase its volume. Therefore, the starting properties of our universe can be surprising different from predictions of the Big Bang theory [1–4] and the inflation model [5–9].

**Acknowledgment.** We thank Professor Mace B. (the University of Auckland) for the support of this research.

## References

1. A. Friedmann, Über die Krümmung des Raumes, *Z. Phys.* **10**, 377 (1922).
2. A. Friedmann, *Z. Phys.* **21**, 326 (1924).
3. G. Lemaître, *Nature* **127**, 706 (1931).
4. G. Gamow, *Nature* **162**, 680 (1948).
5. A.A. Starobinsky, *JETP Lett.* **30**, 682 (1979) [*Pisma Zh. Eksp. Teor. Fiz.* **30**, 719 (1979)].
6. A.A. Starobinsky, *Phys.Lett. B* **91**, 99 (1980).
7. A.H. Guth, *Phys.Rev. D* **23**, 347 (1981).
8. A.D. Linde, *Phys.Lett. B* **108**, 389 (1982).
9. A. Albrecht and P.J. Steinhardt, *Phys. Rev. Lett.* **48**, 1220 (1982).
10. A. Vilenkin, *Phys.Rev. D* **27**, 2848 (1983).
11. Y.-F. Cai, D. A. Easson, R. Brandenberger, arXiv:1206.2382v2 [hep-th] (2012).
12. C. Wetterich, arXiv:1401.5313 [astro-ph.CO] (2014).
13. Sh.U. Galiev, T.Sh. Galiyev, *InterNet. Galiev – Galiyev* 18–12–201(2013); Sh.U. Galiev, T.Sh. Galiyev, *Herald of Ufa Scientific Center, Russian Academy of Sciences (RAS)* **2,7** (2014); Sh.U. Galiev, T.Sh. Galiyev, <https://researchspace.auckland.ac.nz/handle/2292/23783> (2014); Sh. U. Galiev, *Darwin, Geodynamics and Extreme Waves*. Springer (2015).
14. M.C. Johnson, C.L. Wainwright, A. Aguirre, H.V. Peiris, arXiv:1508.03641v1 [hep-th] (2015).
15. M. Bellini, *Phys.Lett. B* **108**, 389 (1982).
16. A.D. Linde, *Phys.Lett. B* **129**, 177 (1983).
17. R. Easther, M. Parry, *Phys Rev D* **62**, 103503 (2000).
18. P.J. Steinhardt, N. Turok, *Science* **296**, 1436 (2002).
19. I. Agullo, A. Ashtekar, W. Nelson, arXiv:1211.1354v2 [gr-qc] (2013)
20. A. Vilenkin, *Many Worlds in One*. Hill and Wang, NY (2006).
21. Sh.U. Galiev, T.Sh. Galiyev, *Chaos* **11**, 686 (2001); N. Graham, N. Stamatopoulos, arXiv:hep-th/0604134v2 (2006); E. Farhi, N. Graham, A.H. Guth, N. Iqbal, R.R. Rosales, N. Stamatopoulos, *Phys Rev D* **77**, 085019 (2008); M.A. Amin, R. Easther, H. Finkel, R. Flauger, M.P. Hertzberg, *Phys. Rev. Lett.* **108**, 241302 (2012).
22. E.P. Tryon, *Nature* **246**, 396 (1973).
23. V.F. Mukhanov, G.V. Chibisov, *JETP Lett.* **33**, 532 (1981) [*Pisma Zh. Eksp. Teor. Fiz.* **33**, 549 (1981)].
24. M.B. Fogel, S.E. Trullinger, A.R. Bishop, and J.A. Krumhansl, *Phys. Rev. B* **15**, 1578 (1977); S.W. Hawking, *Phys. Lett. B*, **115**, 295 (1982); S. Gasiorowicz, *Quantum Physics*, John Wiley & Sons, NY (1996); T. Ohlsson, *Relativistic Quantum Physics*, Cambridge University Press (2011).
25. Sh.U. Galiev, T.Sh. Galiyev, *Eruption of the Universe out of a pre-universe*, <http://hdl.handle.net/2292/30899> (2016).



УДК 534.1.539.3

**ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ХАОТИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ ТРУБОПРОВОДА В СПЛОШНОЙ СРЕДЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПЕРЕМЕННОГО ВНУТРЕННЕГО ДАВЛЕНИЯ**

© М.М. Шакирьянов

Исследуется влияние величины начальной фазы переменного внутреннего давления на пространственные колебания трубопровода в сплошной среде. Учитываются силы гравитации, силы инерции Кориолиса, выталкивающая сила Архимеда, силы вязкого сопротивления и силы, связанные с ускорением поперечного движения трубы в окружающей среде. При этом не учитывается скорость движения транспортируемой среды. В основе исследования лежит приближенная математическая модель, построенная в предположении малости деформаций трубы, которые связаны с ее выходом из плоскости изгиба. Согласно этой модели, пространственные колебательные движения трубопровода можно рассматривать как состоящие из переносных вращательных движений вокруг оси, проходящей через опоры, и относительных изгибных перемещений в плоскости изгиба. Поэтому решение задачи приводится к интегрированию системы из двух нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих вращательные и изгибные колебания трубопровода. Путем одночленной аппроксимации прогиба и применением процедуры Бубнова – Галеркина эта система сводится к двум нелинейным обыкновенным дифференциальным уравнениям относительно угла поворота и прогиба средней точки пролета трубы по времени. Для интегрирования полученной системы уравнений при конкретных начальных условиях применяется численный метод Рунге – Кутты. Далее к этому численному решению используется дискретное преобразование Фурье и выполняется отображение Пуанкаре. Числовые расчеты проводились для стального трубопровода, заполненного транспортируемой жидкостью. Внутреннее давление в трубопроводе изменялось по гармоническому закону. Были рассмотрены два значения среднего давления. Амплитуда переменной составляющей внутреннего давления принимала одно значение, а начальная фаза последней – три значения. В качестве окружающей трубопровод среды рассматривались воздушная и водная среды. Результаты вычислений приведены в виде графических зависимостей динамической составляющей прогиба средней точки пролета и угла поворота трубы от времени, их фазовые картины, Фурье-спектры и отображения Пуанкаре. Дан анализ влияния величины начальной фазы переменного внутреннего давления на пространственные колебания трубопровода.

Ключевые слова: трубопровод, пространственные колебания, переменное внутреннее давление, начальная фаза.

Пространственные периодические и хаотические колебания трубопровода под действием переменного внутреннего давления изучались в [1]. В [2] приведена оценка влияния частоты, величины среднего давления и амплитуды переменного внутреннего давления в трубопроводе на его пространственные колебания. В основе исследования лежит приближенная математическая модель, построенная в предположении малости деформаций трубы, которые связаны с ее выходом из плоскости изгиба [3, 4].

Рассматриваются пространственные колебания трубы и заключенной в ней жидкости относительно горизонтальной оси  $x$ , проходящей через опоры. Длина трубы, ее внутренний радиус и толщина стенки  $L$ ,  $R_i$  и  $h$ , а суммарная

масса однородной трубы и жидкости –  $m$ . Труба окружена вязкой несжимаемой средой. В статическом состоянии труба изогнута собственным весом и находится под действием постоянного внутреннего давления. Предполагается, что из этого вертикального положения она выводится путем отклонения на угол  $\theta_0$  и сообщения начальной угловой скорости  $\omega_0$ . Далее совершается свободное вращение трубопровода вокруг оси  $x$ , поэтому его изогнутая ось является плоской кривой. При этом отсутствует деформация кручения. Учитываются силы гравитации, силы инерции Кориолиса, выталкивающая сила Архимеда, силы вязкого сопротивления, пропорциональные первой степени скорости и силы, связанные с ускорением поперечного движения

трубы в окружающей среде. Колебания трубы происходят под действием переменного внутреннего давления, изменяющегося по гармоническому закону:

$$p_i = p_0 + p_a \sin(\Omega t + \varphi_0),$$

где  $\Omega$ ,  $\varphi_0$ ,  $p_0$  и  $p_a$  – круговая частота, начальная фаза, среднее давление и его амплитуда колебаний.

Согласно принятым предположениям, пространственное движение трубопровода можно рассматривать как сложное, состоящее из переносного вращения вокруг оси  $x$  и относительно движения в плоскости изгиба. Дифференциальные уравнения, описывающие вращательные и изгибные движения трубопровода с учетом указанных выше сил, имеют вид [2]

$$\begin{aligned} & \frac{d^2\theta}{dt^2} \left\{ \frac{m+m'}{2} [W_0 + w(t)]^2 + J_p \right\} + \\ & + \mu(R_i + h)L \frac{d\theta}{dt} [W_0 + w(t)]^2 + \\ & + [W_0 + w(t)] \left[ \frac{2mg_1}{\pi} \sin\theta + (m+m') \frac{d\theta}{dt} \frac{dw}{dt} \right] = 0, \\ & \frac{m+m'}{L} \frac{d^2w}{dt^2} + 2\mu(R_i + h) \frac{dw}{dt} + \\ & + \frac{\pi^4 EJ}{L^4} [W_0 + w(t)] = \\ & = \frac{m}{L} \left\{ \frac{4g_1}{\pi} \cos\theta + [W_0 + w(t)] \left( \frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right\} - \\ & - \left\{ \frac{\pi^2 EF}{4L^2} [W_0 + w(t)]^2 - F_i (p_0 + p_a \sin\Omega t) \right\} \times \\ & \times \frac{\pi^2}{L^2} [W_0 + w(t)]. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь  $t$  – время,  $\theta(t)$  – угол поворота плоскости изгиба,  $W_0$  и  $w(t)$  – амплитуды статической и динамической составляющих прогиба средней точки пролета,  $E$  и  $\rho_p$  – модуль Юнга и плотность материала,  $J_p = \pi\rho_p L[(R_i+h)^4 - R_i^4]/2$  – момент инерции относительно собственной оси,  $F_i = \pi R_i^2$  – площадь проходного сечения,  $F = \pi[(R_i+h)^2 - R_i^2]$  и  $J = \pi[(R_i+h)^4 - R_i^4]/4$  – площадь и осевой момент инерции поперечного сечения трубы,  $\rho_c$ ,  $m' = \rho_c \pi(R_i+h)^2 L$  и  $\mu$  – плотность, присоединенная масса и коэффициент сопротивления окружающей среды,  $g_1 = g(1 - m'/m)$ ,  $g$  – гравитационное ускорение. Следует отметить, что величина коэффициента сопротивления зависит от вязкости окружающей среды и режима обтекания трубопровода.

Отметим также, что при выводе этих уравнений функция полного прогиба  $W(x,t)$ , удовлетворяющая граничным условиям  $W(0,t) = W(L,t) = d^2W(0,t)/dx^2 = d^2W(L,t)/dx^2 = 0$ , принималась в виде

$$W(x,t) = [W_0 + w(t)] \sin(\pi x/L).$$

Система нелинейных дифференциальных уравнений (1) решается при следующих начальных условиях:

$$\theta = \theta_0, \dot{\theta} = \omega_0, w = 0, \dot{w} = 0 \quad (t=0). \quad (2)$$

Здесь  $\dot{\theta} = d\theta/dt$  – угловая скорость и  $\dot{w} = dw/dt$  – линейная скорость элемента трубопровода.

В настоящем исследовании численное решение задачи Коши (1), (2) при  $\theta_0 = 0$  рад и  $\omega_0 = 1.0$  рад/с определялось методом Рунге – Кутты. Затем к этому решению применялись дискретное преобразование Фурье и отображение Пуанкаре.

Далее обсуждается влияние изменения величины начальной фазы переменного внутреннего давления в трубопроводе на его изгибно-вращательные колебания.

Вычисления были проведены для стальной трубы длиной  $L = 25$  м с внутренним радиусом  $R_i = 0.259$  м и толщиной стенки  $h = 0.006$  м. Модуль Юнга и плотность материала:  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа,  $\rho_p = 7800$  кг/м<sup>3</sup>. Труба заполнена жидкостью с плотностью  $\rho_0 = 800$  кг/м<sup>3</sup>. Суммарная масса трубы и жидкости:  $m = 6141$  кг. В качестве окружающей трубопровод сред рассматривались водная и воздушная среды с плотностями  $\rho_c = 800$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_c = 1.25$  кг/м<sup>3</sup>, с коэффициентами сопротивления  $\mu = 0.256$  Пас/м и  $\mu = 0.460 \cdot 10^{-2}$  Пас/м соответственно. Гравитационное ускорение  $g = 9.81$  м/с<sup>2</sup>. Параметры давления в трубе:  $p_0 = 3.08$  и  $7.08$  МПа,  $p_a = 0.15$  МПа,  $\varphi_0 = 0, \pi/2, \pi$  рад. Отметим, что при принятых величинах среднего давления  $p_0 = 3.08$  и  $7.08$  МПа приближенные числовые значения статической составляющей прогиба, собственных частот изгибных  $f_1 = k_1^*/(2\pi)$  и вращательных  $f_2 = k_2^*/(2\pi)$  колебаний трубы, определяемых уравнениями (21) и (24) [2], соответственно следующие:  $W_0 = 0.107$  и  $0.281$  м,  $f_1 = 0.808$  и  $1.162$  Гц,  $f_2 = 0.390$  и  $0.374$  Гц – при колебаниях трубы в водной среде и  $W_0 = 0.231$  и  $0.353$  м,  $f_1 = 1.650$  и  $2.013$  Гц,  $f_2 = 0.870$  и  $0.815$  Гц – в воздушной среде. Приближенное значение внутреннего критического давления, которое вычисляется по формуле (22) указанной выше работы,  $p_0' = 5.08$  МПа.

Значение частоты  $f = \Omega/(2\pi)$  переменной составляющей внутреннего давления в трубе

принималось около значения первой собственной частоты  $f = 2,005$  Гц при рассмотрении воздушной среды и  $f = 1,100$  Гц – водной среды. Максимальное время  $t_{\max}$ , в течение которого изучались движения трубопровода, составляло 100 секунд. Результаты вычислений представлены в виде графиков зависимостей динамической составляющей прогиба  $w$  средней точки пролета и угла  $\theta$  поворота трубы в отрезке времени  $t$  от 40 до 60 секунд, фазовых траекторий и зависимостей модулей Фурье-спектров  $|F_1^*|$  изгибных и  $|F_2^*|$  вращательных колебаний от частоты  $f$  и отображений Пуанкаре. Переменные на графиках измеряются: время  $t$  – в секундах, полный прогиб  $W = W_0 + w$  и его статическая  $W_0$  и динамическая  $w$  составляющие – в метрах, линейная скорость  $\dot{w}$  – в метрах в секунду, угол  $\theta$  – в радианах, угловая скорость  $\dot{\theta}$  – в радианах в секунду, частота  $f$  – в Герцах. Фурье-спектры  $|F_1^*|$  – в метрах на секунду и  $|F_2^*|$  – в радианах на секунду. Отметим, что при построении фазовых траекторий изгибных колебаний вместо динамической составляющей  $w$  прогиба по вертикальной оси откладывался полный  $W$  прогиб средней точки пролета трубопровода.

Для исключения начального участка процесса колебаний трубопровода обработка фазовых точек при построении отображений Пуанкаре производилась с момента времени  $t_0 = 20$  с. Период обработки фазовых точек  $\tau = 2\pi/\Omega$ . Числовые значения этого периода для принятых частот переменной части давления равны соответственно 0.499 и 0.909 с. В пределах рассматриваемого отрезка времени число точек, содержащихся в отображении Пуанкаре, в первом случае равняется 161, а во втором – 88.

Рис. 1–4 относятся к случаю колебаний трубопровода в воздушной среде, а рис. 5–8 – в водной среде. На всех рисунках фрагменты сверху дают зависимости прогиба или угла поворота трубы от времени, ниже – соответствующие фазовые траектории, спектры частот и отображения Пуанкаре. Слева направо на рисунках расположены столбцы графиков для трех значений начальной фазы  $\varphi_0$  переменной составляющей внутреннего давления, которые также указаны сверху. Результаты вычислений, представленные графическими зависимостями на рис. 1, 2, 5, 6, получены для значения среднего давления  $p_0 = 3.08$  МПа (докритическое

давление), а на рис. 3, 4, 7, 8 –  $p_0 = 7.08$  МПа (закритическое давление).

Из рис. 1, 2, 5, 6 видно, что при  $p_0 = 3.08$  МПа и трех величинах начальной фазы давления изгибные и вращательные колебания трубопровода в обеих средах являются непериодическими и имеют вид биений. Изменение начальной фазы давления с величины  $\varphi_0 = 0$  рад до величины  $\varphi_0 = \pi$  рад приводит к незначительным изменениям амплитуд изгибных и вращательных колебаний трубопровода: на графиках имеет место лишь сдвиг максимумов по оси времени. Этот вывод относится к колебательным движениям трубы в обеих средах. Из рис. 1, 2, 5, 6 видно также, что при всех принятых значениях начальной фазы давления частоты изгибных и вращательных колебаний трубопровода в воздушной среде значительно больше тех же частот колебаний трубопровода в водной среде. Уменьшение частот указанных колебаний можно объяснить тем, что при колебаниях трубопровода в водной среде происходит увеличение сопротивления его ускоренному движению, то есть увеличение присоединенной массы трубопровода. Из сравнения соответствующих графиков на рис. 1, 2, 5, 6 следует отметить незначительное уменьшение амплитуды изгибных и существенное увеличение амплитуды вращательных колебаний трубы в водной среде. Это в первую очередь обусловлено действием выталкивающей силы Архимеда. При действии этой силы уменьшается величина  $W_0$  статической составляющей прогиба. Как отмечалось выше, при среднем давлении  $p_0 = 3.08$  МПа статическая составляющая прогиба  $W_0 = 0.231$  м в случае движения трубы в воздушной среде и  $W_0 = 0.107$  м – в водной среде. Вследствие уменьшения статической составляющей прогиба уменьшается момент сил сопротивления вращательному движению, а это приводит к увеличению угла  $\theta$  поворота трубопровода вокруг оси вращения.

Для трех принятых значений начальной фазы давления фазовые траектории изгибных колебаний трубопровода в обеих средах почти равномерно заполняют всю круговую область охвата. При этом фазовые траектории вращательных колебаний трубопровода также в обеих средах более локализованы около внешних границ фазовых картин (рис. 2 и 6).

Из рис. 1 и 5 видно также, что при всех принятых значениях начальной фазы давления

преобразование Фурье выделяет изгибные колебания с тремя частотами. Наибольшая из них (2.005 Гц в случае движений трубы в воздушной среде и 1.100 Гц – в водной среде) совпадает с частотой колебаний давления, ниже – с первой собственной частотой изгибных колебаний, низшая частота – с удвоенной первой собственной частотой вращательных колебаний трубопровода. Появление на спектрах частот гармоник с низшей частотой можно объяснить взаимодействием изгибных и вращательных колебаний трубопровода. За один цикл последних приходится два цикла изгибных колебаний. Причем вращательные колебания в большей степени влияют на изгибные колебания трубопровода, чем последние на вращательные колебания. Это обусловлено тем, что центробежные силы инерции, действующие на трубопровод, изменяются прямо пропорционально второй степени угловой скорости вращательных движений, тогда как моменты сил сопротивления – первой степени суммарного прогиба.

С изменением начальной фазы давления в трубе происходят также заметные изменения конфигураций и размеров областей, занятых отображением Пуанкаре. Следует отметить также, что на эти изменения значительное влияние оказывают как нелинейности в дифференциальных уравнениях, величина среднего и амплитуда переменной составляющей внутреннего давления в трубе, так и изменения значений моментов времени  $t_0$  и  $t_{\max}$ .

Если же величина среднего давления  $p_0 = 7.08$  МПа, то из рис. 3, 4, 7, 8 видно, что изгибные и вращательные колебания трубы в обеих средах становятся хаотическими при всех принятых величинах начальной фазы переменного давления. Можно отметить многократное увеличение амплитуд изгибных и вращательных колебаний трубы, переход их спектров частот к сплошному виду и существенное расширение областей отображения Пуанкаре. Как показывают числовые расчеты, в воздушной и водной средах трубопровод входит в режим хаотических движений в различные моменты времени. Из рис. 3, 4 видно, что если в указанном на графиках отрезке времени при  $\varphi_0 = 0$  рад (левые столбцы графиков) трубопровод в воздушной среде уже находится в

хаотическом режиме колебаний, то при  $\varphi_0 = \pi/2$  и  $\pi$  рад (средние и правые столбцы графиков) этот режим колебаний еще не наступил. Из результатов вычислений следует, что в последних двух случаях трубопровод начинает совершать хаотические колебания в воздушной среде с моментов времени  $t \approx 80$  и  $60$  с соответственно. Если трубу окружает водная среда (рис. 7 и 8), то при принятых величинах начальной фазы  $\varphi_0 = 0, \pi/2, \pi$  рад хаотический режим колебательных движений развивается соответственно с моментов времени  $t \approx 50, 30$  и  $10$  с.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ильгамов М.А. Колебания упругих оболочек, содержащих жидкость и газ. М.: Наука, 1969. 180 с.
2. Хакимов А.Г., Шакирьянов М.М. Пространственные хаотические колебания трубопровода под действием переменного внутреннего давления // Избранные труды Всероссийского симпозиума по механике и процессам управления. Итоги науки. Вып. 24. 2016. 115–132 с.
3. Ilgamov M.A., Tang D.M., Dowell E.H. Flutter and forced response of a cantilevered pipe: The influence of internal pressure and nozzle discharge // J. of Fluids and Structures. 1994. Vol. 8, P. 139–156.
4. Tang D.M., Ilgamov M.A., Dowell E.H. Buckling and post-buckling behavior of a pipe subjected to internal pressure // J. of Appl. Mech. 1995. Vol. 62, № 3. P. 595–600.

## References

1. Ilgamov M.A. Oscillations of elastic shells filled with fluid and gas. Moscow, Nauka, 1969. 180 p.
2. Khakimov A.G., Shakiryaynov M.M. Spatial chaotic vibrations of a pipeline under the impact of alternating internal pressure. Itogi nauki. Issue 24. Izbrannyye trudy Vserossiyskogo simpoziuma po mekhanike i protsessam upravleniya. Moscow, RAN, 2016. 115–132 p.
3. Ilgamov M.A., Tang D.M., Dowell E.H. Flutter and forced response of a cantilevered pipe: The influence of internal pressure and nozzle discharge. J. of Fluids and Structures, 1994, vol. 8, pp. 139–156.
4. Tang D.M., Ilgamov M.A., Dowell E.H. Buckling and post-buckling behavior of a pipe subjected to internal pressure. J. of Appl. Mech., 1995, vol. 62, no. 3, pp. 595–600.

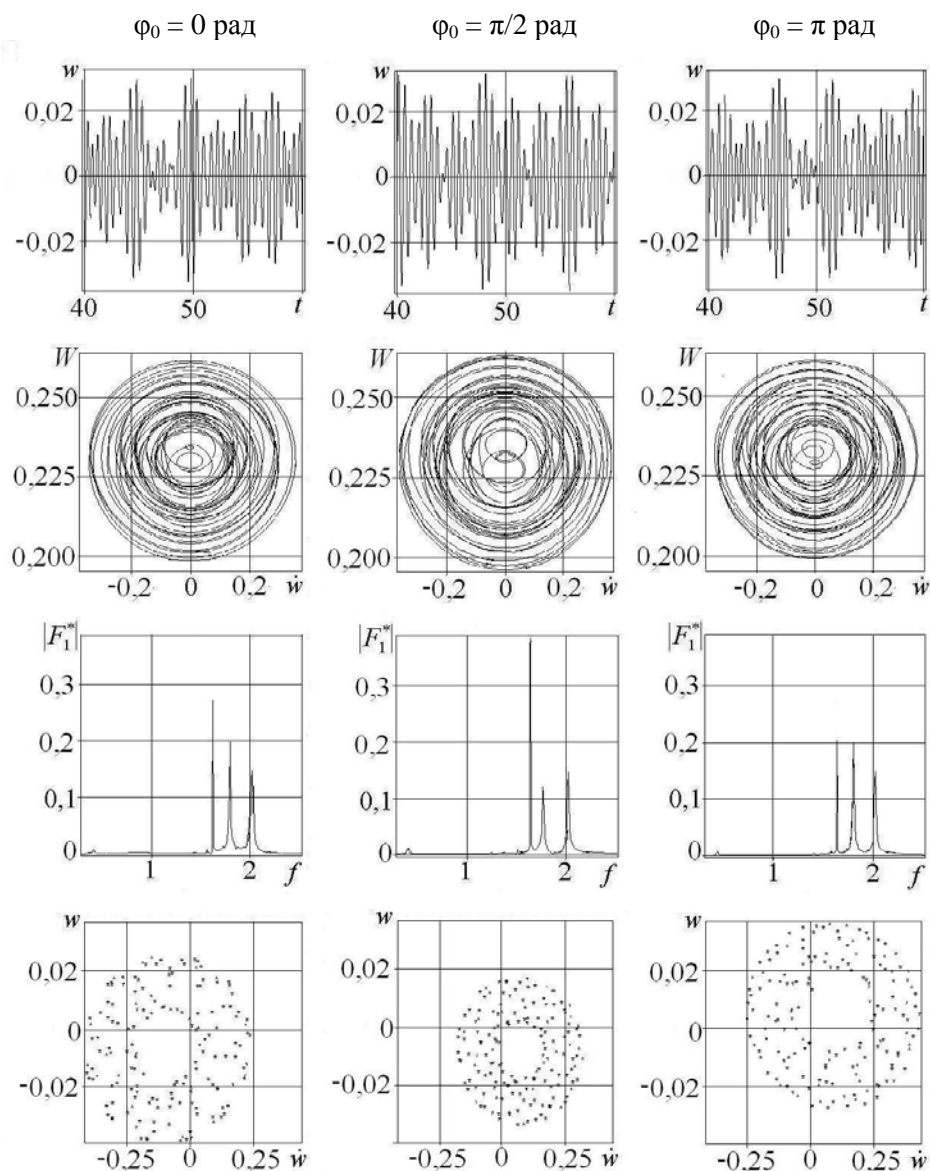


Рис. 1. Зависимости динамической составляющей прогиба  $w$  средней точки пролета трубы от времени  $t$ , фазовые траектории, спектры частот и отображения Пуанкаре изгибных колебаний трубы в воздушной среде при среднем давлении  $p_0 = 3.08$  МПа, частоте  $f = 2.005$  Гц, амплитуде  $p_a = 0.15$  МПа и разных величинах начальной фазы  $\varphi_0$  переменного внутреннего давления

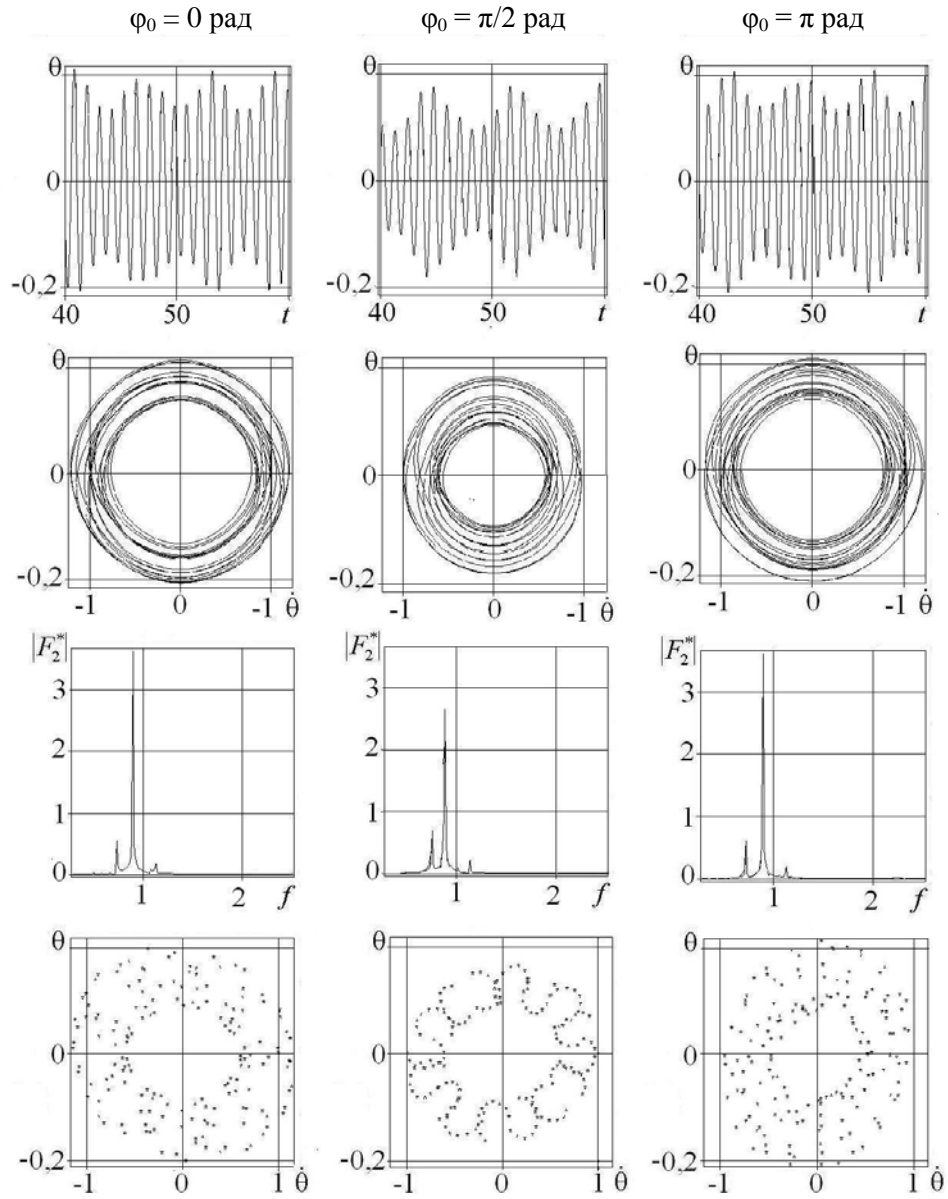


Рис. 2. Зависимости угла  $\theta$  поворота трубы от времени  $t$ , фазовые траектории, спектры частот и отображения Пуанкаре вращательных колебаний трубы в воздушной среде при среднем давлении  $p_0 = 3.08$  МПа, частоте  $f = 2.005$  Гц, амплитуде  $p_a = 0.15$  МПа и разных величинах начальной фазы  $\varphi_0$  переменного внутреннего давления



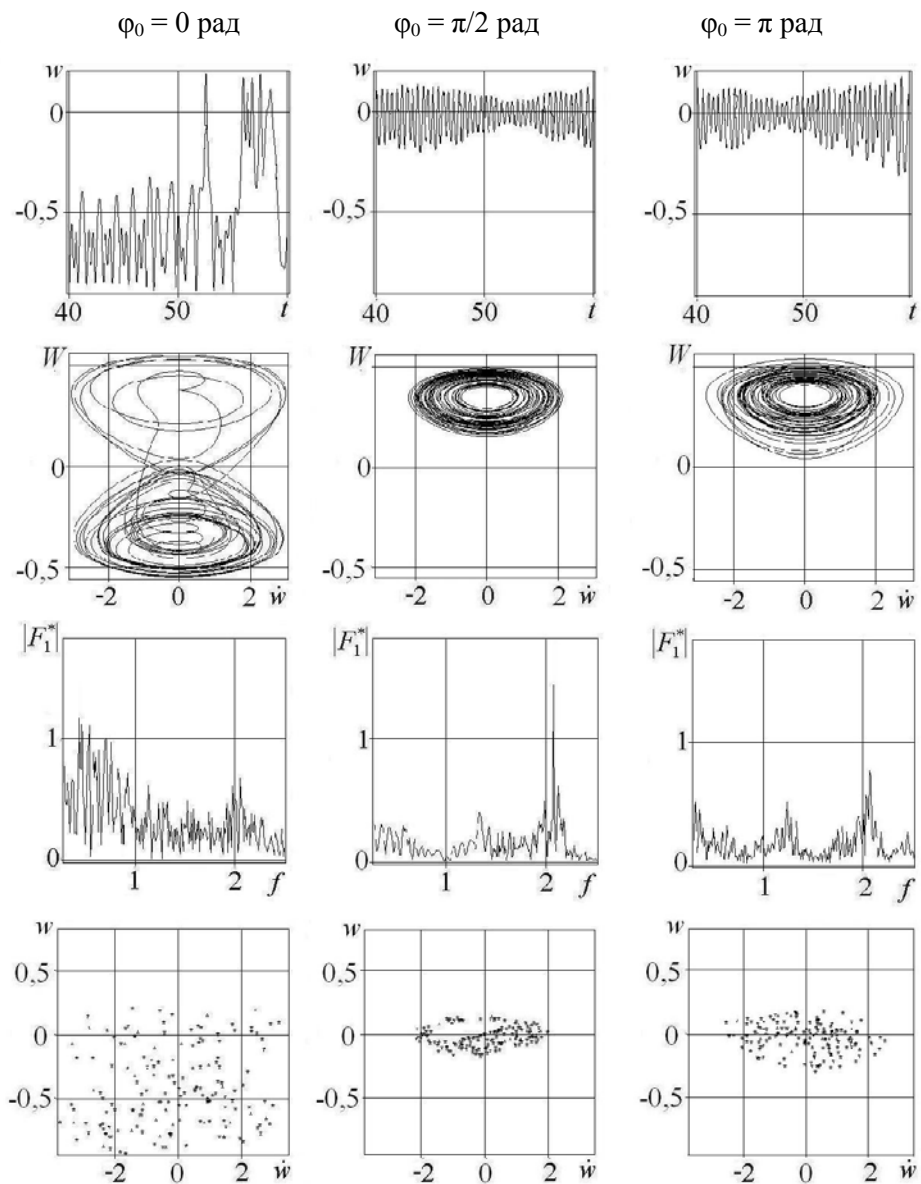


Рис. 3. Зависимости динамической составляющей прогиба  $w$  средней точки пролета трубы от времени  $t$ , фазовые траектории, спектры частот и отображения Пуанкаре изгибных колебаний трубы в воздушной среде при среднем давлении  $p_0 = 7.08$  МПа, частоте  $f = 2.005$  Гц, амплитуде  $p_a = 0.15$  МПа и разных величинах начальной фазы  $\varphi_0$  переменного внутреннего давления

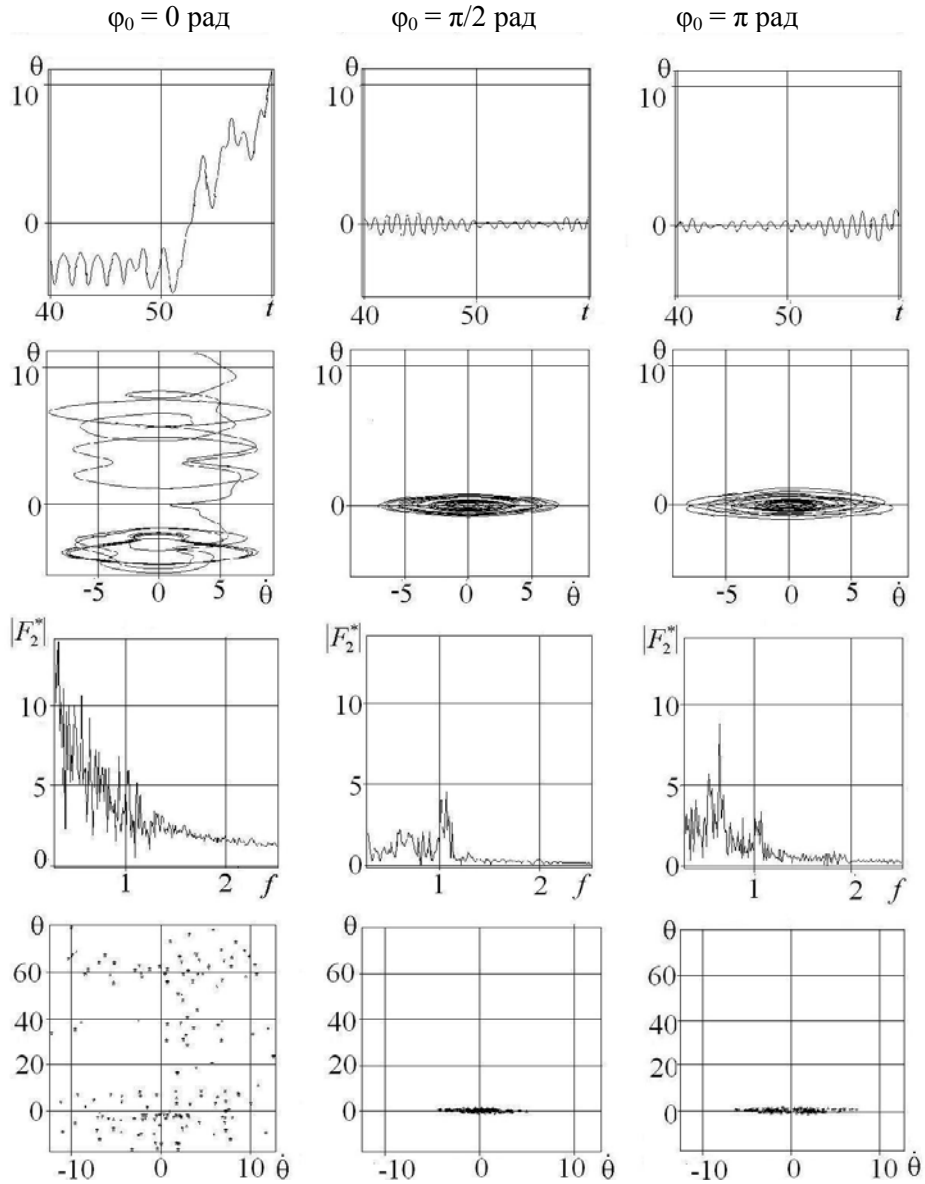


Рис. 4. Зависимости угла  $\theta$  поворота трубы от времени  $t$ , фазовые траектории, спектры частот и отображения Пуанкаре вращательных колебаний трубы в воздушной среде при среднем давлении  $p_0 = 7.08$  МПа, частоте  $f = 2.005$  Гц, амплитуде  $p_a = 0.15$  МПа и разных величинах начальной фазы  $\varphi_0$  переменного внутреннего давления

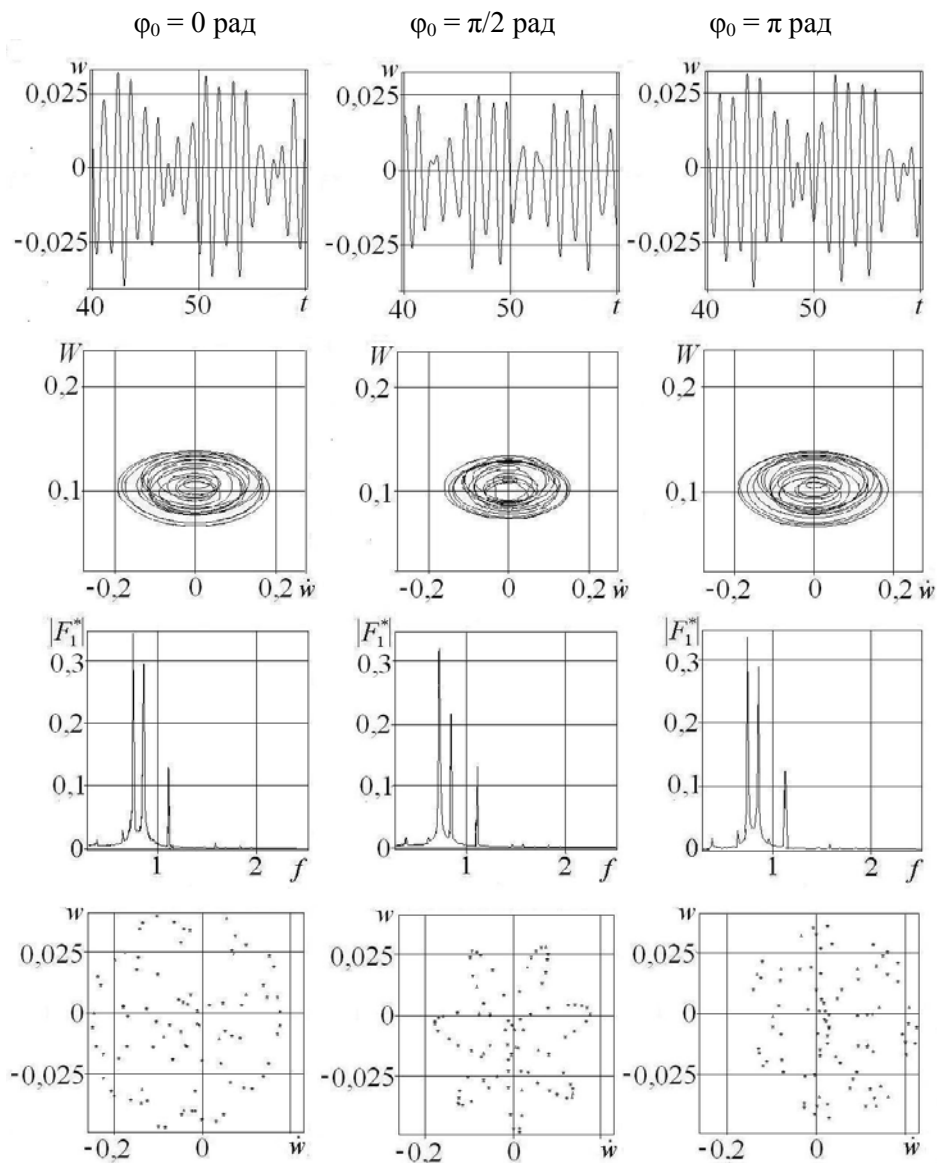


Рис. 5. Зависимости динамической составляющей прогиба  $w$  средней точки пролета трубы от времени  $t$ , фазовые траектории, спектры частот и отображения Пуанкаре изгибных колебаний трубы в водной среде при среднем давлении  $p_0 = 3.08$  МПа, частоте  $f = 1.100$  Гц, амплитуде  $p_a = 0.15$  МПа и разных величинах начальной фазы  $\varphi_0$  переменного внутреннего давления

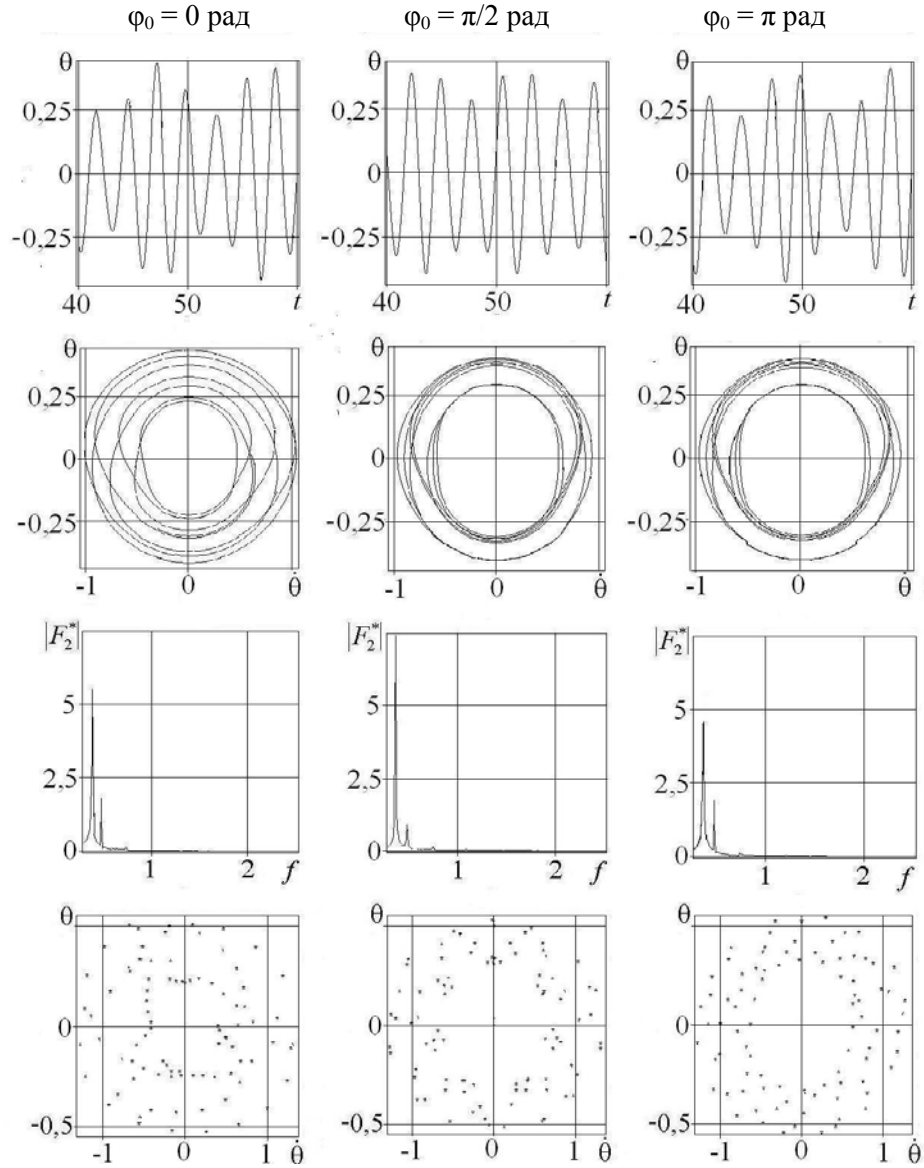


Рис. 6. Зависимости угла  $\theta$  поворота трубы от времени  $t$ , фазовые траектории, спектры частот и отображения Пуанкаре вращательных колебаний трубы в водной среде при среднем давлении  $p_0 = 3.08$  МПа, частоте  $f = 1.100$  Гц, амплитуде  $p_a = 0.15$  МПа и разных величинах начальной фазы  $\phi_0$  переменного внутреннего давления

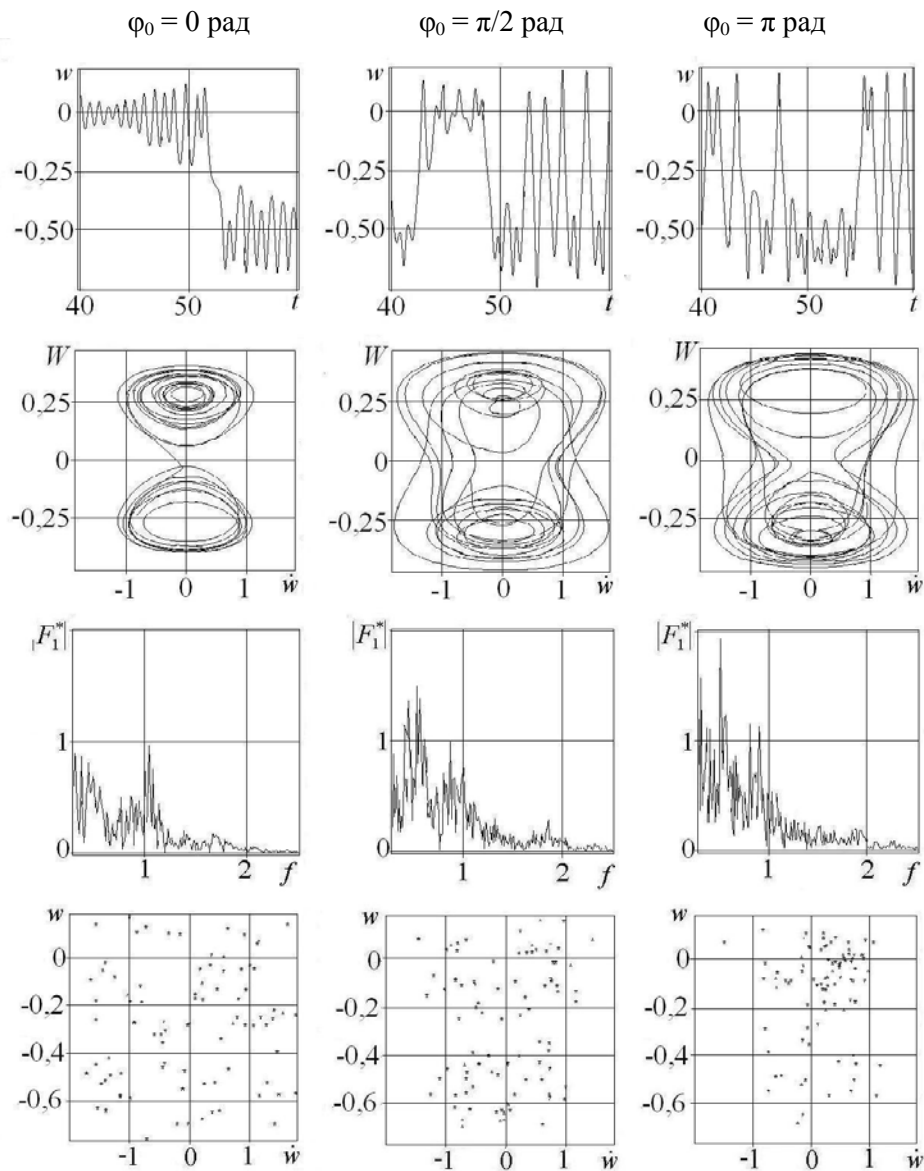


Рис. 7. Зависимости динамической составляющей прогиба  $w$  средней точки пролета трубы от времени  $t$ , фазовые траектории, спектры частот и отображения Пуанкаре изгибных колебаний трубы в водной среде при среднем давлении  $p_0 = 7.08$  МПа, частоте  $f = 1.100$  Гц, амплитуде  $p_a = 0.15$  МПа и разных величинах начальной фазы  $\varphi_0$  переменного внутреннего давления

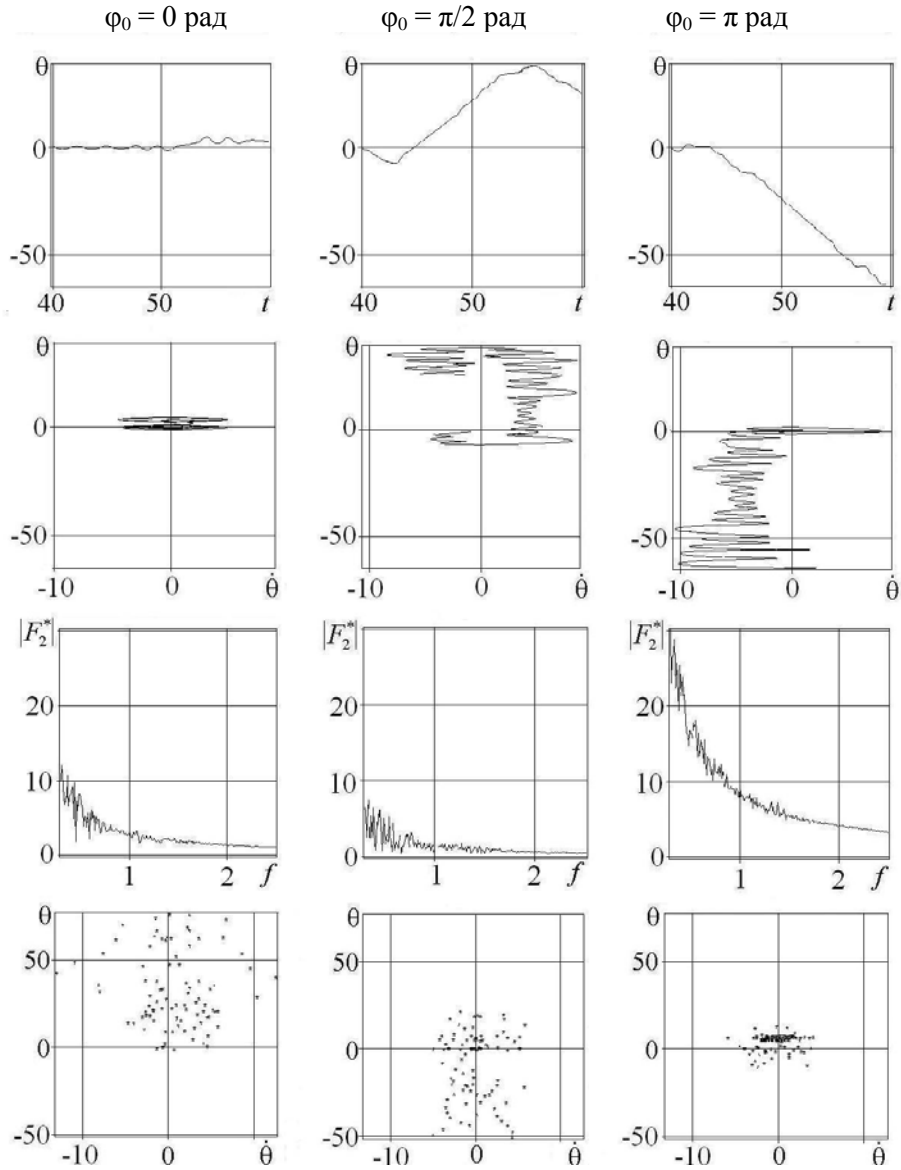


Рис. 8. Зависимости угла  $\theta$  поворота трубы от времени  $t$ , фазовые траектории, спектры частот и отображения Пуанкаре вращательных колебаний трубы в водной среде при среднем давлении  $p_0 = 7.08$  МПа, частоте  $f = 1.100$  Гц, амплитуде  $p_a = 0.15$  МПа и разных величинах начальной фазы  $\varphi_0$  переменного внутреннего давления



**SPATIAL CHAOTIC VIBRATIONS OF A PIPELINE IN THE CONTINUOUS MEDIUM  
UNDER THE IMPACT OF ALTERNATING INTERNAL PRESSURE**

© **M.M. Shakiryaynov**

Mavlyutov Institute of Mechanics, Ufa Scientific Centre, RAS,  
72, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

This paper considers the impact of the initial value of alternating internal pressure on spatial vibrations of a pipeline in the continuous medium. Account is taken of the force of gravity, the Coriolis forces of inertia, the Archimedes buoyant force, the drag forces and the forces associated with the accelerated latitudinal motions of the pipeline in the surrounding medium. No account is taken of the transport velocity of the medium. The research is based on the approximate mathematical model constructed under the assumption of minor deformations of the pipe due to its out-of-plane bending. According to this model, spatial vibration motions of the pipeline can be viewed as the state consisting of rotational transportation motions around the axis that runs through the supports and relative bending motions in the plane of bending. Thus, the solution to the problem comes to integrating the system of two nonlinear differential equations in the partial derivatives governing rotational and flexural vibrations of the pipeline. Using a monomial deflection approximation and the Bubnov-Galerkin method, this system is limited to two nonlinear ordinary differential equations regarding the angle of turn and the mid-span deflection of the pipe in time. The Runge-Kutta computational method is used to integrate the resulting system of equations under specific initial conditions. Next the discrete Fourier transform is applied to this computational solution and the Poincaré map is performed. Numerical calculations were done for the steel pipeline filled with fluid transported. The internal pressure in the pipeline changed according to a harmonic law. Two values of the average pressure were considered. The amplitude of the alternating component of internal pressure took one value, and the latter's initial phase assumed three values. Air and water were considered as the surrounding media. Computation results are shown in the form of graphical time dependencies of the dynamic component of the mid-span deflection and the angle of turn as well as their phase patterns, Fourier spectra and Poincaré maps. Analysis describes the impact of the initial value of the alternating internal pressure on spatial vibrations of the pipeline.

Key words: pipeline, spatial vibrations, alternating internal pressure, initial phase.

УДК 591.9:595.763(470.64)

***DROPEPHYLLA PULCHELLA* JÁSZAY & HLAVÁČ, 2006 (COLEOPTERA,  
STARHYLINIDAE: OMALIINAE) – НОВЫЙ ДЛЯ ФАУНЫ РОССИИ  
И СЕВЕРНОГО КАВКАЗА ВИД СТАФИЛИНИД**

© А.А. Айыдов

Впервые представлены данные о находке стафилинид *Dropephylla pulchella* Jászay & Hlaváč, 2006 на Северном Кавказе (Кабардино-Балкарская республика), что является также первым указанием для Большого Кавказа и России. До настоящего времени вид был известен по двум экземплярам, собранным в Азербайджане (Ленкорань). Впервые приведены данные по экологии вида. Приведены отличительные особенности собранных экземпляров, а также фотографии эдеагуса.

Ключевые слова: Staphylinidae, Omaliinae, *Dropephylla pulchella*, фауна, Центральный Кавказ, Россия.

Род *Dropephylla* Mulsant & Rey, 1880 относится к трибе Omaliini из подсемейства Omaliinae. В Палеарктике встречаются 30 видов этого рода (Jászay & Hlaváč, 2006). Ранее род *Dropephylla* входил в качестве подрода в род *Phyllodrepa*.

Род распространен практически по всей Палеарктике, встречается в северной части Африки, в Европе и Центральной Азии до Восточной Сибири, на севере Индии. Ряд видов отмечались также в США, Канаде и Мексике [1].

Экология рода *Dropephylla* практически не изучена. Представители рода обитают в лесной подстилке, под бревнами, в разлагающихся растительных остатках, на грибах, в гнездах млекопитающих, а также на цветках [2].

На территории Кавказа ранее были известны 6 видов из рода *Dropephylla*: *D. araxi* Jászay & Hlaváč, 2006 (долина р. Аракс), *D. caucasica* (Kolenati, 1846) (Кавказ), *D. elisabethae* Jászay & Hlaváč, 2006 (Азербайджан, Армения), *D. lindbergi* Jászay & Hlaváč, 2006 (Грузия), *D. reitteri* (Luze, 1906) (Азербайджан), *D. pulchella* Jászay & Hlaváč, 2006 (Азербайджан).

Найденный автором вид *Dropephylla pulchella* Jászay & Hlaváč, 2006, который ранее указывался как *Phyllodrepa vilis pulchella* Luze, 1906, восстановлен в качестве самостоятельного вида при ревизии рода *Dropephylla*.

До настоящего времени вид был известен по двум экземплярам, собранным в Азербайджане (Ленкорань) [1].

**Район исследования и методы.** В основу статьи легли полевые сборы автора в национальном парке «Приэльбрусье» (северный макросклон Центрального Кавказа) в 2013 г. и в ущелье р. Башиль. Территория национального парка занимает верховья рек Малки и Баксана. В связи с высоким поднятием Центрального Кавказа, в районах, прилегающих к долине р. Баксан, мало выражено влияние влажных средиземно-черноморских ветров [3]. Так как рельеф эльбрусского варианта поясности имеет сравнительно мягкие очертания и относительно ровные платообразные формы с пологими северо-восточными и восточными склонами, сухие воздушные потоки Прикаспийской низменности, не задерживаясь передовыми хребтами, легко достигают гор, что обуславливает ксерофитизацию ландшафтов и континентальность климата [4].

Материал собран вручную с помощью энтомологического сита. При определении до рода был использован определитель жуков Средней Европы [5], до вида – определительная таблица рода *Dropephylla* [1].

Материал хранится в Институте экологии горных территорий им. А.К. Темботова РАН, г. Нальчик.

***Dropephylla pulchella* Jasz&Hlav., 2006**

**Материал:** 1♂ 26.06.13, примерно в 1 км от п. Эльбрус, N43°15'833", E42°39'465", h= 1705 м над ур. м., березовый лес, в гниющем пне; 2♀♀ 25.06.13, левый берег р. Адыл-Су, N43°14'233", E42°38'737", h= 1805 м над ур. м.,



в сосновом лесу, в гниющем бревне; 1♂1♀ 07.08.15, ущ. р. Башиль, правый берег р. Джайлыксы, N43°12'26", E42°59'19", h= 2075 м над ур. м., сосняк разнотравный, в гниющем пне.

Собранные автором экземпляры отличаются большей длиной тела – 2.4–2.5 мм, против 2.25 мм у описанных в статье [1], окраска и пунктировка тела соответствует описанию вида, эдеагус найденного экземпляра представлен на фото (рис. 1, 2), для сравнения представлен рисунок эдеагуса (рис. 3) из статьи [1].

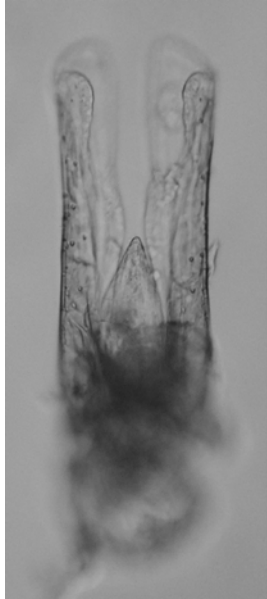


Рис. 1. Эдеагус *Dropephylla pulchella*, вид снизу (фото автора)

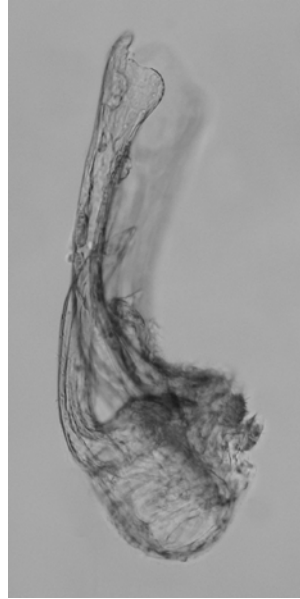


Рис. 2. Эдеагус *Dropephylla pulchella*, вид сбоку (фото автора)

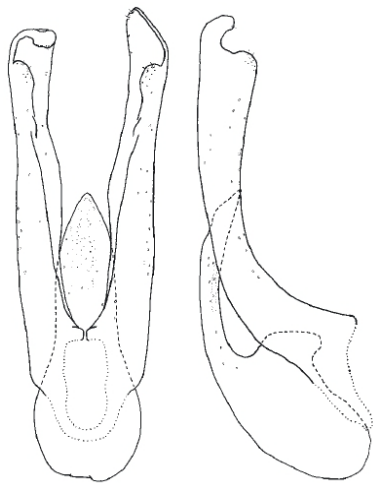


Рис. 3. Эдеагус *Dropephylla pulchella* (по [1])

Все особи *Dropephylla pulchella* найдены в субальпийском поясе, на высотах 1705–2075 м над ур. м., в гниющей древесине, в сосновом

(доминирует сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.)) и березовом (береза Литвинова (*Betula litwinowii* Doluch.)) лесах, что позволяет предположить, что *Dropephylla pulchella* является ксилобионтным видом.

Данные по экологии данного вида приводятся впервые.

**Заключение.** Находка стафилинид *Dropephylla pulchella* Jászay & Hlaváč, 2006 на Северном Кавказе (Кабардино-Балкарская республика) является также первым указанием для Большого Кавказа и России. До настоящего времени вид был известен из Азербайджана (Ленкорань). *Dropephylla pulchella* предположительно является ксилобионтным видом, т.к. встречается в гниющей древесине. Данные по экологии вида приводятся впервые. Собранные экземпляры отличаются большими размерами от описанных в статье [1]. Приведены фотографии эдеагуса.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития».

## Литература

1. Jászay T. & Hlaváč P. A revision of the Palaearctic species of the genus *Dropephylla* (Coleoptera: Staphylinidae: Omaliinae) // Entomological Problems. 2006. Vol. 36 (1). P. 31–62.
2. Koch K. Die Käfer Mitteleuropas. Ökologie. Band 1. Krefeld: Goecke & Evers Verlag, 1989. 440 p.
3. Альпы-Кавказ. Современные проблемы конструктивной географии горных стран. М.: Наука, 1980. 251 с.
4. Соколов В.Е., Темботов А.К., Млекопитающие. Насекомоядные. М.: Наука, 1989. С. 3–27.
5. Assing V., Schülke M. Freude, Harde, Lohse, Klausnitzer. Die Käfer Mitteleuropas. Band 4. Staphylinidae I. Zweite neubearbeitete Auflage. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag. I–XII. 2011. 560 p.

## References

1. Jászay T., Hlaváč P. A revision of the Palaearctic species of the genus *Dropephylla* (Coleoptera: Staphylinidae: Omaliinae). Entomological Problems, 2006, vol. 36 (1), pp. 31–62.
2. Koch K. Die Käfer Mitteleuropas. Ökologie. Bd. 1. Goecke & Evers Verlag, Krefeld, 1989. 440 S.

3. Alps-Caucasus. Modern problems of constructive geography of mountain countries. Moscow, Nauka, 1980. 251 p.

4. Sokolov V.E., Tembotov A.E. Mammalia. Insectivora. Moscow, Nauka, 1989, pp.3–27.

5. Assing V., Schülke M. Freude-Hard-Lohse-Klausnitzer – Die Käfer Mitteleuropas. Bd. 4. Staphylinidae I. Zweite neubearbeitete Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg. I–XII, 2011. 560 S.



***DROPEPHYLLA PULCHELLA* JÁSZAY & HLAVÁČ, 2006 (COLEOPTERA, STAPHYLINIDAE: OMALIINAE), A NEW SPECIES OF ROVE BEETLES FOR THE FAUNA OF RUSSIA AND THE NORTH CAUCASUS**

© A.A. Aiydov

Tembotov Institute of Ecology of Mountain Territories, Kabardino-Balkar Scientific Centre, RAS,  
37-a, ulitsa I. Armand, 360051, Nalchik, Kabardino-Balkaria, Russian Federation

The article describes the first finding of the rove beetle *Dropephylla pulchella* Jászay & Hlaváč, 2006 not only in the North Caucasus (Kabardino-Balkar Republic), but also in the Greater Caucasus and Russia. Up to now this species was known only by two specimens collected in Azerbaijan (Lenkoran). The data on ecology of the species are presented for the first time as well. Distinctive features of the collected specimens and photos of their aedeagus are given.

Key words: *Staphylinidae*, *Omaliinae*, *Dropephylla pulchella*, fauna, Central Caucasus, Russia.

УДК 579.25

**LYSINIBACILLUS SP. CZ31H – ШТАММ-ДЕСТРУКТОР ХЛОРФЕНОКСИКИСЛОТ****© В.В. Коробов, Н.В. Жарикова, Е.Ю. Журенко, Т.Р. Ясаков,  
А.И. Сагитова, С.Н. Стариков, Т.В. Маркушева**

Описаны свойства нового деструктора хлорфеноксикислот *Lysinibacillus* sp. CZ31H, выделенного из популяции почвенных микроорганизмов, подвергавшихся долговременному воздействию нефтехимического производства г. Салавата Республики Башкортостан. Идентификация штамма осуществлена по совокупности хемотаксономических и генетических признаков. Уровень сходства последовательности генов 16S рРНК позволил дифференцировать вновь выделенный штамм как *Lysinibacillus* sp. семейства *Bacillaceae*, принадлежащего к порядку *Bacillales* отдела *Firmicutes*. Штамм *Lysinibacillus* sp. CZ31H способен использовать в качестве источника углерода и энергии 4-хлорфеноксиуксусную (4-ХФУК) и 2,4-дихлорфеноксиуксусную (2,4-Д) кислоты. Динамику роста деструктора изучали в периодической культуре на синтетической питательной среде. Обнаруженные закономерности изменения значений показателя оптической плотности клеточной суспензии указывают на то, что *Lysinibacillus* sp. CZ31H обладает одинаковым типом роста в условиях использования молекул одно- и двуххлорзамещенных феноксиуксусных кислот.

Ранее для представителей бациллярной линии протеобактерий рода *Lysinibacillus* не была установлена возможность ассимиляции хлорароматических производных. В настоящем исследовании на примере штамма *Lysinibacillus* sp. CZ31H впервые обнаружена способность к ассимиляции 4-ХФУК и 2,4-Д у представителей рода *Lysinibacillus*.

Вновь выделенный штамм-деструктор хлорфеноксикислот *Lysinibacillus* sp. CZ31H может быть применен в разработках технологий биоремедиации среды в техносфере.

Ключевые слова: *Lysinibacillus*, бактерия, хлорфеноксиуксусная кислота, ассимиляция.

**Введение.** Известно, что среди загрязнителей современной биосферы существенное место занимают производные ароматического ряда. Так, монохлоруксусные кислоты, являющиеся сырьем для синтеза медицинских препаратов, в том числе бензилпенициллина, барбитала, веронала, витамина В6 и жаропонижающих средств, часто используются в качестве растворителей и осадителей, а также при получении кубовых красителей и карбоксиметилцеллюлозы. Дихлорфеноксиуксусные кислоты, составляющие основу классической серии высокоselectивных системных гербицидов таких как аминопелик, дезормон, дикамин-Д, дикопур Ф, луварам, октапон, эстерон, лотус Д, диален, чисталан, лонтрим, трезор, ланцет, фенфиз, октиген

и др., широко применявшихся для борьбы с однолетними двудольными сорняками в посевах яровой и озимой пшеницы, овса, проса, кукурузы, гречихи, сорго и других культур во многих странах мира.

Современный сценарий проявления неизбежного присутствия в окружающей среде производных ароматического ряда, оказывающих многофакторное негативное воздействие на живые системы, диктует острую необходимость конверсии как накопленных, так и вновь поступающих поллютантов. Преодоление существующих сложностей в утилизации опасных химикатов в настоящее время связывается с использованием естественных механизмов, присутствующих у микроорганизмов, способным формиро-

КОРОБОВ Владислав Викторович – к.б.н., Уфимский Институт биологии РАН, e-mail: tvmark@anrb.ru  
ЖАРИКОВА Наталья Владимировна – к.б.н., Уфимский Институт биологии РАН, e-mail: tvmark@anrb.ru  
ЖУРЕНКО Евгения Юрьевна – к.б.н., Уфимский Институт биологии РАН, Учебно-научный центр БГПУ им. М. Акмуллы и УИБ РАН, e-mail: tvmark@anrb.ru  
ЯСАКОВ Тимур Рамилевич – к.б.н., Уфимский Институт биологии РАН, e-mail: yasakov@anrb.com  
САГИТОВА Алина Иршатовна, Уфимский Институт биологии РАН, e-mail: tvmark@anrb.ru  
СТАРИКОВ Сергей Николаевич, Уфимский Институт биологии РАН, e-mail: tvmark@anrb.ru  
МАРКУШЕВА Татьяна Вячеславовна – д.б.н., Уфимский Институт биологии РАН, Учебно-научный центр БГПУ им. М. Акмуллы и УИБ РАН, e-mail: tvmark@anrb.ru

вать адекватный ответ на присутствие токсикантов. Изучение современных микробных деструкторов, представляющих собой эффективный инструмент для борьбы с загрязнением, является важным этапом разработки технологий ремедиации среды.

Цель настоящей работы – выявить свойства вновь выделенного природного бактериального деструктора хлорфеноксикислот рода *Lysinibacillus*.

**Материалы и методы.** Объектом исследования являлся штамм бактерий, изолированный из грунтов территории промзоны г. Салавата Республики Башкортостан.

Свойства культуры, включая окраску по Граму, морфологию и морфометрию клеток и колоний, а также основные физиолого-биохимические признаки исследовали с использованием стандартных методов. Определение таксономического положения штамма осуществляли согласно принципам руководства «Определитель бактерий Берджи». Генетическое типирование основывали на результатах сравнительного анализа ПЦР-фрагментов гена 16S рРНК, полученных с использованием универсальной праймерной системы. Амплификацию ДНК проводили в стандартной реакционной смеси с ДНК-полимеразой BioTaq (Диалат ЛТД, Россия). ПЦР-амплификаты анализировали путем электрофореза в 1.8–2% геле агарозы при напряженности электрического поля 6 В/см [1].

Секвенирование ДНК осуществляли с помощью набора реактивов Big Dye Terminator v.3.1 (Applied Biosystems, Inc., USA) на автоматическом секвенаторе ABI PRIZM 3730 (Applied Biosystems, Inc., USA) согласно инструкциям производителя. Первичная характеристика сходства нуклеотидных последовательностей была получена с помощью программного пакета BLAST. Множественное выравнивание и построение филогенетического дерева было проведено в программе MEGA4 по результатам онлайн сравнения гомологов полной последовательности гена 16S рРНК и данных RDP и GenBank.

Динамику роста деструктора изучали в периодической культуре на синтетической питательной среде, в которую в качестве источника углерода и энергии раздельно вносили хлорфеноксикислоты (4-ХФУК и 2,4-Д) до конечной концентрации 100 мг/л. Для измерения оптической плотности клеточной суспензии (OD<sub>590</sub>) использовался метод нефелометрии.

**Результаты и обсуждение.** Изучение фенотипических характеристик культуры *Lysinibacillus* sp. CZ31H, проведенное в начале работы, показало, что варьирующие по размеру палочковидные клетки бактерий на твердых средах образовывали круглые непрозрачные колонии светло-кремового цвета. Оптимум роста наблюдался в диапазоне от 28 до 32°C при нейтральных значениях pH.

В последствии для генетического типирования и построения филогенетического дерева изучаемого изолята была определена практически полная последовательность гена 16S рРНК, составившая 1492 п.н.

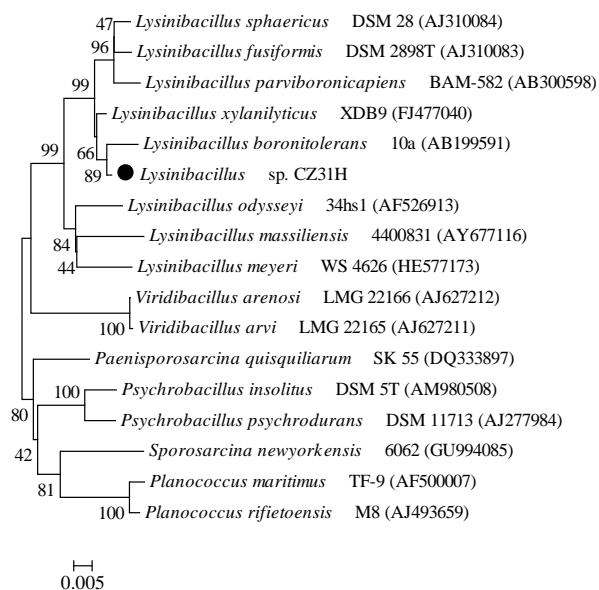


Рис. 1. Филогенетическое дерево, построенное на основе сравнительного анализа последовательности гена 16S рРНК штамма *Lysinibacillus* sp. CZ31H и гомологичных ей последовательностей типовых видов бактерий семейств *Bacillaceae* и *Planococcaceae*. Масштаб показывает эволюционное расстояние, соответствующее 1 нуклеотидной замене на каждые 1000 нуклеотидов. Цифрами показана статистическая достоверность порядка ветвления, определенная с помощью bootstrap-анализа (значимыми признаются величины показателя bootstrap более 50)

На основании анализа филогенетического дерева, представленного на рис. 1, можно сделать вывод о принадлежности вновь выделенных бактерий к роду *Lysinibacillus*. При этом среди ранее описанных к изучаемому изоляту филогенетически наиболее близкими являются типовые виды *L. xylanilyticus* XDB9 и *L. boronitolerans* 10a [2]. Уровень сходства исследуемой последовательности и генов 16S рРНК *L. xylanilyticus* XDB9 (FJ477040) и *L. boronitolerans* 10a (AB199591) составил 99.5

и 98.1% соответственно. Полученные данные позволили дифференцировать вновь выделенный штамм как *Lysinibacillus* sp. семейства *Bacillaceae*, принадлежащего к порядку *Bacillales* отдела *Firmicutes*.

Далее в экспериментальной модельной системе было проведено исследование динамики накопления биомассы штамма *Lysinibacillus* sp. CZ31H в условиях использования в качестве единственного источника углерода и энергии хлорзамещенных феноксиуксусных кислот (рис. 2).

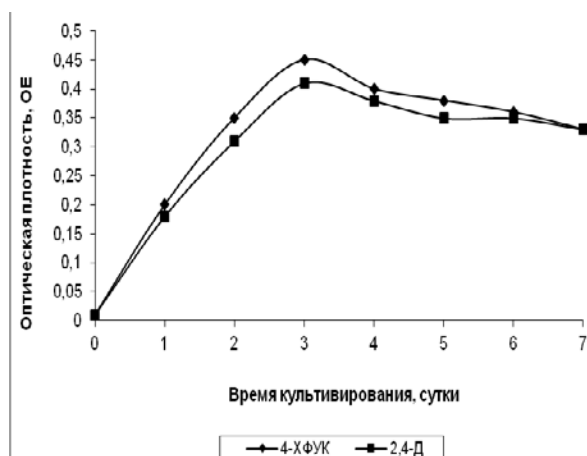


Рис. 2. График зависимости значений оптической плотности клеточной суспензии  $OD_{590}$  от времени инкубации штамма *Lysinibacillus* sp. CZ31H в условиях использования 4-ХФУК и 2,4-Д в качестве единственного источника углерода и энергии

Из графиков, представленных на рис. 2, становится понятным, что *Lysinibacillus* sp. CZ31H способен осуществлять рост в периодической культуре при использовании в качестве источника питания как 4-ХФУК, так и 2,4-Д. Анализ динамики изменения показателя оптической плотности клеточной суспензии ( $OD_{590}$ ), указывающий на накопление бактериальной массы *Lysinibacillus* sp. CZ31H, обнаруживает, что культуры не имели фазы начального замедления роста. Полученные графики также выявляют одинаковую длительность экспоненциального роста на 4-ХФУК и 2,4-Д, о чем свидетельствует то, что к третьим суткам значения  $OD_{590}$  достигали 0.45 и 0.41 ОЕ соответственно. Далее следовала короткая (около 1 суток) стационарная фаза и снижение значений показателей плотности суспензии на 4-е сутки культивирования, указывающее на отмирание культур.

Существенное сходство закономерности изменения значений показателя оптической

плотности клеточной суспензии *Lysinibacillus* sp. CZ31H указывает на то, что штамм обладает одинаковым типом роста в условиях использования в качестве источника питания и энергии молекул одно- и двуххлорзамещенных феноксиуксусных кислот. В этом контексте следует обратить внимание и на то, что отсутствие выраженной фазы начального замедления роста свидетельствует в пользу одинаково быстрой адаптации клеток *Lysinibacillus* sp. CZ31H к обоим субстратам.

Обсуждая полученные данные, следует принять во внимание то, что род *Lysinibacillus* был выделен относительно недавно, в 2007 г., при реклассификации двух видов рода *Bacillus* [2]. Предложение об обособлении рода *Lysinibacillus* в отдельный таксон связывалось с особенностями строения пептидогликана клеточной стенки, который отличался диагностическим наличием лизина, аланина, аспарагиновой и глутаминовой кислот, однако в качестве опорной характеристики авторы использовали результаты филогенетического анализа, основанного на сравнении структуры генов 16S рРНК.

В последнее время среди представителей таксона *Lysinibacillus* были обнаружены штаммы, обладающие прикладными свойствами в области поддержания качества окружающей среды. Выделена культура *L. fusiformis* LW13, используемая при очистке среды от хлорбензола [3]. Ren и соавторы изолировали из аэробного ила коксохимического завода китайского города Шаогуань штамм *L. cresolivorans* sp. nov, способный утилизировать м-крезол [4]. Chaudhary с соавторами было обнаружено, что выделенные из образцов почв завода индийского города Матхура представители *Lysinibacillus*, а также бактерии родов *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Brevibacterium*, *Serratia*, *Stenotrophomonas* и *Streptomyces* могут использовать в качестве источника углерода и энергии смесь полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), в том числе антрацен, фенантрен, флуорен и пирен. Авторы исследования полагают, что представители этих родов могут играть активную роль в ремедиации среды от ПАУ [5]. Несомненный интерес вызывает биологическое разложение дизельного топлива в воде и почве микробным консорциумом, составленным из четырех штаммов, выделенных из загрязненных нефтью почв Туниса: *L. bronitolerans* RI18, *Bacillus thuringiensis* RI16, *Bacillus weihenstephanensis* RI12 и *Acinetobacter*

*radioresistens* RI7 [6]. Обращают на себя внимание результаты применения полученного из бокситной шахты *Lysinibacillus* sp. BA2 в целях биосорбции никеля из промышленных сточных вод и *L. sphaericus* B1-CDA, обладающего потенциалом для удаления мышьяка из загрязненной водной среды.

Анализ публикаций, касающихся проблемы конверсии хлорароматических производных, показывает, что у бактерий рода *Lysinibacillus* ранее не наблюдалась способность к использованию хлорфеноксиуксусных кислот в качестве источников углерода и энергии. В настоящей работе на примере штамма *Lysinibacillus* sp. CZ31H, выделенного из почвенных популяций микроорганизмов, подвергавшихся длительному воздействию факторов нефтехимического производства на территории Южного промузла РБ, впервые обнаружена способность к ассимиляции 4-ХФУК и 2,4-Д у представителей рода *Lysinibacillus*.

Следует также отметить, что ранее при изучении деструкторов хлорфеноксикислот техногенной экосистемы Северного промузла РБ [7] был выделен принадлежащий бациллярной линии протеобактерий штамм-деструктор 2,4-Д *Bacillus subtilis* 16 [1], в то время как большинство деструкторов производных ароматического ряда было отнесено к гамма-подклассу протеобактерий [8–10].

Таким образом, в настоящей работе выявлены свойства нового бактериального деструктора 4-ХФУК и 2,4-Д *Lysinibacillus* sp. CZ31H. Штамм-деструктор 4-ХФУК и 2,4-Д *Lysinibacillus* sp. CZ31H может быть применен в разработках технологий ремедиации окружающей среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Федорова А.А., Коробов В.В., Журенко Е.Ю., Жарикова Н.В., Ясаков Т.Р., Анисимова Л.Г., Маркушева Т.В. Особенности ассимиляции 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты *Bacillus subtilis* 16 // Вестник Уральской медицинской академической науки. 2011. № 4/1 (38). С. 182–183.
2. Ahmed I., Yokota A., Yamazoe A., Fujiwara T. Proposal of *Lysinibacillus boronitolerans* gen. nov. sp. nov., and transfer of *Bacillus fusiformis* to *Lysinibacillus fusiformis* comb. nov. and *Bacillus sphaericus* to *Lysinibacillus sphaericus* comb. nov. // International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2007. V. 57. P. 1117–1125.
3. Li Z.X., Yang B.R., Jin J.X., Pu Y.C., Ding C. The operating performance of a biotrickling

filter with *Lysinibacillus fusiformis* for the removal of high-loading gaseous chlorobenzene // Biotechnology Letters. 2014. V. 36 (10). P. 1971–1979.

4. Ren Y., Chen S.Y., Yao H.Y., Deng L.J. *Lysinibacillus cresolivorans* sp. nov., a m-cresol-degrading bacterium isolated from coking wastewater treatment aerobic sludge // International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2015. V. 65. P. 4250–4255.

5. Chaudhary P., Sahay H., Sharma R., Pandey A.K., Singh S.B., Saxena A.K., Nain L. Identification and analysis of polyaromatic hydrocarbons (PAHs)-biodegrading bacterial strains from refinery soil of India // Environmental Monitoring and Assessment. 2015. V. 187. P. 390–398.

6. Mnif I., Mnif S., Sahnoun R., Maktouf S., Ayedi Y., Ellouze-Chaabouni S., Ghribi D. Biodegradation of diesel oil by a novel microbial consortium: comparison between co-inoculation with biosurfactant-producing strain and exogenously added biosurfactants // Environmental Science and Pollution Research. 2015. V. 22. P. 14852–14861.

7. Жарикова Н.В., Журенко Е.Ю., Коробов В.В., Ясаков Т.Р., Анисимова Л.Г., Маркушева Т.В. Биоразнообразие бактерий-деструкторов хлорированных феноксикислот // Вестник Оренбургского государственного университета. 2009. №6. С. 121–123.

8. Коробов В.В., Журенко Е.Ю., Маркушева Т.В. Ремедиация среды от хлорароматических гербицидов культурой *Arthrobacter globiformis* // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. № 2 (40). С. 218–219.

9. Журенко Е.Ю., Коробов В.В., Жарикова Н.В., Ясаков Т.Р., Анисимова Л.Г., Маркушева Т.В. Особенности структуры микробиоты техногенной экосистемы Северного промузла РБ: бактерии-деструкторы фенола и 2,4-дихлорфенола // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13, № 5(2). С. 172–174.

10. Маркушева Т.В., Журенко Е.Ю., Жарикова Н.В., Коробов В.В., Ясаков Т.Р., Анисимова Л.Г. Штаммы-деструкторы хлорфеноксикислот гамма – подкласса протеобактерий // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13, № 5(2). С. 194–195.

#### References

1. Fedorova A.A., Korobov V.V., Zhurenko E.Yu., Zharikova N.V., Yasakov T.R., Anisimova L.G., Markusheva T.V. Characterization of the process of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid assimilation by *Bacillus subtilis* 16. Vestnik Uralskoy meditsinskoy akademicheskoy nauki, 2011, no. 4/1 (38), pp. 182–183.

2. Ahmed I., Yokota A., Yamazoe A., Fujiwara T. Proposal of *Lysinibacillus boronitolerans* gen. nov. sp. nov., and transfer of *Bacillus fusiformis* to *Lysinibacillus fusiformis* comb. nov. and *Bacillus sphaericus* to *Lysinibacillus sphaericus* comb. nov. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 2007, vol. 57, pp. 1117–1125.

3. Li Z.X., Yang B.R., Jin J.X., Pu Y.C., Ding C. The operating performance of a biotrickling filter with *Lysinibacillus fusiformis* for the removal of high-loading gaseous chlorobenzene. Biotechnology Letters, 2014, vol. 36 (10), pp. 1971–1979.

4. Ren Y., Chen S.Y., Yao H.Y., Deng L.J. *Lysinibacillus cresolivorans* sp. nov., a m-cresol-degrading bacterium isolated from coking wastewater treatment aerobic sludge. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 2015, vol. 65, pp. 4250–4255.

5. Chaudhary P., Sahay H., Sharma R., Pandey A.K., Singh S.B., Saxena A.K., Nain L. Identification and analysis of polyaromatic hydrocarbons (PAHs)-biodegrading bacterial strains from refinery soil of India. Environmental Monitoring and Assessment, 2015, vol. 187, pp. 390–398.

6. Mnif I., Mnif S., Sahnoun R., Maktouf S., Ayedi Y., Ellouze-Chaabouni S., Ghribi D. Biodegradation of diesel oil by a novel microbial consortium: Comparison between co-inoculation with

biosurfactant-producing strain and exogenously added biosurfactants. Environmental Science and Pollution Research, 2015, vol. 22, pp. 14852–14861.

7. Zharikova N.V., Zhurenko E.Yu., Korobov V.V., Yasakov T.R., Anisimova L.G., Markusheva T.V. Biodiversity of chlorophenoxy acid-degrading bacteria. Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta, 2009, no. 6, pp. 121–123.

8. Korobov V.V., Zhurenko E.Yu., Markusheva T.V. Environmental remediation of chloroaromatic herbicides with *Arthrobacter globiformis* culture. Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2013, no. 2 (40), pp. 218–219.

9. Zhurenko E.Yu., Korobov V.V., Zharikova N.V., Yasakov T.R., Anisimova L.G., Markusheva T.V. Structural features in the technogenic environmental microbiota of the Northern industrial hub of the Republic of Bashkortostan: Phenol and 2,4-dichlorophenol-degrading bacteria. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk, 2011, vol. 13, no. 5 (2), pp. 172–174.

10. Markusheva T.V., Zhurenko E.Yu., Zharikova N.V., Korobov V.V., Yasakov T.R., Anisimova L.G. Chlorophenoxy acid-degrading proteobacterial strains. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk, 2011, vol. 13, no. 5 (2), pp. 194–195.

---

## NEW CHLOROPHENOXYACETIC ACID-DEGRADING BACTERIAL STRAIN *LYSINIBACILLUS* SP. CZ31H

© V.V. Korobov<sup>1</sup>, N.V. Zharikova<sup>1</sup>, E.Yu. Zhurenko<sup>1,2</sup>, T.R. Yasakov,  
A.I. Sagitova<sup>1</sup>, S.N. Starikov<sup>1</sup>, T.V. Markusheva<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Ufa Institute of Biology, RAS,

69, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

<sup>2</sup>Educational and Scientific Centre, Akmullah Bashkir State Pedagogical University and  
Ufa Institute of Biology, RAS,

69, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Russian Federation

The new bacterial strain *Lysinibacillus* sp. CZ31H was investigated, which is capable of degrading chlorophenoxyacetic acids isolated from soil microbial population of the Salavat petrochemical manufacturing complex in the Republic of Bashkortostan. The strain was identified according to the combination of cultural, morphological, physiological, biochemical and molecular criteria (16S rRNA sequencing). The *Lysinibacillus* sp. CZ31H batch culture growth on chlorophenoxyacetic acids (4-chlorophenoxyacetic acid (4-CPA) and 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) as a sole source of carbon and energy was done in model systems. *Lysinibacillus* sp. CZ31H biomass accumulation was shown for all three substrates. Degradation of the chlorophenoxyacetic acids (4-CPA and 2,4-D) among *Lysinibacillus* has not been described previously. The new bacterial degrader *Lysinibacillus* sp. CZ31H can be used for innovative environmental remediation technologies.

Key words: *Lysinibacillus*, bacterium, chlorophenoxyacetic acid, assimilation.

УДК 582.33:58.01/.07

**ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗБРАННЫХ ВИДОВ ПЕЧЕНОЧНИКОВ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ ЗОНЫ РЕКРЕАЦИИ НА ЦЕНТРАЛЬНОМ КАВКАЗЕ**

© А.Ж. Жашуев, Р.Х. Пшегусов

Печеночники – широко распространенная по всему миру, своеобразная и очень интересная в научном отношении группа высших растений. Преимущественно мелкие размеры ее представителей, их незначительная роль в сложении фитоценозов горных территорий, сложность идентификации значительного числа растений этой группы являются причиной того, что печеночники в настоящее время наиболее слабо изучены по сравнению с группами других высших растений. Печеночники также являются одним из множества компонентов экосистемы и заслуживают тщательного изучения. В настоящее время работы по инвентаризации флоры печеночников особо актуальны, поскольку проблема сохранения биологического разнообразия входит в число приоритетных задач современной биологии. Современные методы пространственного анализа и моделирования распространения видов позволяют решать задачи оценки распространения видов на основании малого количества находок, что, с одной стороны, позволяет исследователям повысить эффективность оценки, а с другой, на основании прогнозирования распространения, облегчает поиск и обнаружение новых местообитаний видов, что особенно актуально в горных условиях. Один из наиболее эффективных инструментов в первичном прогнозировании ландшафтно-биотопического распределения видов – это анализ данных по алгоритму MaxEnt. Логико-математическая основа методов MaxEnt позволяет по распределениям значений свойств среды выделить местообитания, подобные тем, в которых обнаружен исследуемый вид при условии его равновесного отношения к условиям среды. Все расчеты проводятся по пяти вариантам (линейному, квадратическому, мультипликативному, шарнирному и комплексному). В каждом методе можно выделить переменные среды, в первую очередь определяющие вероятность обнаружения вида и пригодность местообитания. Это позволяет контролировать биологический смысл получаемых результатов. На основании проведенных исследований выявлены характеристики местообитаний на Центральном Кавказе редкого вида, внесенного в Красную Книгу РФ, определены возможные лимитирующие факторы, ограничивающие его распространение, проведен сравнительный пространственный анализ для трех видов печеночников.

Ключевые слова: Центральный Кавказ, Кабардино-Балкарская Республика, печеночники, пространственный анализ, биотоп.

Флора печеночников Центрального Кавказа остается недостаточно изученной по сравнению с флорой сосудистых растений, мхов и лишайников [1]. Сведения о видовом составе, экологии и географии видов печеночников Центрального Кавказа (в пределах Кабардино-Балкарской республики) немногочисленны и фрагментарны. До недавнего времени, по имеющимся данным, сведения о флоре печеночников Кабардино-Балкарской республики отсутствовали. В 2009 году А.Д. Потемкиным и Г.Я. Дорошиной для флоры Кабардино-Балкарии были приведены 13 видов из ущелья Адыр-су, расположенного в Эльбрусском районе

республики [2]. К настоящему времени список видов печеночников составляет 90 видов [3]. Между тем район исследований интересен с ботанико-географической точки зрения, поскольку Центральный Кавказ является самой высокогорной частью Кавказской горной станы и, соответственно, характеризуется высоким разнообразием природных условий, которые зачастую являются экстремальными для произрастания видов. В свете сказанного изучение флоры печеночников – актуальная задача, позволяющая существенно дополнить ботаническую характеристику Северного Кавказа и Центрального Кавказа в частности.

ЖАШУЕВ Альберт Жамалович, Институт экологии горных территорий им. А.К. Темботова РАН, e-mail: albert\_403@mail.ru

ПШЕГУСОВ Рустам Хаталиевич – к.б.н., Институт экологии горных территорий им. А.К. Темботова РАН, e-mail: p\_rustem@inbox.ru



В рамках проводимых исследований особое внимание уделяется поиску новых видов, что в сложных ландшафтно-климатических условиях Центрального Кавказа представляет собой нетривиальную задачу для исследователей. Соответственно, возможность по единичным находкам видов выделить потенциально пригодные для них территории и спрогнозировать обнаружение видов на неисследованных территориях, представляется нам весьма эффективным инструментом исследования.

Согласно исследованиям различных компонентов горных экосистем, проводимым в Институте экологии горных территорий им. А.К. Темботова РАН с 2010 г. [4], эта задача может быть решена на основе дистанционной спутниковой информации, трехмерных моделей рельефа и климатических показателей, в совокупности достаточно полно отражающих свойства местообитаний.

Материалом послужили сборы печеночников, выполненные в ходе проводимых с 2009 г. исследований. Работы проводились в горных районах республики, на высотах примерно от 800 до 3100 м над ур. м., при этом материал собирался преимущественно во влажных лесных, скальных и альпийских растительных сообществах. В среднегорьях были обследованы широколиственные леса в окрестностях г. Нальчика, а также в районе Голубых озер (Черекский р-н). Скальные местообитания обследовались в р-не Чегемских водопадов. В Эльбрусском р-не исследования производились вблизи пос. Эльбрус – ущелья Адыл-су и Ирик-чат, на северных склонах г. Чегет в диапазоне высот от 2700 до 3100 м и вблизи Поляны Нарзанов (рис. 1).

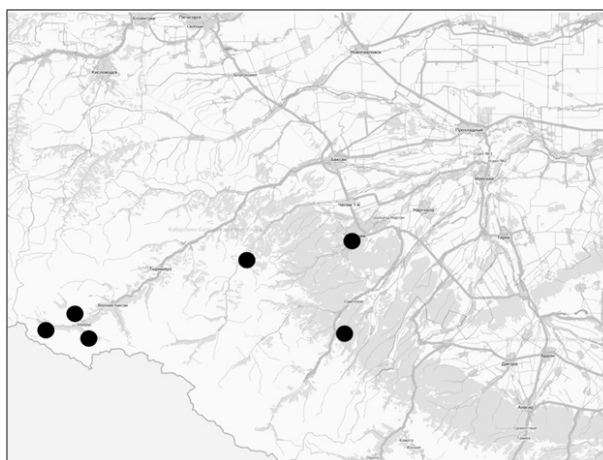


Рис. 1. Район исследований

В качестве модельных выбраны 3 вида печеночников: один редкий краснокнижный вид *Isopaches decolorans* (Limpr.) H. Buch и для сравнения два широко распространенных вида *Frullania riparia* Hampe ex Lehm. и *Lophozia wenzelii* (Nees) Steph.

Основой для проведения анализа является комплекс данных, состоящий из трех блоков [5]: 1) измерения отраженной солнечной радиации со спутника Landsat 7 с соответствующими индексами (отражающими в совокупности состояние растительности, запас, биологическую продуктивность и влажность); 2) данные радиолокационной съемки рельефа SRTM; 3) климатические показатели WorldClim, включающие данные по температуре, осадкам и производные от них биоклиматические характеристики

Все переменные приведены к масштабу с разрешением 150 м на местности, что близко к оценке точности позиционирования в горах и

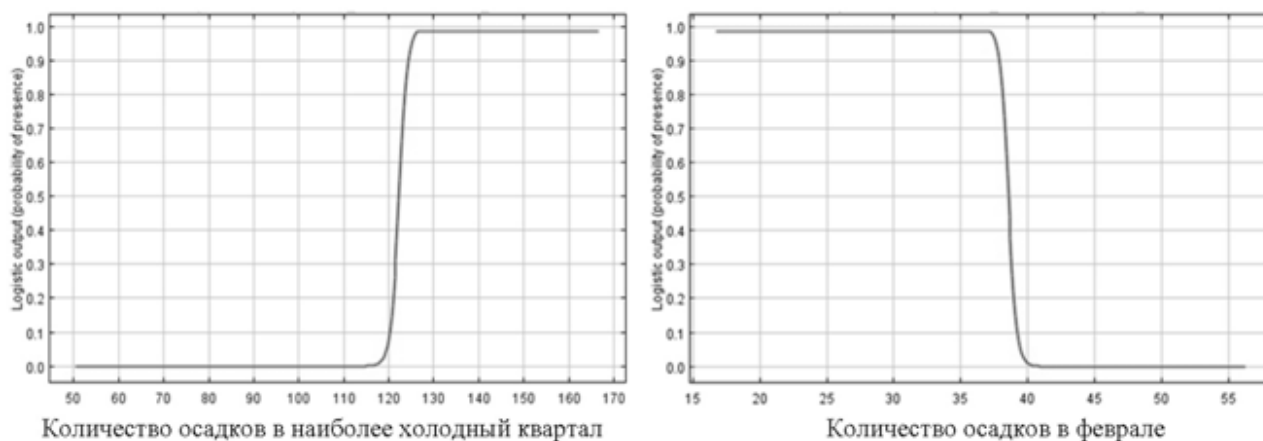


Рис. 2. Факторы среды, определяющие размещение *Isopaches decolorans* на исследуемой территории

облегчает расчеты на стандартных компьютерах.

Пространственный анализ и прогнозирование осуществлялись с помощью алгоритма «максимальной энтропии» в программе MAXENT [6]. В результате проведенного анализа получены табличные и графические отображения области распространения, при этом, несмотря на формирование растровой карты в программе MAXENT, окончательная обработка графических визуализаций происходила с помощью программы MapInfo 10, а табличных данных – в STATISTICA v.10.0. Удобство подобного подхода заключается также и в параллельном использовании методов статистики (основные статистики, таблицы встречаемости) для физического описания выделенных биотопов.

Так, несмотря на редкий статус вида, для *Isopaches decolorans* выделяются биотопы в пределах высот 600–2300 м на пологих склонах (в среднем 11°) юго-восточной экспозиции. Наибольший вклад в модели распространения вида вносят количество осадков в феврале и количе-

ство осадков в наиболее холодный квартал (рис. 2).

Для *Lophozia wenzelii* выделяются биотопы в пределах 2000–2200 м над ур. м. на крутых склонах 14–30° восточной и северо-восточной экспозиции. Основными факторами в модели, ограничивающими распространение *Lophozia wenzelii*, являются сумма осадков в год (варьирующая в пределах 850–1200 мм) и годовая амплитуда температур (не более 28.5°C) (рис. 3).

Для *Frullania riparia* выделяются биотопы в среднегорье в пределах 1200–1750 м над ур. м. на пологих склонах 1–14° юго-восточной, южной, и юго-западной экспозиции. Наибольший вклад в модели распространения вида вносят экспозиция склона и осадки в октябре (более 75 мм) (рис. 4).

Общая площадь территории, определяемая как потенциально благоприятная для обитания исследуемых видов, составляет: для *Isopaches decolorans* – порядка 4 км<sup>2</sup> (0.03% от исследуемой площади), для *Lophozia wenzelii* – 0.9 км<sup>2</sup> (0.008%), для *Frullania riparia* – 6.3 км<sup>2</sup> (0.06%).

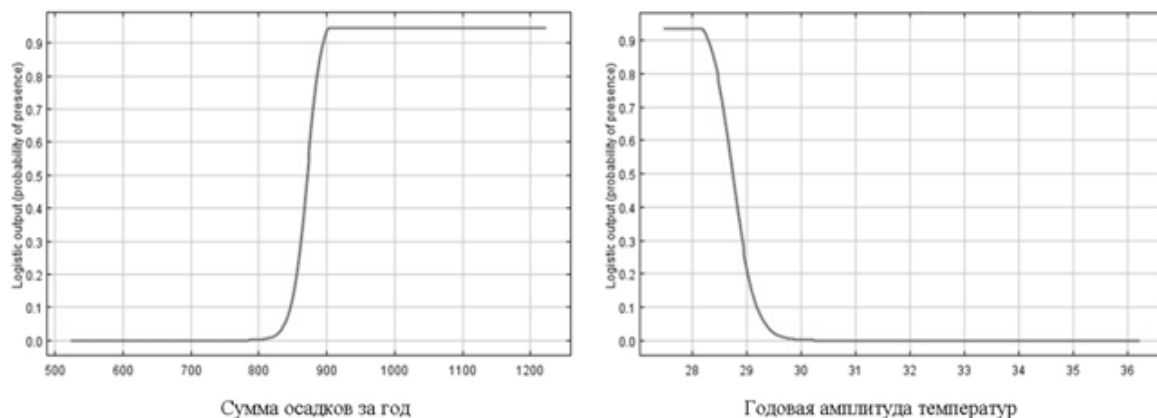


Рис. 3. Факторы среды, определяющие размещение *Lophozia wenzelii* на исследуемой территории

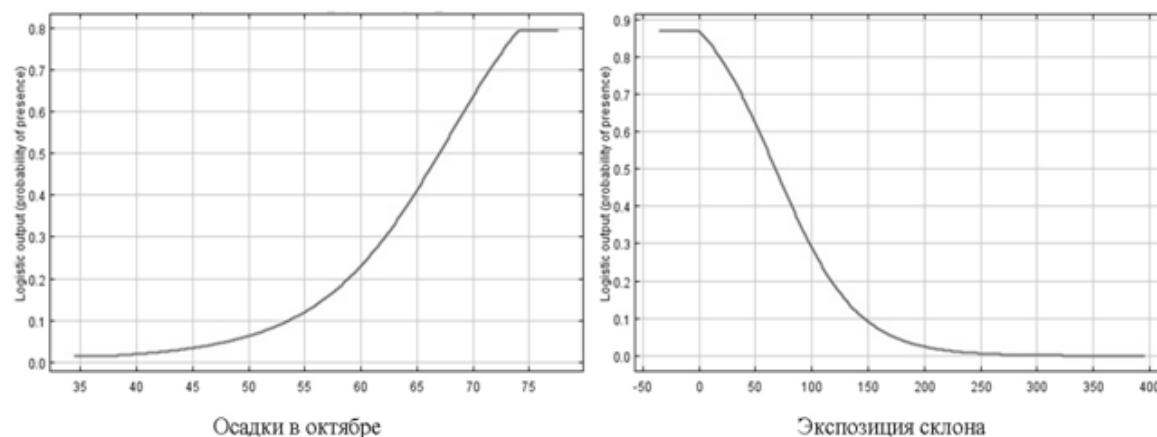


Рис. 4. Факторы среды, определяющие размещение *Frullania riparia* на исследуемой территории

Столь малые значения потенциально пригодных местообитаний могут объясняться как малым количеством исходных находок видов, использованных для исследования, так и высокой специфичностью видов. В пользу последнего утверждения говорят результаты пошагового дискриминантного анализа, который в соответствии с критерием автоматически исключает из анализа переменные, прямо не связанные с дискриминируемым объектом. Метод дискриминантного анализа преобразует внешние переменные в ортогональные оси, число которых на одну меньше, чем число классов. При этом каждая ось однозначно описывается определенным набором внешних переменных. Так как значения переменных известны для каждой точки растра, можно построить отображение числовых значений всех осей на растровой карте. В нашем случае рассматриваются только два состояния: «отсутствие (0) – наличие (1)» вида, и все множество переменных, возможно отражающих размещение вида, сводится к одной оси (DS), положительной области которой соответствует одно состояние, а отрицательной – второе (рис. 5). Нормальное распределение, предсказывающее вероятность наличия

(отсутствия) вида, строится относительно оси дискриминантного анализа, формально определяющей лимиты обитания вида и выступающей в качестве индекса пригодности местообитаний (habitat suitability index) [7]. При построении распределений вероятности принадлежности точки к каждому состоянию проводится оценка по двум вариантам: дисперсия для каждого класса определяется для подмножеств обучающей выборки в пропорциях, соответствующих числу наблюдений для каждого класса, (данный метод в программе Statistica определяется как «estimate») и дисперсия оценивается при допущении равновероятности обоих состояний («equal») [8].

Процент правильного распознавания групп для исследуемых видов колеблется в пределах 93.5–99.2% (табл.). В нашем исследовании рассчитанные значения вероятности встречаемости видов выше 0.8 определяются нами как благоприятные биотопы, вероятности от 0.5 до 0.8 интерпретируются как потенциально пригодные. При этом близкие значения процента правильного распознавания групп *Lophozia wenzelii* позволяют предположить, что выделенные участки вида близки к оптимальным.

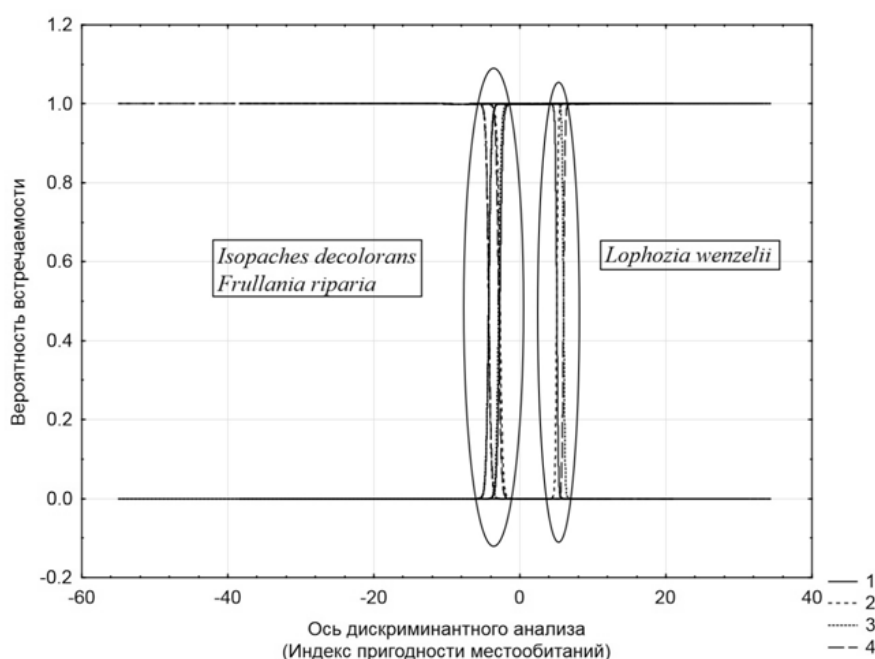


Рис. 5. Соотношение значения оси дискриминантного анализа и вероятностей двух классов для модели оптимальных мест обитания:

- 1 – наличие по равновероятностной модели (equal);
- 2 – отсутствие по равновероятностной модели (equal);
- 3 – наличие по пропорциональной модели (estimate);
- 4 – отсутствие по пропорциональной модели (estimate)

Результаты дискриминантного анализа

	Вид	% правильного распознавания групп		Хи-квадрат	Число степеней свободы	р	Каноническая корреляция $r$
		estimate	equal				
1	<i>Frullania riparia</i>	93.5	98.4	653.961	97	0	0.766
2	<i>Lophozia wenzelii</i>	97.1	97.8	682.968	37	0	0.669
3	<i>Isopaches decolorans</i>	97.9	99.2	623.781	7	0	0.787

Показатель экологической пластичности или эвритопности (разность между распределением вероятностей потенциально благоприятных местообитаний, рассчитанная по двум априорным вероятностям – estimate и equal) показывает минимальный уровень пластичности (стенотопность) для *Lophozia wenzelii*, при этом *Isopaches decolorans* и *Frullania riparia* занимают сходные области оси дискриминантного анализа.

Анализируя полученные результаты, можно сделать заключение о том, что для исследуемых видов одним из факторов, лимитирующих пространственно-биотопическое размещение, являются осадки. В свете изменения климата как глобального, так и регионального масштаба, этот факт подчеркивает уязвимость исследуемых видов печеночников и актуализирует проблему разработки мер их сохранения. Кроме этого, минимальный среди трех видов уровень показателя относительной пластичности вида *Lophozia wenzelii*, а также близкие значения процента правильного распознавания групп в дискриминантном анализе ставят вопрос о природоохранном статусе данного вида по крайней мере для территории республики. В целом проведенные исследования показывают эффективность использования наукоемких методов исследования одного из компонентов экосистем, а также значительно расширяют представления о взаимосвязи исследуемых объектов со средой обитания и воздействии абиотических факторов на компоненты экосистем.

2. Потемкин А.Д., Дорошина Г.Я. К флоре печеночников российской части Кавказа // Новости сист. низш. раст. 2009. Т. 43. С. 377–391.

3. Жашуев А. Ж, Потемкин А. Д. Сравнительный анализ печеночников Центрального Кавказа по вариантам поясности (в пределах Кабардино-Балкарии) // Вестник АГУ. 2014. С. 105–107.

4. Ханов З.М., Пшегусов Р.Х. Опыт использования пространственного анализа и моделирования распространения избранных видов лишайников Центрального Кавказа (на примере Кабардино-Балкарской республики) // Лихенология в России: актуальные проблемы и перспективы исследований II Междунар. конф. 2014. С. 221–230.

5. Пшегусов Р.Х., Пхитиков А.Б. Технологии дистанционного мониторинга: перспективы исследования // Фундаментальная и прикладная наука глазами молодых ученых. Успехи, перспективы и пути решения: мат-лы III научно-практ. конф. молодых ученых РАН. 2013. С. 37–39.

6. Baldwin R.A. Use of maximum entropy modeling in wildlife research // Entropy. 2009. Vol. 11, no. 4. P. 854–866.

7. U.S. Fish and Wildlife Service. Standards for the development of habitat suitability index models for use in the Habitat Evaluation Procedures // USDI Fish and Wildlife Service. Division of Ecological Services. ESM 103. <http://www.fws.gov/policy/ESM103-TOC.pdf>.

8. Пузаченко Ю.Г., Математические методы в экологических и географических исследованиях. М.: Академия, 2004. 408 с.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шхагапсоев С.Х., Волкович В.Б. Растительный покров Кабардино-Балкарии и его охрана. Нальчик: Эльбрус, 2002. 94 с.

#### References

1. Shkhagapsoev S.Kh., Volkovich V.B. Vegetative cover in Kabardino-Balkaria and its protection. Training manual. Nalchik, Elbrus, 2002. 94 p.

2. Potemkin A.D., Doroshina G.Ya. On the flora of liverworts in the Russian Caucasus. *Novosti sistematiki nizshikh rasteniy*, 2009, vol. 43, pp. 377–391.

3. Zhashuev A.Zh, Potemkin A.D. Comparative analysis of liverworts in the Central Caucasus according to the types of zonation (within Kabardino-Balkaria). *Vestnik AGU*, 2014, no. 2, pp. 105–107.

4. Khanov Z.M., Pshegusov R.Kh. Experience in the use of spatial analysis and distribution modelling of lichen selected species in the Central Caucasus (with the Kabardino-Balkar Republic taken as an example). *Likhenologiya v Rossii: aktualnye problemy i perspektivy issledovaniy. Materialy II Mezhdunarodnoy konferentsii*, 2014, pp. 221–230.

5. Pshegusov R.Kh., Pkhitikov A.B. Remote monitoring technologies: Prospects for research.

Fundamentalnaya i prikladnaya nauka glazami molodykh uchenykh. *Uspekhi, perspektivy i puti resheniya. Materialy III nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh RAN*, 2013, pp. 37–39.

6. Baldwin R.A. Use of maximum entropy modeling in wildlife research. *Entropy*, 2009, vol. 11, no. 4, pp. 854–866.

7. Fish U.S. and Wildlife Service. Standards for the development of habitat suitability index models for use in the Habitat Evaluation Procedures. USDI Fish and Wildlife Service. Division of Ecological Services. ESM 103. Available at: <http://www.fws.gov/policy/ESM103-TOC.pdf>.

8. Puzachenko Yu.G. *Mathematical methods in environmental and geographical research*. Moscow, Academia, 2004. 408 p.



## **ENVIRONMENTAL AND GEOGRAPHICAL ANALYSIS OF SOME LIVERWORT SPECIES FROM NATURAL AND ANTHROPOGENIC ECOSYSTEMS OF THE RECREATION ZONE IN THE CENTRAL CAUCASUS**

© **A.Zh. Zhashuev, R.Kh. Pshegusov**

Tembotov Institute of Ecology of Mountain Territories, Kabardino-Balkar Scientific Centre, RAS,  
37-a, ulitsa I. Armand, 360051, Nalchik, Kabardino-Balkaria, Russian Federation

Liverworts are a specific and scientifically interesting group of higher plants spread all over the world. At present liverworts are the least studied as compared to other groups of higher plants because of their relatively small size, insignificant role in the formation of mountain phytocoenoses and the difficulties in identifying many representatives of this group. Nevertheless, liverworts are one of the multiple components of ecosystems and should be thoroughly investigated. At present the liverwort inventory is a pressing issue since the problem of preserving biodiversity is a top priority in modern biology. Current methods of spatial analysis and species distribution modelling make it possible to estimate species distribution based on scanty findings. On the one hand, this helps improve the assessment efficiency and, on the other hand, facilitate searching and finding new species habitats in terms of predictive distribution, that being especially important under mountain conditions. MaxEnt analysis is one of the most effective tools for primary assignment of species landscape and biotopical distribution. Using the distribution patterns of environment property values, the MaxEnt mathematical logic approach singles out habitats similar to those where the species under investigation can be found providing its balanced adaptation to the environment. All calculations are made according to five methodologies (linear, quadratic, multiplicative, hinge and complex). Environment variables can be distinguished in each method to estimate the most probable species finding and habitat suitability. This allows the biological relevance of the results obtained to be monitored. Based on the research works, the authors reveal Central Caucasian habitats of this rare species listed in the Red Data Book of the Russian Federation, identify possible limiting factors in its distribution and perform comparative spatial analysis of three liverwort species.

Key words: Central Caucasus, Kabardino-Balkar Republic, liverworts, spatial analysis, biotope.

## К СИНТАКСОНИИ МЕЗОФИЛЬНЫХ ЛУГОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА (В ПРЕДЕЛАХ КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ)

© Н.Л. Цепкова

В связи с усилением антропогенного пресса на горные экосистемы Центрального Кавказа (включение территории в состав окружного горно-туристического кластера) показана необходимость изучения биологического разнообразия горных лугов, играющих роль резерватов генофонда горной флоры и вовлеченных в хозяйственную деятельность. Приведены характеристики двух новых синтаксонов, выделенных в составе субальпийских мезофильных лугов Центрального Кавказа (в пределах Кабардино-Балкарской республики) на основе приемов эколого-флористической классификации – субассоциации *Betonici macranthae-Calamagrostietum arundinaceae Bistortetosum carnea* subass. nov. prov. и ассоциации *Ranunculo grandiflori-Hordeetum violacei* ass. nov. prov.

Сообщества с доминированием *Calamagrostis arundinacea*, описанные на территории национального парка «Приэльбрусье» (Центральный Кавказ), флористически и экологически близки ассоциации *Betonici macranthae-Calamagrostietum arundinaceae* Onipchenko 2002, выделенной на северо-западном Кавказе. Отсутствие антропогенного воздействия в местах распространениявейниковых лугов в Приэльбрусье, как и отсутствие рудеральных видов в травостое, позволяет считать их примером ненарушенных субальпийских лугов.

Сообщества ассоциации *Ranunculo grandiflori-Hordeetum violacei* распространены в Суканском ущелье (юго-восточная часть Кабардино-Балкарии). Участие в сложении травостоев видов класса *Polygono arenastri-Poetea annuae*, устойчивых к вытаптыванию (*Poa annua*, *Plantago major*, *Taraxacum officinale*, *Lepidotheca suaveolens*), является результатом пастбищного воздействия на ячменнофиолетовые луга.

Ключевые слова: Центральный Кавказ, Кабардино-Балкария, варианты поясности, мезофильные луга.

**Введение.** Наиболее распространенным типом растительности в пределах субальпийского пояса Центрального Кавказа являются луга. Они играют важную роль в сохранении ценного генофонда горной флоры; привлекательны в плане развития рекреационного и эколого-познавательного туризма, а также используются в системе отгонного животноводства. Однако можно предположить, что усиление антропогенного пресса на горно-луговые экосистемы, связанное с включением Кабардино-Балкарии в состав окружного горно-туристического кластера, приведет к более выраженным тенденциям негативных изменений в составе растительного покрова. Таким образом, вопросы оценки современного состояния горно-луговой растительности, разработка приемов природоохранных мероприятий, которые должны способствовать сохранению ее биоразнообразия, являются актуальными. Объектом исследования выбраны мезофильные луга как

наиболее уязвимые в связи с усилением антропогенного воздействия и происходящими климатическими изменениями (глобальное потепление). Цель и задачи исследования заключались в выявлении мезофильных луговых сообществ субальпийского пояса, составлении их эколого-флористической классификации в соответствии с принципами классификации по Браун-Бланке, установлении хозяйственной и природоохранной значимости выделенных синтаксонов.

**Характеристика района исследований.** По физико-географическому районированию территория Центрального Кавказа относится к Эльбрусско-Казбекской провинции Крымско-Кавказской страны, входящей в область северного макросклона Большого Кавказа [1]. Согласно учению о вертикальной поясности [2], северный макросклон Центрального Кавказа в пределах Кабардино-Балкарской республики (КБР) относится к двум вариантам поясности – эльбрусскому и тер-

скому – восточно-северокавказского типа. Для первого из них характерны ксерофитизация ландшафтов всех поясов, отсутствие пояса широколиственных лесов, доминирование субальпийского пояса над другими высотными поясами. К отличительной особенности второго относится наличие лесного пояса из широколиственных лесов с доминированием бука восточного и граба обыкновенного; климатический режим субальпийского пояса характеризуется более высокой влажностью [2].

Наши исследования проходили на территории национального парка «Приэльбрусье» (эльбрусский вариант поясности), в верховьях долины р. Баксан (северное Приэльбрусье) и Суканского ущелья, входящего в состав Кабардино-Балкарского высокогорного заповедника (терский вариант поясности).

Национальный парк (НП) «Приэльбрусье», площадью 101.2 тыс. га, создан в 1986 г.

Территорию национального парка составляют верховья долин двух крупнейших рек республики – Баксан и Малка. Южная граница парка проходит по Главному Кавказскому хребту, западная – по Боковому хребту с высочайшей в России и Европе вершиной Эльбрус (западная вершина 5642 м над ур. м.). Водораздельный и Боковой хребты сложены кристаллическими сланцами и гнейсами протерозоя и нижнего палеозоя, среди которых характерны интрузии гранитов. С высотой на склонах хребтов последовательно сменяются субальпийский, альпийский, субнивальный и нивальный пояса. Распределение растительности и типов почв подчинено общему закону вертикальной поясности. В границах НП распространены альпийские и субальпийские мезофильные и остепненные луга, сосновые, березовые и смешанные леса, скально-осыпная растительность. Горно-луговые субальпийские почвы получили наибольшее распространение в субальпийском поясе. Для этого типа почв характерна значительная мощность генетических горизонтов, высокое содержание гумуса в верхнем горизонте, кислая и слабокислая реакция почвенного раствора [3].

Климатические особенности Приэльбрусья определяют хорошо выраженный высокогорный рельеф, большие перепады высот, а также поступление западных воздушных масс со стороны Ат-

лантики. В субальпийском поясе климатические параметры колеблются в широких пределах, заметно нарастание сухости и континентальности климата [3]. По многолетним данным высокогорной метеостанции, расположенной в пос. Терскол на высоте 2150 м, самый теплый месяц высокогорья – июль (среднемесячная температура 12.6°C, максимальная 25.5°C), самый холодный – декабрь (соответственно –6.7°C и –21.6°C). Среднегодовая температура воздуха 2.7°C. Годовая сумма осадков составляет 900 мм, при этом за вегетационный период выпадает 320–500 мм.

На территории северного Приэльбрусья р. Баксан имеет несколько крупных горных притоков – Адыл-Су, Адыр-Су, Андырчи, Юсенги, Терскол, Кыртык и ряд мелких. Питание рек ледниковое.

Основными типами хозяйственного природопользования являются сельскохозяйственный (животноводство) и рекреационный. При этом значение рекреационного типа освоения в последние годы быстро увеличивается.

Кабардино-Балкарский высокогорный заповедник (КБВЗ) создан в 1976 г. на площади 53.3 тыс. га. Он расположен на юге КБР по Главному Кавказскому и Боковому хребтам в верховьях рек Чегем, Черек Безенгийский, Черек Балкарский, Сукан-су и Хазнидон. Здесь выражены лесной, субальпийский, альпийский, субнивальный и нивальный пояса.

Климат умеренно континентальный, сравнительно холодный и влажный [4].

Растительный покров заповедника сформирован под влиянием как природных, так и антропогенных факторов. В субальпийском поясе преобладает луговая растительность; реже встречаются сосновые и сосново-березовые леса, березовое криволесье.

**Материалы и методы исследования.** Полевые исследования проводились маршрутным методом во время экспедиционных выездов в 2012–2014 гг. Геоботанические описания растительных сообществ выполнялись на пробных площадках 100 м<sup>2</sup>. Для оценки количественного участия видов использовалась комбинированная шкала Браун-Бланке: «г» – очень редки, 1–4 особи; «+» – разреженно и покрывают менее 1% пробной площади; 1 – проективное покрытие 1–5%, 2 – покрытие 6–15%, 3 – 16–25%, 4 – 26–50%, 5 –

более 51% [5]. Постоянство видов в сообществах оценивалось по пятибалльной шкале: I – 1–20%, II – 21–40%, III – 41–60%, IV – 61–80%, V – 81–100% [5].

Эколого-флористическая классификация проведена методом классического синтаксономического анализа [5–7]. При установлении синтаксонов был использован единый блок диагностических видов, без разделения на характерные и дифференциальные виды, в чем следовали Я. Моравецу и др. [8]. Выделение и наименование новых единиц проводилось в соответствии с «Кодексом фитосоциологической номенклатуры» [9]. Латинские названия подавляющего числа видов растений приведены по С.К. Черепанову [10]. Названия некоторых видов даны в общепринятой трактовке. Например, общепринятое латинское название овсяницы пестрой – *Festuca varia* (у Черепанова – *Festuca woronowii*) [10].

**Результаты исследований.** В результате обработки собранного материала и в соответствии с установками Браун-Бланке нами выделены следующие синтаксоны: субассоциация *Betonici macranthae-Calamagrostietum arundinaceae Bistortetosum carnea* subass. nov. (табл. 1) и ассоциация *Ranunculo grandiflori-Hordeetum violacei* ass. nov. prov. (табл. 2).

Сообщества с доминированием вейника тростниковидного распространены на территории НП

«Приэльбрусье» по склонам западной и юго-западной экспозиций средней крутизны на высоте свыше 2000 м над ур. м.

Эколого-флористический анализ разнотравно-вейниковых сообществ в ранге новой субассоциации показал их соответствие ассоциации *Betonici macranthae-Calamagrostietum arundinaceae* Onipchenko 2002, выделенной В.Г. Онипченко в Тебердинском заповеднике (северо-западный Кавказ) [11]. Так, из 17 диагностических видов, приведенных В.Г. Онипченко для ассоциации, 11 видов присутствуют в данной субассоциации. В то же время флора вейниковых луговых северо-западного Кавказа гораздо более богата по сравнению с центрально-кавказскими лугами. Ряд видов, присутствующих в ассоциации, отсутствуют не только в субассоциации, но и во флоре КБР. В их числе можно назвать *Centaurea nigrifimbria*, *Pedicularis comosa* и некоторые другие. Одно из объяснений этому можно найти в том, что территория северо-западного Кавказа, согласно учению о вертикальной поясности [2], относится к кубанскому варианту поясности западно-северокавказского типа, для которого характерен более мягкий и влажный климат. Растительный покров субальпийского пояса в этом варианте богатый, разнообразный, с явным господством мезофильных группировок [2].

Т а б л и ц а 1

Субассоциация *B. m.-C. a. Bistortetosum carnea*

Площадь описания, м <sup>2</sup>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	Постоянство
Проективное покрытие, %	95	95	100	100	80	70	80	75	85	90	
Высота травостоя, см	55	35	35	45	70	70	55	40	45	40	
Число видов в описании	27	33	21	26	31	31	40	24	31	27	
Номер описания в таблице	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Д.в. асс. <i>Betonici macranthae-Calamagrostietum arundinaceae</i>											
<i>Calamagrostis arundinacea</i>	4	3	4	4	3	4	4	3	3	4	V
<i>Betonica macrantha</i>	1	1	2	2	1	1	1	1	2	1	V
<i>Festuca varia</i>	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	V
<i>Bupleium falcatum</i>	+	+	.	.	+	+	+	+	+	+	IV
<i>Trifolium canescens</i>	.	2	.	+	.	1	+	2	2	1	IV
<i>Campanula collina</i>	+	1	+	+	.	+	.	.	.	+	III
<i>Rhinanthus minor</i>	.	.	.	.	+	+	+	+	+	1	III
<i>Gentiana septemfida</i>	+	+	+	.	1	1	1	.	.	.	III
<i>Myosotis alpestris</i>	.	.	.	.	+	.	+	.	+	.	II
<i>Primula macrocalyx</i>	.	.	.	+	.	.	1	+	.	.	II
<i>Geranium renardii</i>	.	.	.	.	.	+	1	.	.	.	I
Д.в. субасс. <i>B. m.-C. a. Bistortetosum carnea</i> subass. nov.											
<i>Bistorta carnea</i>	+	+	+	1	1	+	.	+	1	1	V
<i>Centaurea cheiranthifolia</i>	+	1	1	1	1	+	+	+	.	1	V



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Dracocephalum nyschianum</i>	+	+	1	+	2	.	1	.	.	1	IV
<i>Helianthemum ovatum</i>	1	1	+	+	+	.	.	.	1	.	III
<i>Oberna wallichiana</i>	.	.	.	+	+	+	+	.	+	.	III
<i>Achyrophorus maculatus</i>	1	.	1	.	1	.	.	.	+	+	III
<b>Д.в. Calamagrostion arundinaceae, Calamagrostietalia villosae</b>											
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	.	.	+	.	.	.	+	.	.	.	I
<b>Д.в. Mulgedio-Aconitetea</b>											
<i>Cephalaria gigantea</i>	+	+	+	1	1	1	1	+	+	+	V
<i>Geranium sylvaticum</i>	.	.	.	+	.	1	1	1	.	.	II
<i>Aconitum nasutum</i>	.	r	.	+	.	r	.	.	r	.	II
<i>Heracleum asperum</i>	.	.	.	+	.	.	r	.	r	.	II
<i>Pedicularis condensata</i>	.	.	.	.	+	+	.	+	.	+	II
<i>Astrantia maxima</i>	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	I
<i>Aconitum orientale</i>	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	I
<b>Д.в. Molinio-Arrhenatheretea</b>											
<i>Trifolium pratense</i>	.	.	.	.	2	+	1	1	.	2	III
<i>Rumex acetosa</i>	.	.	.	.	+	+	+	.	+	.	II
<i>Poa nemoralis</i>	.	.	.	.	.	+	1	1	1	.	II
<i>Vicia tenuifolia</i>	.	.	.	.	.	+	+	1	.	.	II
<i>Lathyrus pratensis</i>	r	.	.	.	.	.	+	.	.	.	I
<i>Polygonum alpinum</i>	+	r	.	.	.	.	.	.	.	.	I
<i>Achillea millefolium</i>	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	I
<b>Д.в. Festuco-Brometea</b>											
<i>Seseli transcaucasica</i>	.	1	.	.	1	+	.	.	.	+	II
<i>Phleum phleoides</i>	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	I
<b>Прочие виды</b>											
<i>Bromus variegatus</i>	2	2	2	1	2	1	2	1	1	1	V
<i>Amoria ambigua</i>	1	1	1	.	1	.	.	.	.	1	III
<i>Scabiosa caucasica</i>	1	1	+	.	1	.	.	.	.	1	III
<i>Geranium ruprechtii</i>	.	.	.	.	1	.	.	1	1	1	II
<i>Alchemilla caucasica</i>	1	1	+	.	.	.	+	.	.	.	II
<i>Phleum montanum</i>	.	.	.	.	+	1	1	.	1	.	II
<i>Hieracium hohenackeri</i>	+	.	.	.	.	.	.	+	+	r	II
<i>Seseli alpinum</i>	r	.	+	+	.	.	.	1	.	.	II
<i>Veronica gentianoides</i>	.	.	.	.	1	.	1	.	1	.	II
<i>Kobresia capilliformis</i>	1	1	1	.	.	.	.	.	.	.	II
<i>Amebia pulchra</i>	.	.	.	1	.	.	1	.	+	.	II
<i>Campanula rapunculoides</i>	.	.	.	.	+	.	1	1	.	.	II
<i>Lotus corniculatus</i>	+	+	.	.	.	.	.	.	.	1	II
<i>Rhynchosorys orientalis</i>	.	.	.	.	.	r	+	.	+	.	II
<i>Cicerbita racemosa</i>	.	.	.	.	.	+	+	.	+	.	II
<i>Asyneuma campanuloides</i>	.	r	.	r	.	.	r	.	.	.	II
<i>Chamaenerion angustifolium</i>	.	.	.	.	.	r	+	.	r	.	II

**Единично встречены:** *Alchemilla retinervis* 4 (1); *Allium albidum* 2 (r); *Anemonastrum fasciculatum* 8 (+); *Anhemis iberica* 7 (+); *Anthemis sosnowskyana* 5 (1); *Anthyllis macrocephala* 2 (r); *Astragalus alpinus* 1(+); *Carex pallescens* 3 (+); *Cerinte minor* 4 (+), 9 (+); *Cirsium obvallatum* 4 (1), 9 (+); *Cruciata laevipes* 6 (+), 10 (+); *Coeloglossum viride* 2 (+); *Eremogone lychnidea* 1 (1), 2 (1); *Fragaria vesca* 9 (1); *Gentiana biebersteinii* 5 (+), 7 (+); *Gymnadenia conopsea* (r); 9 (+); *Helictotrichon adzharicum* 1 (1), 7 (+); *Iris furcata* 7 (+); *Juniperus hemisphaerica* 2 (r); *Lathyrus cyaneus* 4 (+), 7 (+); *Leontodon hispidus* 8 (+); *Luzula spicata* 8 (+), 10 (+); *Origanum vulgare* 4 (+); *Polygala caucasica* 5 (+); *Populus tremula* (подрост) 2 (r); *Potentilla crantzii* 10 (+); *Pulsatilla violacea* 2 (r); *Psephellus ciscaucasicus* 2 (1); *Ranunculus oreophilus* 6 (+), 10 (+); *Rubus buschii* 5 (r); *Salvia verticillata* 7 (+); *Silene ruprechtii* 5 (+); *Thymus pulchellus* 2 (+); *Tragopogon graminiifolium* 5 (+), 10 (+); *Trifolium alpestre* 10 (3); *Trisetum flavescens* 4 (+); *Valeriana tiliifolia* 6 (r), 9 (r); *Vicia alpestris* 2 (+); 3 (+); *Vicia balansae* 4 (+), 9 (+).

**Местонахождение сообществ:** Кабардино-Балкарская республика, национальный парк «Приэльбрусье» (на склонах западной и юго-западной экспозиции на высоте свыше 2000 м над ур. м. в ущельях Терскол, Адыл-Су).

Асс. *Ranunculo grandiflori-Hordeetum violacei* ass. nov. prov.

Площадь описания, м <sup>2</sup>	30	20	30	10	40	25	100	100	30	100	Класс постоянства
Проективное покрытие, %	100	95	100	90	90	90	85	85	100	100	
Средняя высота травостоя, см	35	20	35	20	35	80	45	45	30	40	
Число видов в описании	20	15	17	15	14	7	9	10	17	13	
Номер описания в таблице	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<b>Д.в. ассоциации <i>Ranunculo grandiflori-Hordeetum violacei</i></b>											
<i>Hordeum violaceum</i>	3	4	3	3	4	4	2	4	3	2	V
<i>Ranunculus grandiflorus</i>	2	+	2	+	+	+	4	4	1	1	V
<b>Д.в. союза <i>Deschampsion cespitosae</i></b>											
<i>Phleum pratense</i>	2	+	1	+	1	.	+	1	2	1	V
<i>Festuca pratensis</i>	2	+	1	+	1	1	1	.	.	.	IV
<i>Deschampsia cespitosa</i>	2	+	3	1	1	.	.	1	.	.	III
<b>Д.в. порядка <i>Molinietalia</i></b>											
<i>Amoria repens</i>	1	.	+	2	.	.	.	.	.	.	II
<i>Sanguisorba officinalis</i>	.	.	+	.	r	.	.	.	.	.	I
<i>Valeriana officinalis</i>	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I
<b>Д.в. класса <i>Molinio-Arrhenatheretea</i></b>											
<i>Carum carvi</i>	3	1	2	1	1	+	1	1	1	3	V
<i>Trifolium pratense</i>	1	.	1	1	1	.	.	+	1	2	IV
<i>Rumex confertus</i>	r	.	+	.	+	2	3	+	.	r	IV
<i>Rhinanthus minor</i>	r	.	.	.	.	.	.	.	+	+	II
<i>Achillea millefolium</i>	+	.	+	.	.	.	.	.	.	+	II
<i>Galium verum</i>	r	r	.	.	.	.	.	.	.	.	I
<i>Lotus corniculatus</i>	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	I
<i>Lathyrus pratensis</i>	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	I
<b>Д.в. класса <i>Artemisietea vulgaris</i></b>											
<i>Arctium lappa</i>	r	.	+	r	1	+	1	r	.	r	IV
<i>Artemisia vulgaris</i>	+	.	.	+	.	.	.	.	.	.	I
<i>Melilotus officinalis</i>	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	I
<b>Д.в. класса <i>Polygono arenastri-Poetea annuae</i></b>											
<i>Poa annua</i>	+	+	+	+	+	1	1	1	.	.	IV
<i>Plantago major</i>	+	+	+	+	1	.	.	.	.	.	III
<i>Taraxacum officinale</i>	+	+	+	.	.	.	.	.	.	.	II
<i>Lepidothea suaveolens</i>	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	I
<b>Прочие виды</b>											
<i>Amoria ambigua</i>	3	3	3	.	.	.	.	+	1	1	III
<i>Alchemilla retinervis</i>	1	.	1	.	.	.	.	.	2	4	II

**Единично встречены:** *Achyrophorus maculatus* 9 (+); *Alchemilla caucasica* 5 (+); *Centaurea salicifolia* 9 (r); *Cerastium arvense* 9 (r); *Chaerophyllum aureum* 5 (r); *Cirsium obvallatum* 2 (r); *Cirsium* 10 (r); *Geranium ruprechtii* 2 (r); *Leontodon hispidus* 9 (r); *Pastinaca armena* 9 (r); *Phleum alpinum* 2 (1); *Stachys macrantha* 9 (+); *Taraxacum porphyranthum* 9 (+); *Tragopogon graminifolium* 9 (+); *Trifolium canescens* 5 (+), 9 (+); *Veratrum lobelianum* 9 (r).

**Местонахождение сообществ:** Кабардино-Балкарская республика, Суганский участок Кабардино-Балкарского высокогорного заповедника, верховья долины реки Псыгансу.

Диагностическими видами субассоциации **В. т.-С. а. *Bistortetosum carnea*** являются *Bistorta carnea*, *Centaurea cheiranthifolia*, *Dracocephalum ruyschianum*, *Helianthemum ovatum*, *Oberna wallichiana*, *Achyrophorus maculatus*. Проективное покрытие травостоя в сообществах варьирует от 70 до 100%, средняя высота травостоя – от 40 до 70 см. Видовая насыщенность в сообществах (на пробной площади) варьирует от 21 до 40 видов (в среднем 29). Ценофлора субассоциации насчитывает 85 видов.

В экологическом спектре преобладают мезофиты. В сложении сообществ принимают участие виды союза ***Calamagrostion arundinaceae*** Oberd 1950 и порядка ***Calamagrostietalia villosae*** Pawlowsky et al. 1928 (*Calamagrostis arundinacea*, *Anthoxanthum odoratum*). Практически одинаково хорошо представлены виды классов ***Mulgedio-Aconitetea*** Hadac et Klika in Klika et Hadac 1944 и ***Molinio-Arrhenatheretea*** R. Тх. 1938 em R. Тх. 1970, что подчеркивает мезофильный характер субассоциации. Незначительное участие двух

видов класса *Festuco-Brometea* Br.-Bl. et Tx. ex Soo в составе некоторых сообществ субассоциации (см. табл. 1) не меняет общей картины ее мезофильного содержания.

Вейник тростниковидный обладает низкими кормовыми качествами. Тем не менее в прошлом веке разнотравно-вейниковые луга использовались населением Приэльбрусья для заготовки сена. В настоящее время травостой вейниковых лугов в качестве сенокосов не используется. Отсутствие засоренности травостоя рудеральными видами дает основание считать разнотравно-вейниковые сообщества субассоциации *B. m.-C. a. Bistortetosum carnea* аналогом ненарушенных мезофильных лугов Центрального Кавказа.

Сообщества ассоциации распространены в Суванском ущелье на юго-востоке республики (терский вариант пояности). Верховья ущелья замыкают крупные ледники Северный Суган и Нахашбита. Климат в ущелье горный, холодный, с повышенной влажностью. В прошлом это ущелье служило местом выпаса мелкого и крупного рогатого скота, но после того, как оно вошло в состав Суганского участка высокогорного заповедника, выпас запретили. От прошлого здесь остались заброшенные кошары, а по грунтовой дороге ущелья перегоняют скот на другие пастбища. Сообщества, доминантом или содоминантом которых выступает ячмень фиолетовый, *Hordeum violaceum*, развиваются на платообразных участках горных склонов, на надпойменной террасе реки Псыгансу, по берегам небольших ручьев и временных водотоков. Проективное покрытие травостоя высокое – от 85 до 100%, средняя высота травостоя в сообществах около 40 см.

Ценофлора ассоциации насчитывает 40 видов. Сообщества включают от 7 до 19 видов. Диагностическими видами являются *Hordeum violaceum* и *Ranunculus grandiflorus*. Они же определяют аспект травостоя. В составе ассоциации присутствуют виды следующих классов: *Molinio-Arrhenatheretea* R. Tx. 1938 em R. Tx. 1970 (8 видов: *Achillea millefolium*, *Carum carvi*, *Trifolium pratense*, *Rumex confertus*, *Rhinanthus minor*, *Lotus corniculatus*, *Lathyrus pratensis*), *Artemisietea vulgaris* Lohm et al. in R. Tx. 1950 (*Arctium lappa*, *Artemisia vulgaris*, *Melilotus officinalis*) и *Polygono arenastri-Poetea annuae* Rivas-Martinez 1975 corr.

Rivas-Martinez et al. 1991 (*Poa annua*, *Plantago major*, *Taraxacum officinale*, *Lepidotheca suaveolens*). Данная ассоциация отнесена нами к классу *Molinio-Arrhenatheretea*. Участие видов двух классов синантропной растительности позволило сделать вывод, что эта ассоциация представляет собой нарушенный пастбищным воздействием вариант мезофильных фиолетовоячменных субальпийских лугов Центрального Кавказа.

**Заключение.** В составе субальпийской горно-луговой растительности Центрального Кавказа выделены два новых синтаксона в ранге субассоциации и ассоциации, являющихся примерами ненарушенных и дигрессионных мезофильных лугов.

Сообщества субассоциации *Betonici macranthae-Calamagrostietum arundinaceae Bistortetosum carnea* subass. nov., описанные нами на Центральном Кавказе (эльбрусский вариант пояности) в зоне, свободной от антропогенного воздействия, можно считать примером ненарушенных горных лугов. Флористически они близки ассоциации *Betonici macranthae-Calamagrostietum arundinaceae* Onipchenko 2002 [11], выделенной на северо-западном Кавказе (кубанский вариант пояности), однако отличаются от нее более бедным видовым составом. Одним из объяснений этому могут служить климатические и другие природные особенности эльбрусского и кубанского вариантов пояности, в пределах которых распространены рассматриваемые синтаксоны.

Виды класса *Polygono arenastri-Poetea annuae* – *Poa annua*, *Plantago major*, *Taraxacum officinale*, *Lepidotheca suaveolens*, как известно, устойчивы к вытаптыванию. Их участие в сложении сообществ ассоциации *Ranunculo grandiflori-Hordeetum violacei* ass. nov. prov. отражает дигрессионные изменения в травостое под влиянием пастбищного воздействия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чупахин В.М. Физическая география Северного Кавказа. Ростов н/Д: Ростовский ун-т, 1974. 196 с.
2. Соколов В.Е., Темботов А.К. Млекопитающие Кавказа: Насекомоядные. М.: Наука, 1989. 548 с.
3. Разумов В.В., Курданов Х.А., Разумова Л.А., Крохмаль А.Г., Батырбекова Л.М. Экосистемы гор Центрального Кавказа и здоровье человека. М.; Ставрополь: Илекса, Ставропольсервисшкола, 2003. 448 с.

4. Айунц К.Р., Шалыбков А.М. Кабардино-Балкарский заповедник / Заповедники СССР. Заповедники Кавказа. М.: Мысль, 1990. С. 35–45.
5. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Наука о растительности (история и современное состояние основных концепций). Уфа: Гилем, 1998. 413 с.
6. Braun-Blanquet J. Pflanzensociologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 3 Aufl. Wien-New-York: Springer Verlag, 1964. 865 S.
7. Westhoff V., Maarel E. van der. The Braun-Blanquet approach // Classification of plant communities. Ed. by R.H. Whittaker. The Hague. 1978. P. 287–399.
8. Moravec a kolektiv. Rostlinna spolecenstva Ceske Republiky a jejich ochorozeni. 2. vydani. Severoceskou prirodu. Prilocha, 1995. 206 p.
9. Вебер Х.Э., Моравец Я., Терийя Ж.-П. Международный кодекс фитосоциологической номенклатуры // Растительность России. № 7. 2005. С. 3–38.
10. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб., 1995. 992 с.
11. Onipchenko V.G. Alpine Vegetation of the Teberda Reserve, the Northwestern Caucasus. Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der ETH, Stiftung Rubel, Zurich, Heft 130. 2002. 168 p.
2. Sokolov V.E., Tembotov A.K. Mammalia of the Caucasus: Insectivora. Moscow, Nayka, 1989. 548 p.
3. Razumov V.V., Kurdanov Kh.A., Razumo-va L.A., Krokhmal A.G., Bатыrbekova L.M. *Ecosystems of the Central Caucasian mountains and human health*. Moscow, Stavropol, Ileksa, Stavropol-servis-shkola, 2003. 448 p.
4. Aiunts K.R., Shalybkov A.M. The Kabardino-Balkar Reserve. In: Reserves of the USSR. Reserves of the Caucasus. Moscow, Mysl, 1990, pp. 35–45.
5. Mirkin B.M., Naumova L.G. *Vegetation science (history and current status of the basic concepts)*. Ufa, Gilem, 1998. 413 p.
6. Braun-Blanquet J. Pflanzensociologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 3 Aufl. Wien-New-York, Springer Verlag, 1964. 865 S.
7. Westhoff V., Maarel E. van der. The Braun-Blanquet approach. Classification of plant communities. R.H. Whittaker (ed.). The Hague, 1978, pp. 287–399.
8. Rostlinna spolecenstva Ceské Republiky a jejich ochorozeni. J. Moravec (ed.). 2. vydani. Severoceskou prirodu. Prilocha, 1995. 206 s.
9. Weber H.E., Moravec J., Theurellat J.-P. International code of phytosociological nomenclature. 3rd edition. *Vegetation of Russia*, 2005, no. 7, pp. 3–38.
10. Cherepanov S.K. Vascular plants of Russia and adjacent states (within the former USSR). St. Petersburg, 1995. 992 p.
11. Onipchenko V.G. Alpine vegetation of the Teberda Reserve, the Northwestern Caucasus. Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der ETH, Stiftung Rubel, Zurich, Heft 130, 2002. 168 S.

#### References

1. Chupakhin V.M. Physical geography of the North Caucasus. Rostov-na-Donu, Rostovskiy universitet, 1974. 196 p.

## ON SYNTAXONOMY OF MESOPHILIC MEADOWS OF THE CENTRAL CAUCASUS (WITHIN KABARDINO-BALKARIA)

© N.L. Tsepikova

Tembotov Institute of Ecology of Mountain Territories, Kabardino-Balkar Scientific Centre, RAS, 37-a, ulitsa I. Armand, 360051, Nalchik, Kabardino-Balkaria, Russian Federation

The growing anthropogenic impact on mountain ecosystems within the Central Caucasus (inclusion of the areas into the regional mountain-and-touristic cluster) dictates the need to study biodiversity of mountain meadows that serve as gene pools of the mountain flora and are involved in economic activity. The characteristics are given for two new syntaxa distinguished in the composition of subalpine mesophilic meadows of the Central Caucasus (within Kabardino-Balkaria) using the ecological and floristic classification. These are the subassociation *Betonicimacranthae-Calamagrostietumarundinaceae-Bistortetosumcarnea* subass. nov. prov. and the association *Ranunculograndiflori-Hordeetumviolacei* ass. nov. prov.

The communities of prevailing *Calamagrostisarundinacea* described in the Prielbrusye National Park (Central Caucasus) are of floristic and ecological similarity to the association *Betonicimacranthae-Calamagrostietumarundinaceae* Onipchenko 2002, which was identified in the Northwestern Caucasus. The absence of anthropogenic impact in the reedgrass meadows within the Elbrus region as well as ruderal species in the grass stand makes it possible to consider them as examples of undisturbed subalpine meadows.

The communities of the association *Ranunculograndiflori-Hordeetumviolacei* are widely spread in the Sukan Gorge (southeastern Kabardino-Balkaria). The grass stand composition including species of the class *Polygonoarenastri-Poeteaannuae* (*Poaannua*, *Plantagomajor*, *Taraxacum officinale*, *Lepidotheca suaveolens*) resistant to trampling is the result of pasture impact on violet-barley meadows.

Key words: Central Caucasus, Kabardino-Balkaria, types of vertical zonation, mesophilic meadows.

УДК 630\*181.28:635.9(470.57-25)

**КОЛЛЕКЦИОННЫЙ ФОНД РОДА ГОРТЕНЗИЯ (*Hydrangea* L.)  
В БОТАНИЧЕСКОМ САДУ-ИНСТИТУТЕ УФИМСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН**

© Ф.К. Мурзабулатова, Н.В. Полякова

Представлены результаты многолетних интродукционных исследований видов и сортов рода Гортензия (*Hydrangea* L.) в Уфимском ботаническом саду.

Род Гортензия включает в себя 35 видов и около 200 сортов. Он относится к группе высокодекоративных кустарников и ценится за обильное и длительное цветение большинства своих представителей. Однако в озеленении таксоны данного рода используются сравнительно мало по причине недостаточной изученности их биологических особенностей при интродукции в каждом конкретном регионе.

В ботаническом саду г. Уфы коллекция гортензий начала активно пополняться в течение последних двух десятилетий и в настоящее время насчитывает около 40 таксонов. Более половины из них прошли длительную акклиматизацию и зарекомендовали себя как устойчивые интродуценты в условиях Башкирского Предуралья, в зоне которого находится г. Уфа. Приведены результаты многолетнего изучения 8 видов и 21 сорта гортензий: данные по морфологическим показателям, фенологическим наблюдениям, зимостойкости, устойчивости к вредителям и болезням. Выявлены особенности культивирования каждого таксона в климатических условиях г. Уфы и сделано заключение о возможности использования данных таксонов в озеленении населенных пунктов региона и сопредельных территорий.

Ключевые слова: *Hydrangea* L., вид, сорт, цветение, зимостойкость.

Род Гортензия (*Hydrangea* L.) относится к семейству *Hydrangeaceae* Dumort. и насчитывает более 35 видов и свыше 200 сортов, получивших в Европе широкое распространение в озеленении населенных пунктов. В естественных условиях гортензии распространены в Восточной Азии (Китай, Япония), Северной и Южной Америке [1]. В России в естественных местообитаниях произрастают 2 вида: *H. paniculata* Sieb. и *H. petiolaris* Sieb. et. Zucc.; последняя занесена в Красную книгу РФ [2]. Среди культивируемых видов гортензий наиболее известными являются *H. paniculata* Sieb., *H. arborescens* L. ‘Sterilis’ и *H. heteromalla* D. Don, представленные в коллекциях некоторых ботанических садов России [3].

Слабая представленность культуры гортензии во многих регионах внутриконтинен-

тальной и азиатской части России объясняется недостаточной изученностью представителей данного рода. Как показывают наши наблюдения за интродуцированными гортензиями, эта высокодекоративная группа кустарников заслуживает более широкого внедрения в озеленение, в частности, в условиях Башкирского Предуралья [4]. В Ботаническом саду-институте Уфимского научного центра РАН в настоящее время собрана крупная коллекция декоративных кустарников [5, 6], среди которых особое место занимает коллекция видов и сортов рода Гортензия, насчитывающая около 40 таксонов, из которых к настоящему моменту 23 прошли акклиматизацию в наших климатических условиях. Ниже приведена общая характеристика данных таксонов; фенологические наблюдения проводились по методике, принятой в ботанических садах [7],

МУРЗАБУЛАТОВА Фануза Кавиевна, Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН, e-mail: murzabulatova@yandex.ru

ПОЛЯКОВА Наталья Викторовна – к.б.н., Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН, e-mail: barhan93@yandex.ru

зимостойкость определялась по методике Главного ботанического сада РАН [8].

**Гортензия древовидная** (*Hydrangea arborescens* L.). Листопадный кустарник, область естественного распространения находится в Северной Америке (от Нью-Йорка на севере до Луизианы на юге и до Айовы на западе). Листья яйцевидные или эллиптические, на вершине остrokонечные или удлинненно-заостренные, с округлым или сердцевидным основанием, зубчатые, голые. Соцветие щитковидное, 5–15 см в диаметре. Стерильные цветки белые, 1.5–2.0 см в диаметре, многочисленные, иногда отсутствуют. Семена мелкие, яйцевидно-эллипсоидальные.

В коллекцию ботанического сада данный вид поступил в апреле 2006 г. в виде семян из ботанического сада г. Вакратот (Венгрия). Растения в возрасте 8 лет достигают в среднем 85 см в высоту, диаметр кроны – 97 см. Начало вегетации (развержение почек) в ботаническом саду отмечается в среднем 26 апреля, конец (начало листопада) – 18 октября. Цветение растений в коллекции началось в 3-летнем возрасте. Начало цветения отмечается в среднем 9 июля, заканчивается 18 августа; продолжительность цветения в среднем 40 дней. Зимостойкость I балл, в отдельные суровые зимы зимостойкость составляет II балла.

**Гортензия древовидная ‘Annabelle’** (*Hydrangea arborescens* L. ‘Annabelle’). Листопадный кустарник высотой до 150 см. Крона округлая, побеги прямостоячие, молодые побеги редко опушены. Листья крупные, широкояйцевидные, светло-зеленые, осенью желтеют. Соцветия крупные, округлые. На соцветии в основном стерильные цветки, которые вначале имеют бледно-зеленую окраску, затем белую, в конце сезона вновь приобретают зеленую окраску. Фертильные цветки малочисленные, мелкие, белые, рано опадающие.

Растения были получены саженцами из Польши в 2003 г. В возрасте 12 лет обладают следующими характеристиками: высота в среднем 100 см, диаметр кроны 98 см. Развержение почек в среднем начинается 29 апреля, начало листопада отмечается 24 октяб-

ря. Цветение обильное и ежегодное, начинается в среднем 7 июля, заканчивается 10 сентября. Зимостойкость I балл, в отдельные суровые зимы зимостойкость составляет II балла. Болезнями и вредителями не повреждается.

**Гортензия древовидная ‘Sterilis’** (*Hydrangea arborescens* L. ‘Sterilis’). Листопадный кустарник высотой 150–250 см. Листья крупные, сверху зеленые, снизу сизоватые. Соцветия полушаровидные или шаровидные диаметром 15–25 см, образуются на верхушках однолетних побегов. Соцветие состоит в основном из стерильных цветков, фертильных очень мало. Стерильные цветки сначала имеют зеленый оттенок, в полном роспуске становятся белыми или кремово-молочными, в конце сезона приобретают светло-зеленую окраску. Плодущие цветки мелкие, белые, рано опадающие.

Растения данного сорта высажены в 1999 г. саженцами, выращенными из укорененных черенков, взятых со взрослых кустов на участке рокария. В возрасте 27 лет обладают следующими характеристиками: высота в среднем 170 см и диаметр кроны 150 см. Вегетация начинается в среднем 26 апреля, заканчивается 26 октября. Зацветает 3 июля и цветет до 15 сентября. Зимостойкость I балл, в отдельные суровые зимы зимостойкость составляет II балла.

**Гортензия Бретшнейдера** (*Hydrangea bretschneideri* Dipp.). Листопадный кустарник, в естественных условиях произрастает в Китае. Листья яйцевидные или яйцевидно-эллиптические, реже – яйцевидно-продолговатые, до 16 см длиной. Соцветия – слегка выпуклые щитки, 8–15 см в диаметре. Стерильные цветки белые, впоследствии пурпурные, с 4 эллиптическими или яйцевидными лепестками. Фертильные цветки белые. Плод 4–5-гнездная раскрывающаяся, коричневая коробочка, с многочисленными семенами. Семена узколанцетные, ланцетные, коричневой окраски, блестящие.

Данный вид получен семенами в 2006 г. из дендрария г. Иваново. Растения в возрасте 7 лет имеют высоту 130 см, диаметр кроны –

100 см. Начало периода вегетации приходится на 27 апреля, окончание – на 10 октября. Цветет с 20 июня по 3 июля. Семена созревают 8 октября. Вид зимостоек (I балл), в суровые малоснежные зимы подмерзают однолетние побеги (на 50% длины). Вид устойчив к болезням и вредителям.

**Гортензия золотистожилковая** (*Hydrangea xanthoneura* Diels). Листопадный кустарник, естественный ареал обитания – Китай. Листья эллиптические, удлинненно-яйцевидные или удлинненно-овальные, до 18 см длины и 10 см ширины. Соцветия – слегка выпуклые щитки, 15–20 см в диаметре. Стерильные цветки с 4 желтовато-зелеными, эллиптическими или округленными лепестками. У фертильных цветков лепестки продолговато-яйцевидные, 2.5 мм длиной, рано опадающие.

Данный вид получен семенами из Липецкой опытно-селекционной станции (ЛОСС). Растения в возрасте 7 лет обладают следующими характеристиками: высота кустов достигает 77 см, диаметр кроны 35 см. Начинает вегетацию 24 апреля, заканчивает 5 октября. Цветение не обильное, цветет с 18 июня по 1 июля. Зимостойкость I балл. К болезням и вредителям вид устойчив.

**Гортензия лучистая** (*Hydrangea radiata* Walt.). Листопадный кустарник, область естественного распространения – юго-восточная часть Северной Америки (горы Северной и Южной Каролины). Листья овальные, реже яйцевидно-ланцетные, на вершине удлинненно-заостренные, с почти сердцевидным или округлым основанием. Соцветия щитковидные, до 12 см в поперечнике. Бесплодные цветки 2–3 см в диаметре, фертильные – белые или желтовато-белые, лепестки рано опадающие. Плод – раскрывающаяся коробочка, светло-коричневая, шаровидная. Семена мелкие, эллипсоидальные.

Данный вид поступил в коллекцию ботанического сада в 2002 г. в виде семян из США (Арборетум Нортон). Растения в возрасте 8 лет обладают следующими параметрами: высота в среднем 127 см, диаметр кроны – 130 см. Вегетация начинается в среднем 29 апреля, заканчивается 18 октября. Зацве-

тает гортензия лучистая в среднем 11 июля, заканчивает цвести 30 августа. В условиях ботанического сада растения данного вида зимостойки (I балл); в малоснежные суровые зимы обмерзают однолетние побеги. При повреждении морозами быстро восстанавливается, цветет на однолетних побегах. Болезнями и вредителями не повреждается.

**Гортензия метельчатая** (*Hydrangea paniculata* Siebold). Листопадный дальневосточный кустарник (Япония, Китай – провинция Цзянси, Россия – юг Сахалина). Листья плотные, эллиптические или яйцевидные, удлинненно-заостренные на вершине, с широким или клиновидным основанием. Соцветие – крупные густоволосистые метелки. Бесплодные цветки с 4 цельнокрайними эллиптическими белыми чашелистиками, плодущие цветки белые, лепестки рано опадающие.

Имеющиеся в коллекции растения привезены в 1992 году с о. Кунашир. В 17-летнем возрасте обладают следующими параметрами: высота в среднем 135 см, диаметр кроны 100 см. Вид начинает вегетацию 2 мая, заканчивает 20 октября. Цветение не обильное, но ежегодное, цветет с 29 июня по 30 июля. Зимостойкость этого вида в условиях г. Уфы составляет I балл, растения зимуют без укрытия. Вид практически не повреждается болезнями и вредителями.

**Гортензия метельчатая ‘Bobo’** (*Hydrangea paniculata* Siebold ‘Bobo’) Листопадный кустарник высотой 80 см. Побеги крепкие, не разваливающиеся от тяжести соцветий. Листья темно-зеленые, с глубоким жилкованием, яйцевидные. Соцветия ширококонические, очень плотные, в начале цветения бледно-зеленые, затем белые, в конце сезона приобретают легкий розовый оттенок.

В коллекцию ботанического сада данный сорт поступил в 2013 г. из Польши. В возрасте 4 лет растения характеризуются следующими параметрами: высота 50 см, диаметр кроны 30 см. Вегетация начинается 9 мая, заканчивается 30 октября. Цветет с 7 августа по 18 сентября. В условиях Уфы зимостойкость составляет I балл. Болезнями и вредителями не повреждается.

**Гортензия метельчатая ‘Great Star’** (*Hydrangea paniculata* Siebold ‘Great Star’). Кустарник высотой до 200 см, крона раскидистая. Побеги гладкие, светло-коричневые. Листья светло-зеленые, без опушения, немного морщинистые, яйцевидные или эллиптические. Соцветия в форме небольших кистей размером до 15 см. Стерильные цветки очень крупные, лепестки достигают до 10 см и закручены пропеллером. Цветки постоянно белые, окраску не меняют. Фертильные цветки белые, рано опадающие.

Растения получены саженцами из Польши в 2012 г. В возрасте 4 лет имеют следующие характеристики: высота 91 см, диаметр кроны 53 см. Вегетация начинается 19 апреля, заканчивается 11 октября. Цветет с 24 июля по 21 августа. В условиях Уфы зимостойкость составляет I балл. Болезнями и вредителями не повреждается.

**Гортензия метельчатая ‘Grandiflora’** (*Hydrangea paniculata* Siebold ‘Grandiflora’). Кустарник, с раскидистой кроной, высотой 200–300 см. Побеги красновато-бурые, вертикально растущие. Листья темно-зеленого цвета, слегка бархатистые от опушения, продолговатые, с заостренной вершиной. Соцветия крупные, почти пирамидальные, преимущественно со стерильными цветками. Стерильные цветки при распускании кремово-белые, в полном цветении белые, в конце сезона розовеют. Фертильные цветки мелкие, белые, рано опадающие.

Растения получены саженцами из Польши в 2011 г. В возрасте 6 лет характеризуются следующими параметрами: высота 50 см, диаметр кроны 28 см. Вегетация начинается 4 мая, заканчивается 21 октября. Цветет с 20 июля по 19 сентября. В условиях Уфы зимостойкость составляет II балла. Болезнями и вредителями не повреждается.

**Гортензия метельчатая ‘Kyushu’** (*Hydrangea paniculata* Siebold ‘Kyushu’). Кустарник высотой до 300 см. Побеги прямые, крепкие, темно-бурые. Листья зеленые, глянцевые, черешки красноватые. Соцветие узкоконическое, рыхлое, длиной 20–30 см, с малочисленными стерильными цветками. Фер-

тильные цветки белые, с сильным и приятным ароматом.

Саженцы данного сорта поступили в коллекцию из Голландии в 2001 г. В возрасте 16 лет растения имеют высоту в среднем 148 см, диаметр кроны в среднем составляет 115 см. Вегетировать культивар начинает 1 мая, заканчивается период вегетации 25 октября. Цветение ежегодное, обильное, занимает интервал с 20 июля по 25 сентября. Зимостойкость – I балл. Сорт устойчив к болезням и вредителям.

**Гортензия метельчатая ‘Limelight’** (*Hydrangea paniculata* Siebold ‘Limelight’). Кустарник высотой 150 см. Побеги светло-коричневые, упругие, не сгибающиеся от тяжести соцветий. Листья зеленые. Соцветие метельчатое, очень плотное, коническое. Стерильные цветки бледно-зеленые (цвет лайма) или салатные, затем становятся белыми, в конце сезона приобретают бледно-розовый оттенок. Фертильных цветков очень мало, и они имеют бледно-зеленую окраску.

Растения получены саженцами в 2010 г. из Польши. В возрасте 6 лет характеризуются следующими параметрами: высота 86 см, диаметр кроны 78 см. Вегетация начинается 1 мая, заканчивается 5 октября. Цветет с 8 июля по 24 августа. В условиях Уфы зимостойкость составляет II балла. Болезнями и вредителями не повреждается.

**Гортензия метельчатая ‘Praesox’** (*Hydrangea paniculata* Siebold ‘Praesox’). Кустарник с раскидистой кроной, высотой до 500 см. Побеги по сравнению с другими сортами очень крепкие, темно-бурые, с отслаивающейся корой. Листья крупные, темно-зеленые, края зубчатые. Соцветие – широкая, уплощенная метелка. Стерильные цветки с 4 продолговатыми лепестками, белые или кремово-белые, малочисленные. Фертильные цветки белые, с чуть заметным медовым запахом, рано опадающие.

В коллекцию данный сорт поступил в 2007 г. из ботанического сада г. Таллина (Эстония). Растения в возрасте 7 лет достигли следующих размеров: высота в среднем – 120 см, диаметр кроны – 112 см. Вегетация



начинается 24 апреля, окончание периода вегетации – 6 октября. Цветение начинается 23 июня и заканчивается 18 июля. Зимостойкость составляет I балл, в суровые малоснежные зимы снижения зимостойкости не наблюдалось. Сорт болезнями и вредителями не повреждается.

**Гортензия метельчатая ‘Pinky Winky’** (*Hydrangea paniculata* Siebold ‘Pinky Winky’). Кустарник высотой 140 см, с компактной кроной. Побеги крепкие, не разваливающиеся, темно-бурой окраски. Листья темно-зеленые, с зубчатым краем. Соцветия крупные, пирамидальные. Стерильные цветки белые, кремовые, затем розовеют, в конце сезона приобретают малиновую окраску. Фертильные цветки в соцветии малочисленные, белые, рано опадающие.

Саженцы получены из Польши в 2012 г. Растения в возрасте 4 лет характеризуются следующими параметрами: высота 95 см, диаметр кроны 68 см. Вегетация начинается 19 апреля, заканчивается 22 октября. Цветет с 24 июля по 23 августа. В условиях Уфы зимостоек (I балл). Болезнями и вредителями не повреждается.

**Гортензия метельчатая ‘Prim White’** (*Hydrangea paniculata* Siebold ‘Prim White’). Сорт получен саженцами из Польши в 2012 г. В возрасте 4 лет растения характеризуются следующими параметрами: высота 70 см, диаметр кроны 47 см. Вегетация начинается 27 апреля, заканчивается 26 октября. Цветет с 6 июня по 20 июля. В условиях Уфы зимостойкость – I балл. Болезнями и вредителями не повреждается.

**Гортензия метельчатая ‘Pink Diamond’** (*Hydrangea paniculata* Siebold ‘Pink Diamond’). Кустарник высотой 150 см, с компактной кроной. Побеги крепкие, красно-бурые. Листья продолговатые, темно-зеленые, с мелкозубчатыми краями. Соцветия конусовидные, состоят из стерильных и фертильных цветков. Стерильные цветки кремовые или белые, затем розовеют, к осени приобретают красноватый оттенок. Фертильные цветки белые, рано опадающие.

Саженцы данного сорта поступили из Польши в 2006 г. В возрасте 10 лет растения

имеют следующие параметры: высота куста 97 см, диаметр кроны 63 см. Вегетацию начинает 4 мая и заканчивает 24 октября. Цветение необильное, с 4 августа по 12 сентября. В первые 2 года культивирования цветение прерывалось преждевременно из-за значительного осеннего похолодания. Зимостойкость ежегодно низкая (III–IV балла), в суровые малоснежные зимы зимостойкость снижается до V баллов. Культивар болезнями и вредителями в годы наблюдений не повреждался.

**Гортензия метельчатая ‘Tardiva’** (*Hydrangea paniculata* Siebold ‘Tardiva’). Кустарник высотой до 140 см, крона компактная. Побеги прямостоячие, крепкие, красно-бурые. Листья зеленые, с негустым опушением. Соцветие коническое, до 20 см длиной. Стерильные цветки белые, в конце сезона бледно-розовые. Фертильные цветки белые, рано опадающие.

В коллекции находится с 2006 г., саженцы получены из Польши. В возрасте 10 лет сорт характеризуется следующими размерами: высота растений 93 см, диаметр кроны 68 см. Начинает вегетацию 3 мая, заканчивает 20 октября. Цветение начинается 8 августа и заканчивается 17 сентября. В условиях ботанического сада зимостойкость не превышает III–IV баллов, в экстремальные зимы зимостойкость снижается до V баллов. Болезнями и вредителями не повреждается.

**Гортензия метельчатая ‘Unique’** (*Hydrangea paniculata* Siebold ‘Unique’). Кустарник высотой 170 см, с раскидистой кроной. Побеги крепкие, красно-бурые. Листья ярко-зеленые, яйцевидные, с заостренной вершиной, края пильчатые. Соцветие ширококоническое, с множеством стерильных цветков, в роспуске белые, затем немного розовеют. Фертильные цветки в бутонах и после раскрытия белые, рано опадающие.

Саженцы получены из Голландии в 2001 г. В возрасте 16 лет растения обладают следующими характеристиками: высота кустов в среднем 160 см, диаметр кроны 150 см. Начало вегетации – 29 апреля, окончание – 22 октября. Цветение обильное, ежегодное, с 30 июля по 28 сентября; продолжительность

фенофазы составляет 59 дней. Зимостойкость I балл, в холодные зимы повреждений не наблюдалось. Кустовар практически не повреждается болезнями и вредителями.

**Гортензия метельчатая ‘Vanille Fraise’** (*Hydrangea paniculata* Siebold ‘Vanille Fraise’). Кустарник высотой до 130 см, крона раскидистая. Побеги темно-коричневые, разваливаются под тяжестью соцветий. Листья темно-зеленые. Соцветия широкопирамидальные, длиной до 30 см, на соцветии преимущественно стерильные цветки. Окраска соцветия белая, затем розовая, в конце сезона – малиновая. Стерильные цветки мелкие, в начале цветения белые, затем розовеют. Фертильные цветки без запаха, рано опадающие.

В коллекции с 2009 г., саженцы получены из Польши. В возрасте 6 лет имеет следующие размеры: высота растений 100 см, диаметр кроны 125 см. Начинает вегетацию 29 апреля, заканчивает 16 октября. Цветение наблюдалось в первый же год после посадки, фаза продолжается с 1 августа по 20 октября. Зимостойкость высокая (I балл). Болезнями и вредителями не повреждается. Один из наиболее декоративных сортов гортензий в коллекции [9].

**Гортензия метельчатая ‘Wim’s Red’** (*Hydrangea paniculata* Siebold ‘Wim’s Red’). Кустарник высотой до 150 см, крона компактная. Побеги прочные, прямостоячие, бордово-красные. Листья темно-зеленые, с глубоким жилкованием, яйцевидные или эллиптические. Соцветия конические. Стерильные цветки в начале цветения белые, затем розовеют, осенью приобретают бордово-красную окраску. Фертильные цветки на соцветии многочисленные, белые, с приятным сильным медовым ароматом.

Саженцы получены из Польши в 2012 г. В возрасте 5 лет сорт имеет следующие размеры: высота растений 73 см, диаметр кроны 51 см. Начинает вегетацию 27 апреля, заканчивает 25 сентября. Цветение начинается 9 июля и заканчивается 8 августа. Зимостойкость кустовара высокая (I балл). Болезнями и вредителями не повреждается.

**Гортензия пепельная** (*Hydrangea cinerea* Small.). Листопадный кустарник, есте-

ственный ареал находится в Северной Америке – юго-восточные штаты от Северной Каролины и Теннесси до Алабамы. Молодые побеги опушены. Листья эллиптические или широкояйцевидные, длиной 6–12 см. Соцветия щитковидные, 8–15 см в поперечнике. Стерильные цветки белые или зеленовато-белые, лепестки обратнойяйцевидные, широкояйцевидные, эллиптические, круглые. Фертильные цветки белые или желтовато-белые, рано опадающие.

В коллекцию ботанического сада растения поступили в 2005 г. В возрасте 9 лет имеют высоту около 120 см и диаметр кроны 98 см. Вегетация гортензии пепельной длится в среднем с 28 апреля по 24 октября. В ботаническом саду цветение продолжается более двух месяцев (в среднем с 5 июля по 15 сентября). В условиях Уфы семян не формирует. Вид устойчив к вредителям и болезням, зимостойкость – I балл, в суровые зимы зимостойкость снижается до II баллов.

**Гортензия почвопокровная, син. г. разноопушенная** (*Hydrangea heteromalla* D. Don.). Листопадный кустарник, область естественного распространения – Гималаи. Листья яйцевидные или яйцевидно-эллиптические, до 12 см длиной. Соцветия – слегка выпуклые щитки, 15–20 см шириной. Стерильные цветки с 4 белыми или желтоватыми эллиптическими или широкояйцевидными лепестками. У фертильных цветков лепестки продолговато-овальные, рано опадающие.

В коллекции ботанического сада данный вид с 2006 г., получен семенами из ЛОСС. Растения в возрасте 7 лет обладают следующими характеристиками: высота кустов достигает 102 см, диаметр кроны – до 78 см. Начинает вегетацию 28 апреля, заканчивает 10 октября. Цветение необильное, цветет с 20 июня по 4 июля. Зимостойкость I балл, в суровые зимы зимостойкость снижается до II баллов. К болезням и вредителям вид устойчив.

**Гортензия черешковая** (*Hydrangea petiolaris* Siebold et Zucc.). Лиановидный кустарник, распространен в России (в южной части Сахалина и на Курилах – острова Ши-

котан, Кунашир, Итуруп, Уруп), в Китае и Японии. Листья широкояйцевидные или широкоэллиптические, остроконечные или удлиненно-заостренные на вершине, с сердцевидным или округлым основанием. Соцветия щитковидные, рыхлые, голые, 15–25 см в диаметре. Бесплодные цветки около 3 см в диаметре, с цельнокрайними чашелистиками; фертильные – со сросшимися у вершины опадающими лепестками.

Вид получен саженцами из Польши в 2006 г. В возрасте 13 лет вид имеет высоту 18 см и диаметр кроны 48 см. Вегетировать начинает 25 апреля и заканчивает 21 октября. Цветение начинается 16 июня и заканчивается 5 июля. Зимостойкость составляет III–IV балла, зимует под укрытием.

Таким образом, многолетние наблюдения за видами и сортами рода Гортензия в Уфимском ботаническом саду позволили выявить некоторые биологические особенности выращивания данных таксонов в условиях Башкирского Предуралья и рекомендовать самые устойчивые из них для пополнения ассортимента декоративных кустарников при озеленении различных населенных пунктов Башкортостана и прилегающих регионов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пилипенко Ф.С. Род 5. Гортензии – *Hydrangea L.* // Деревья и кустарники СССР. М., Л.: Изд-во АН СССР, 1954. Т. 3. С. 162–173.
2. Красная Книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 855 с.
3. Каталог культивируемых древесных растений России. Сочи, Петрозаводск, 1999. 174 с.
4. Мурзабулатова Ф.К., Путенихин В.П. Представители рода *Hydrangea L.* в Башкирском Предуралье // Естественные науки. Журнал фундаментальных и прикладных исследований. 2010. № 2 (31). С. 9–15.
5. Полякова Н.В. Биоразнообразие декоративных кустарников-интродуцентов в Башкирском ботаническом саду // Биоразнообразие и биоресурсы Урала и сопредельных территорий: мат-лы Междунар. конф. Оренбург, 2001. С. 149–150.

6. Каталог растений Ботанического сада-института Уфимского научного центра РАН. Уфа: АН РБ, Гилем, 2012. 224 с.

7. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР. М., 1975. 78 с.

8. Лапин П.И., Александрова М.С., Бородина Н.А. и др. Древесные растения Главного ботанического сада АН СССР. М.: Наука, 1975. 547 с.

9. Мурзабулатова Ф.К., Полякова Н.В. О методике оценки декоративности гортензий (*Hydrangea L.*) // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т. 16, № 1. С. 266–270.

#### References

1. Pilipenko F.S. Genus 5. *Hydrangea L.* Derevyia i kustarniki SSSR. Z.T. Artyushenko, A.V. Vasilyev, M.S. Gzyryan et al. (compilers). S.Ya. Sokolov (ed.). Vol. 3. Moscow, Leningrad, AN SSSR, 1954, pp. 162–173.
2. Red Data Book of the Russian Federation (plants and mushrooms). R.V. Kamelin et al. (compilers). Yu.P. Trutnev et al. (eds.). Moscow, Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2008. 855 p.
3. Catalogue of cultivated arboreous plants of Russia. N.N. Arnautov, A.V. Bobrov, Yu.N. Karpun et al. Sochi, Petrozavodsk, 1999. 174 p.
4. Murzabulatova F.K., Putenikhin V.P. Representatives of the genus *Hydrangea L.* in the Bashkir Cis-Urals. *Estestvennye nauki. Zhurnal fundamentalnykh i prikladnykh issledovaniy*, 2010, no. 2 (31), pp. 9–15.
5. Polyakova N.V. Biodiversity of ornamental shrubs introduced in the Bashkir Botanical Garden. *Bioraznoobrazie i bioresursy Urala i sopredelnykh territoriy. Materialy Mezhdunarodnoy konferentsii*. Orenburg, 2001, pp. 149–150.
6. Catalogue of plants of the Botanical Garden-Institute, Ufa Scientific Centre, RAS. Second edition, revised and supplemented. V.P. Putenikhin, L.M. Abramova, R.V. Vafin, O.Yu. Zhigunov, L.N. Mironova, N.V. Polyakova, Z.N. Suleymanova, Z.Kh. Shagapov; V.P. Putenikhin (ed.). Ufa, Gilem, 2012. 224 p.
7. Methods of phenological observations in botanical gardens of the USSR. Moscow, 1975. 78 p.
8. Lapin P.I., Aleksandrova M.S., Borodina N.A. et al. Arboreous plants of the Main Botanical Garden of the Academy of Sciences of the USSR. Moscow, Nauka, 1975. 547 p.
9. Murzabulatova F.K., Polyakova N.V. On the methods of evaluating ornamental properties of *Hydrangea L.* plants. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2014, vol. 16, no. 1, pp. 266–270.



**COLLECTION OF THE GENUS *Hydrangea* L. IN THE BOTANICAL GARDEN-  
INSTITUTE, UFA SCIENTIFIC CENTRE, RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES**

© F.K. Murzabulatova, N.V. Polyakova

Botanical Garden-Institute, Ufa Scientific Centre, RAS,  
195/3, ulitsa Mendeleeva, 450080, Ufa, Russian Federation

This article presents the results of the long-term research on introducing species and varieties of the genus *Hydrangea* L. in the Ufa Botanical Garden.

The genus *Hydrangea* includes 35 species and about 200 varieties. It falls into the category of highly ornamental shrubs and is appreciated for plentiful and prolonged blossoming of the majority of its representatives. However, the taxa of this genus are rarely used in settlement gardening because of insufficient knowledge of their biological features under introduction in each particular region.

In the Ufa Botanical Garden the *Hydrangea* collection started to be actively replenished over the past two decades and now consists of about 40 taxa. More than half of them underwent a long period of acclimatization and proved to be stable introduced species under the conditions of the Bashkir Cis-Urals where Ufa is situated. The article gives the results of the long-term research on 8 species and 21 varieties of *Hydrangea*, including the data on morphological indicators, phenological observations, winter hardiness, resistance to pests and diseases. It describes the peculiar features of cultivating each taxon under climatic conditions of Ufa and concludes the possibility to use these taxa in settlement gardening of the region and adjacent areas.

Key words: *Hydrangea* L., species, variety, blossoming, winter hardiness.

**МУХА ЧЕРНАЯ ЛЬВИНКА *HERMETIA ILLUCENS*  
В УСЛОВИЯХ ИСКУССТВЕННОГО РАЗВЕДЕНИЯ –  
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЙ ИСТОЧНИК МЕЛАНИН-ХИТОЗАНОВОГО КОМПЛЕКСА**

© А.И. Бастраков, А.Е. Донцов, Н.А. Ушакова

Муха черная львинка *Hermetia illucens* была выращена в искусственных контролируемых условиях на зерне пшеницы. При плотности посадки личинок 5 экз/см<sup>2</sup> общее потребление кормового субстрата составило 81%. Выход сухой биомассы личинок с 1 кг зерна пшеницы – 0.18±0.05 кг; с 1 м<sup>2</sup> площади субстрата – 3.050±0.08 кг. Из биомассы различных стадий жизненного цикла насекомого выделены меланин-хитозановые комплексы. Сигнал ЭПР меланина по своим параметрам соответствовал эумеланину. Концентрация парамагнитных центров в образце из подмора мух *H. illucens* – 5.6×10<sup>16</sup> спин/г сухого веса, что соответствовало 29 мг меланина в 1 г сухого вещества. Концентрация парамагнитных центров в образце из оболочек куколок составила 3.7×10<sup>16</sup> спин/г сухого веса, что соответствовало содержанию 19 мг меланина в 1 г сухого вещества. Показаны антиинфекционные свойства меланин-хитозанового комплекса из подмора и пустых оболочек куколок. Меланин-хитозановый комплекс, полученный из подмора, подавлял 21 тест-культуру из 25 исследованных, в том числе 10 из 11 культур, выделенных от больных маститом коров. Аналогичный комплекс из оболочек куколок подавлял рост только 7 тест-культур, но из них 5 – из культур от больных коров.

Ключевые слова: муха черная львинка, подмор, куколка, меланин, хитозан.

В настоящее время во многих странах Америки, Европы, Азиатского региона, Африки, Новой Зеландии и Австралии отмечается повышенное внимание к насекомым в связи с возможностью их массового разведения в искусственных условиях и применения в кормах сельскохозяйственных животных, птицы и рыб. Одним из наиболее перспективных видов насекомых для промышленного разведения считается муха черная львинка *Hermetia illucens*. В качестве кормового субстрата для выращивания личинок возможно использование широкого спектра органических субстратов, в том числе отходов сельского хозяйства. Личинки и предкуколки *Hermetia illucens* содержат около 40% протеина, 30% жира, хитин составляет 5–7%, обогащены кальцием, фосфором [1]. Большое количество жира предопределяет необходимость в природной антиоксидантной защите, в качестве которой могут выступать меланиновые пигменты. Меланины – высокомолекулярные пигменты (до 200 кДа) сетчатой нерегулярной структуры, широко распространены в

природе – в микроорганизмах, грибах, растениях, организме животных и человека [2–4]. Азотсодержащие пигменты насекомых (меланины, охромы, птерины) синтезируются самими насекомыми и входят в состав кутикулы, определяя ее окраску, присутствуют в гемолимфе, жировом теле, в структурах сложного глаза, в кишечнике [5]. Одно из направлений исследований свойств меланинов связано с образованием ими устойчивых комплексов с хитином (хитозаном), обладающих антибактериальной активностью, и перспективных для применения в ветеринарии [6, 7].

Несмотря на то что существует большое количество работ, посвященных различным аспектам биологии *H. illucens*, ее химический состав изучен недостаточно. Мало данных по пигментам и хитину кутикулы насекомого. Цель настоящего исследования – получение из разных стадий жизненного цикла *H. illucens* меланин-хитозанового комплекса и оценка его антибактериальных свойств.

**Материал и методы исследования.** Объектом исследования служила муха

БАСТРАКОВ Александр Иванович, Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, e-mail: aibastrakov@gmail.com

ДОНЦОВ Александр Евгеньевич – д.б.н., Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, e-mail: adontsovnick@yahoo.com

УШАКОВА Нина Александровна – д.б.н., Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, e-mail: naushakova@gmail.com

*H. illucens*, которая была выращена в контролируемых лабораторных условиях ФГБУН ИПЭЭ РАН с использованием зерна пшеницы в качестве кормового субстрата для личинок. Процесс выращивания личинок оценивался по показателям: 1) общее потребление субстрата как отношение разницы между начальной массой сухого субстрата и конечного сухого остатка (расход вещества) к начальной сухой массе, %; 2) выход сухой биомассы личинок, кг с 1 кг субстрата; 3) выход сухой биомассы личинок, кг с 1 м<sup>2</sup> площади поверхности кормового субстрата. Основные методы контроля процесса биоконверсии – определение весовым методом массы субстрата личинок с использованием весов Acculab ATL150 (точность 1 мг), весов электронных ВСП-3 (точность 0.5 г). Контроль температуры воздуха проводился ртутным термометром, а субстрата – с помощью регистратора температуры ТР-1; рН субстрата – рН-метром Экотест 2000; влажность – прибором для определения влажности Элекс-7. Опыты проводились в 3-х повторностях. Высушивание биомассы осуществлялось на полочной сушильной установке производства НИИ биологического приборостроения, Пушкино, Россия.

Меланин-хитозановый комплекс выделяли из подмора мух (препарат № 1) и пустых оболочек куколок (препарат № 2) по методу [8]. Идентификацию пигментов проводили на основании оценки их растворимости, спектральных и парамагнитных свойств. Измерения спектров электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) были выполнены на спектрометре ЭПР «Bruker EMX» (Germany).

Антагонистическую активность определяли методом диффузии в агар [9] в отношении тест-культур из коллекции РГП Институт микробиологии и вирусологии КН МОН РК.

Для математической обработки результатов были использованы стандартные методы статистики.

**Результаты и обсуждение.** При выращивании личинок мухи *H. illucens* на зерне пшеницы установлено, что при плотности посадки личинок 5 экз/см<sup>2</sup> в 55% влажности кормовой субстрат общее потребление субстрата составило 81%. Выход сухой биомассы личинок с 1 кг зерна пшеницы – 0.18±0.05 кг; с 1 м<sup>2</sup> площади кормового субстрата – 3.05±0.08 кг. Температура воздуха составила 25±3°C, в то время как в биореакторе после прогрева до 40±3°C температура оставалась стабильной. Показателем завершения процесса био-

конверсии субстрата являлось падение температуры реакционной массы до температуры окружающей среды. При завершении процесса рН массы был нейтральным, рН 6.8±0.1. Продолжительность биоконверсии субстрата – 10 суток.

После образования из личинок куколок и вылета из них имаго мух, были собраны пустые оболочки куколок. Также был собран подмор взрослых мух.

Из полученных биомасс выделены меланин-хитозановые комплексы. Образец 1 – меланино-подобный пигмент из подмора мух. Сигнал ЭПР по своим параметрам соответствовал эумеланину: g-фактор – 2.0036; ΔH – 5.6±0.2 Гс, что близко к ДОФА-меланину, имеющему полуширину сигнала 5.0±0.5 Гс и величину g-фактора – 2.0036 [10]. Концентрация парамагнитных центров в образце №1 – 5.6×10<sup>16</sup> спин/г сухого веса, что соответствовало 29 мг меланина в 1 г сухого подмора мух *H. illucens*. Образец № 2 – меланин из оболочек куколок. Этот сигнал также типичен для эумеланинов. Величина ΔH и форма сигнала соответствовали эумеланиновому типу. Концентрация парамагнитных центров в этом препарате составила – 3.7×10<sup>16</sup> спин/г сухого веса, что соответствовало содержанию 19 мг меланина в 1 г сухого вещества.

Из подмора и из оболочек куколок были получены меланин-хитозановые комплексы, которые исследованы на антимикробную активность. Препарат из подмора мух обладал широким спектром антимикробного действия. Он не подавлял рост лишь четырех тест-культур из 25 испытанных: *Escherichia coli*-K, *Pseudomonas aeruginosa* 342, *Acinetobacter* sp. 1182 и *Klebsiella oxytoca*-10с. Более высокая антагонистическая активность у этого препарата выявлена в отношении *Aspergillus niger* (зона подавления роста 15 мм), а также в отношении *Salmonella gallinarum*, *Staphylococcus aureus* № 3316, *Klebsiella pneumoniae* 444, *Candida albicans*, *Pasteurella multocida*, *Bacillus subtilis*, *Yersinia pestis* 1m, *Staphylococcus aureus* (VISA) 2m, *S. hyicus* 3m, *S. aureus* (VISA) 4m, *Cedecia* sp. 8m (зона подавления роста тест-культур – 12 мм). В отношении остальных тест-культур зоны подавления роста составили 9 мм.

Препарат, приготовленный из оболочек куколок, подавлял рост только 7 тест-культур: *Pasteurella multocida*, *Yersinia pestis* 1m, *Staphylococcus aureus* (VISA) 2m, *S. hyicus* 3m,

*S. aureus* (VISA) 4м, *Cedecia sp.* 8м и *Kluyvera ascorbata* 9с. При этом наибольшая активность определена в отношении *S. aureus* (VISA) 2м (зона подавления роста 15 мм), *S. hyicus* 3м (зона подавления роста 12 мм).

Получение биомассы разных стадий жизненного цикла мухи *H. illucens* не зависит от сезона и может быть непрерывным, т.к. насекомое содержится полностью в искусственных контролируемых условиях. Из 1 кг зерна можно получить до 200 г сухих личинок, содержащих 6.5% хитина. Из этого количества личинок образуется 100 г сухих куколок, содержащих 12% хитина, 25 г пустых оболочек куколок, а затем – 30 г сухого подмора.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Diener S., Studt S.N., Roa G.F., Zurbrügg C., Tockner K. Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae // Waste Biomass Valorization. 2011. V. 2, N. 4. P. 357–363.
2. Nicolaus R.A. Melanins. Paris: Hermann, 1968. 311 p.
3. Лях С.П. Микробный меланогенез и его функции. М.: Наука, 1981. 274 с.
4. Prota G. Melanins and melanogenesis. N.Y.: Academic Press, 1992. 290 p.
5. Бриттон Г. Биохимия природных пигментов. М.: Мир, 1986. 425 с.
6. Фролова М.А., Самуйленко А.Я., Албулов А.И., Варламов В.Н., Шинкарев С.М., Еремец Н.К., Гринь А.В., Еремец В.И., Мищевцов А.Г., Бараковский И.А. Практические аспекты применения хитозана в ветеринарной практике // Труды Кубанского гос. аграрного ун-та. Сер. Ветеринарные науки. 2009. № 1. Ч. 1. С. 303–304.
7. Скрыбин К.Г., Вихорева Г.А., Варламов В.П. Хитин и хитозан: Получение, свойства и применение. М.: Наука, 2002. 368 с.
8. Погарская Н.В., Селионова М.И., Бинатова В.В. Получение хитозан-меланинового комплекса из подмора пчел и определение его физико-химических и биологических характеристик // Веткорм. 2008. № 6. С. 28–29.
9. Егоров Н.С. Основы учения об антибиотиках. М.: Изд-во МГУ, 1994. 512 с.
10. Донцов А.Е., Островский М.А. Химическая и биологическая кинетика. Новые горизонты. М.: Химия, 2005. Т. 2. С. 155–176.

#### References

1. Diener S., Studt S.N., Roa G.F., Zurbrügg C., Tockner K. Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. Waste Biomass Valorization, 2011, vol. 2, no. 4, pp. 357–363.
2. Nicolaus R.A. Melanins. Paris: Hermann, 1968. 311 p.
3. Lyakh S.P. Microbial melanogenesis and its functions. Moscow, Nauka, 1981. 274 p.
4. Prota G. Melanins and melanogenesis. New York, Academic Press, 1992. 290 p.
5. Britton G. The biochemistry of natural pigments. Russian edition. Moscow, Mir, 1986. 425 p.
6. Frolova M.A., Samuylenko A.Ya., Albulov A.I., Varlamov V.N., Shinkarev S.M., Eremets N.K., Grin A.V., Eremets V.I., Mishchevtsov A.G., Barakovskiy I.A. Practical aspects of using chitosan in veterinary practice. Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. Seriya: veterinarnye nauki, 2009, no. 1, pt. 1, pp. 303–304.
7. Skryabin K.G., Vikhoreva G.A., Varlamov V.P. Chitin and chitosan: Production, properties and application. Moscow, Nauka, 2002. 368 p.
8. Pogarskaya N.V., Selionova M.I., Binatova V.V. Production of chitosan-melanin complex from dead bees and identification of its physicochemical and biological characteristics. Vetkorm, 2008, no. 6, pp. 28–29.
9. Egorov N.S. Fundamentals of antibiotics. Moscow, MGU, 1994. 512 p.
10. Dontsov A.E., Ostrovskiy M.A. Chemical and biological kinetics. New horizons. Moscow, Khimiya, 2005, vol. 2, pp. 155–176.

### BLACK SOLDIER FLY *HERMETIA ILLUCENS* UNDER IN VITRO BREEDING AS A RENEWABLE SOURCE OF MELANIN-CHITOSAN COMPLEX

© A.I. Bastrakov<sup>1</sup>, A.E. Dontsov<sup>2</sup>, N.A. Ushakova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Severtsov Institute of Ecology and Evolution, RAS,  
33, Leninskiy prospekt, 119071, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Emanuel Institute of Biochemical Physics, RAS,  
4, ulitsa Kosygina, 119334, Moscow, Russian Federation

The black soldier fly (*Hermetia illucens*) was bred in vitro under controlled conditions in the wheat grain. At stocking density of 5 larvae ind./cm<sup>2</sup>, the total consumption of feed substrate was 81%. The obtained yield of dry biomass of larvae was 0.18±0.05 kg with 1 kg of wheat and 3.05±0.08 kg with 1 m<sup>2</sup> of substrate. Melanin-chitosan complexes were isolated from the biomass of different stages during the life cycle of the insects. The EPR signal of melanin corresponded to eumelanin. The concentration of paramagnetic centres in the sample of dead flies *H. illucens* was 5.6×10<sup>16</sup> spin per 1 g of dry weight that correlated with 29 mg of melanin per 1 g of dry matter. The concentration of paramagnetic centres in the sample of pupal shells was 3.7×10<sup>16</sup> spin per 1 g of dry weight that correlated with 19 mg of melanin per 1 g of dry matter. It was shown that the melanin-chitosan complex obtained from dead flies and empty pupal shells possessed anti-infective properties. The melanin-chitosan complex isolated from dead flies inhibited 21 test cultures out of 25 cultures investigated, including 10 out of 11 cultures isolated from cows with mastitis. A similar complex isolated from pupal shells inhibited the growth of only 7 test cultures, but 5 of them were obtained from infected cows.

Key words: black soldier fly, dead flies, pupa, melanin, chitin, chitosan.

УДК 551.44:553.6(470.4/5)

**КАРСТОГЕННЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ  
ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ И УРАЛА**

© Р.Ф. Абдрахманов, В.Г. Попов

На территории Южного Урала и Предуралья карст развит почти на 50% территории, здесь он играет негативную роль при промышленном, гражданском, гидротехническом строительстве и сельскохозяйственном освоении территорий. Наряду с отрицательным, карст играет важное положительное народно-хозяйственное значение. Показано, что палео-, современные карстовые процессы и созданные ими формы подземного карста явились главной причиной образования и размещения различных литолого-геохимических типов нерудного и рудного минерального сырья. Всего в Башкортостане к категории карстогенных относятся свыше 10 литолого-геохимических типов нерудного и рудного минерального сырья. В палеозое Башкирского Предуралья выделяются три карбонатных нефтегазоносных комплекса: верхнедевон-турнейский, нижне-среднекаменноугольный и верхнекаменноугольно-нижнепермский. Залежи каменного угля связаны с терригенными породами в Бирской седловине и примыкающей части Верхне-Камской впадины, месторождения бурых углей – на юге Бельской депрессии. На Южном Урале с карбонатным карстом связаны скопления бокситов, марганцевых руд, огнеупорных глин, кварцевых песков и других полезных ископаемых. Карстовые процессы служат причиной образования различных геохимических типов минеральных вод, созданные ими формы подземного карста являются коллекторами минеральных вод. В Предуралье формируются группы минеральных вод без «специфических» компонентов и свойств, сероводородные, бромистые и йодистые, радоновые. Значительные запасы пресных подземных вод сосредоточены в крупных карстовых бассейнах: внутреннем Уфимского плато, моноклиналином Бугульминско-Белебеевской возвышенности и линейном Западно-Уральском, являющихся важнейшими бассейнами пресных вод для решения централизованного водоснабжения крупных населенных пунктов в перспективе.

Ключевые слова: карст, Южное Предуралье и Урал, полезные ископаемые, рудное и нерудное сырье, подземные воды.

Согласно основным принципам районирования карста [1], в пределах исследуемой территории выделяются Волго-Уральская, Предуральская, Западно-Уральская, Центрально-Уральская и Магнитогорская карстовые провинции. Две первые из них (собственно Предуралье) принадлежат Русской равнинно-платформенной карстовой стране и занимают почти 2/3 общей площади региона. Современные карстовые процессы здесь протекают в выходящих на поверхность или залегающих вблизи нее карбонатных и сульфатных отложениях пермского, каменноугольного и девонского возраста.

В контексте с формированием полезных ископаемых важно указать, что начало карстогенеза в Предуралье, судя по всему, относится к позднему протерозою – раннему палеозою (1600–450 млн лет назад). Этот период гидрогеологического развития знаменателен тем, что седиментационные этапы накопления древних карбонатных толщ и генетически связанных с ними соленых и рассольных формационных вод несколько раз сменялись длительными континентальными перерывами, вызвавшими внедрение в верхнюю часть разреза агрессивных инфильтрационных вод

АБДРАХМАНОВ Рафил Фазылович – д.г.-м.н., Институт геологии Уфимского научного центра РАН, e-mail: hydro@ufaras.ru

ПОПОВ Владимир Георгиевич – д.г.-м.н., Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ), e-mail: popovvg@novoch.ru



атмосферного происхождения. Еще более масштабно и интенсивно палеокарстовые процессы проявились в карбонатных породах позднего палеозоя (девон, карбон, пермь), слагающих большую часть (до 80–90%) всего палеозойского разреза.

Палеокарстовые формы различного возраста, развитые в основном в зоне катагенеза, являются коллекторами жидких, газообразных и твердых углеводородов (УВ), а также минеральных вод (МВ): бальнеологических (сероводородных, бромистых, йодистых) и промышленных (йодо-бромных). В закарстованных породах зоны гипергенеза формируются пресные воды хозяйственно-питьевого назначения и различные геохимические типы лечебных питьевых МВ. На Южном Урале с карбонатным карстом связаны скопления бокситов, марганцевых руд и других полезных ископаемых. Всего в Башкортостане к категории карстогенных относится свыше 10 литолого-геохимических типов нерудного и рудного минерального сырья. Из них наиболее важны в народно-хозяйственном отношении скопления углеводородов (УВ), пресных и минеральных подземных вод.

*Нефть и газ.* Самые крупные месторождения нефти (Шкаповское, Туймазинское, Арланское и др.), как известно, связаны с терригенными комплексами среднего девона и нижнего карбона платформенного Предуралья. Эти изначально обогащенные органическим веществом (ОВ) песчано-глинистые осадки, залегающие сейчас на глубинах соответственно 1100–1300 и 1600–2400 м в литогенетической зоне мезокатагенеза, многими специалистами в области нефтегазовой геологии считаются нефтегазоматеринскими. При этом не исключается «подпитка» первичными УВ снизу (в том числе из венда) за счет вертикальной миграции по зонам разломов. Согласно осадочно-миграционной концепции, именно в талассогенных глинистых осадках в результате процессов термолиза и термокатализа ОВ, произошло образование миграционноспособных жидких и газообразных битумоидов. Карбонатные толщи, на долю которых приходится до 80% мощности

палеозойского разреза Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, рассматриваются как вторичные коллекторы нефти и газа. В них УВ поступили за счет гидравлических сил, всплывания, диффузии и других процессов. На это, в частности, указывает этажное размещение в разрезе отдельных геологических структур залежей УВ в карбонатных и терригенных комплексах. Всего в ходе вертикальной миграции в карбонатные толщи из терригенных генерирующих резервуаров поступило до 25% всех балансовых запасов УВ сырья. Перспективы открытия новых зон нефтегазонакопления в терригенно-карбонатных комплексах палеозоя и докембрия Предуралья, по аргументированным представлениям [2], еще далеко не исчерпаны.

Среди целого ряда физико-химических и биохимических процессов, формирующих порово-трещинно-каверновую пустотность карбонатных пород (доломитизация, сульфат-редукция, выщелачивание эндогенным  $\text{CO}_2$  и др.), ведущее значение принадлежит палеокарсту в инфильтрационные (континентальные) этапы развития Предуралья. Наибольшее развитие он получил в конце франского и турнейского времени, а также в серпуховский, башкирский и артинский века. Мощность закарстованных пород достигает 200–300 м. Интенсивность и характер палеокарстовых процессов и последующих эпигенетических взаимодействий в системе «вода – карбонатная порода – газ – ОВ» определили сильную изменчивость емкостных и фильтрационных свойств пород: пустотность – от нескольких до 30% и выше, проницаемость – от сотых долей до  $4/8$  мкм<sup>2</sup>.

В палеозое Башкирского Предуралья выделяются три карбонатных нефтегазоносных комплекса (НГК): верхнедевон-турнейский ( $D_3-C_1t$ ), ниже-среднекаменноугольный ( $C_1-C_2$ ) и верхнекаменноугольно-нижнепермский ( $C_3-P_1$ ). Флюидоупорами служат аргиллиты, кремнеземные и глинистые известняки, мергели виле и верея, а также соли кунгура (рис. 1).

НГК  $D_3-C_1t$  мощностью в среднем 500 м наиболее развит на Татарском, Пермско-Башкирском сводах, Бирской и Верхне-Камской

впадинах, где кровля комплекса залегает на глубинах 1000–1700 м. Нефтепроявления и промышленные скопления нефти установлены на Карача-Елгинской, Чермасанской, Воядинской, Югомашевской, Дюртюлинской, Михайловской, Кушкульской, Татышлинской и других площадях. Нефтяные залежи пластовые или массивные структурного типа. С ними ассоциируются Cl-Na-Ca рассолы с М 160–300 г/л, N<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub> газового состава со средней концентрацией Br<sup>-</sup> – 446 мг/л (максимальная 2040 мг/л), I<sup>-</sup> – 7.4 мг/л (максимальная 15 мг/л). Генезис рассолов связан с процессами плотностной (концентрационной) конвекции Cl-Na-Mg солеродной маточной рапы кунгурского эвапоритового палеобассейна в подстилающие терригенно-карбонатные среды палеозоя и метаморфизацией раствора по механизму метасоматической доломитизации известняков [5]: 2CaCO<sub>3</sub> (известняк) + MgCl<sub>2</sub> (рассол) = CaCO<sub>3</sub>·MgCO<sub>3</sub> (доломит) + CaCl<sub>2</sub> (рассол).

НГК C<sub>1</sub>-C<sub>2</sub> (450–700 м) промышленно нефтегазоносен в тектонических впадинах

Северо-западного Башкортостана, Юрюзано-Айской и юге Бельской депрессий Предуральяского прогиба. Скопления УВ структурного типа: массивные – в серпуховском и башкирском ярусах, пластовые – в верейских и каширо-подольских отложениях. В восточном направлении с погружением кровли НГК от 800–1000 до 1700–3000 м нефтяные залежи сменяются нефтегазовыми, газовыми и газоконденсатными. Скопления УВ газа в карбонатных отложениях башкирского яруса установлены в Юрюзано-Айской впадине (Кызылбаевская, Устьикинская, Метелинская, Апутовская площади). На Апутовском месторождении из интервала 2200–2300 м дебиты газа составили 143.5 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Значительные поступления газа (2 млн м<sup>3</sup>/сут) и нефти (240 м<sup>3</sup>/сут) отмечены на Саратовской площади Бельской депрессии из среднекаменноугольных карбонатных коллекторов, залегающих на глубинах > 3 км. НГК свойственны Cl-Na и Cl-Ca-Na рассолы с М 100–250 г/л и более H<sub>2</sub>S-CO<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>-N<sub>2</sub> газового состава. Концентрация Br<sup>-</sup> в них до 540, I<sup>-</sup> до 9 мг/л.

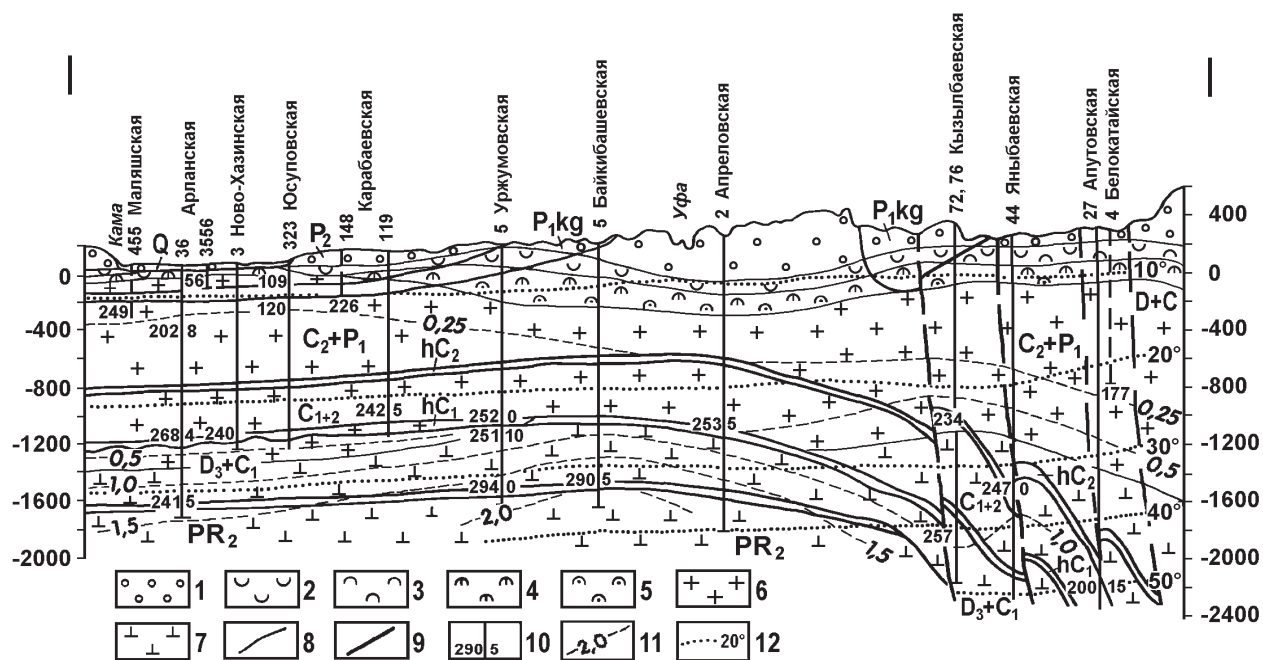


Рис. 1. Гидрогеохимический разрез Южного Предуралья [4]: 1–7 – химический состав и минерализация (М) подземных вод (г/л): 1 – HCO<sub>3</sub>, реже SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> и Cl-HCO<sub>3</sub> разного катионного состава (до 1), 2 – SO<sub>4</sub>-Ca (1-3), 3 – SO<sub>4</sub>-Na (2–20), 4 – SO<sub>4</sub>-Cl-Ca-Na (3–10), 5 – SO<sub>4</sub>-Cl-Ca-Na и Cl-Na (10–36), 6 – Cl-Na (36–310), 7 – Cl-Ca-Na (250–330); 8 – гидрогеохимические границы; 9 – стратиграфические границы; 10 – скважина: цифры слева – М (г/л), справа – концентрация I<sup>-</sup> в опробованном интервале (мг/л), наверху номер скважины и название нефтеразведочной площади; 11 – изолинии концентрации Br<sup>-</sup> (г/л); 12 – гидроизотермы, °С

НГК  $C_3$ - $P_1$  (до 1000 м и более) промышленно нефтегазоносен в Бельской депрессии. Литологические массивные залежи УВ приурочены к прослеживающимся вдоль ее западного борта рифовым массивам  $P_{1as-a}$  (Ишимбайский, Кумертауский, Введенский и др.), вершины которых погружаются в южном направлении от 300–500 до 2000–2500 м. В них заключено 95% запасов нефти на юге Предуральского прогиба.  $Cl$ - $Na$  рассолы рифогенных построек имеют  $M$  до 300 г/л, обогащены  $Br^-$  (до 830 мг/л) и особенно  $I^-$  (до 90 мг/л),  $K^+$  (до 2 г/л). Восточнее погребенной рифовой полосы развиты антиклинальные складки кинзбулатовского типа, с которыми связаны небольшие структурные, тектонически экранированные залежи нефти.

*Каменный уголь.* Залежи каменного угля связаны с терригенными бобриковскими отложениями визе в Бирской седловине и прилегающей части Верхне-Камской впадины. Угли в виде отдельных пластов залегают в эрозионно-карстовых впадинах площадью до 15 км<sup>2</sup> глубиной до 80–130 м, заложенных в известняках турне. В пределах Арланского и Орьбаш-Чераульского нефтяных месторождений бурением на глубинах 1250–1450 м выявлено > 11 впадин с мощностью пластов угля 7.6–28.0 м. Прогнозные запасы его оцениваются в 1.89 млрд т.

*Бурый уголь.* Месторождения бурых углей олигоцен-миоценового возраста приурочены к многочисленным карстовым и эрозионно-карстовым понижениям площадью до 20 км<sup>2</sup> в кунгурских соленосных породах на юге Бельской депрессии. Мощность залежей достигает 100 м и более; общие запасы Южно-Уральского бурогоугольного бассейна около 2 млрд т.

*Подземные минеральные воды (МВ).* Пространственно и генетически связанные с палео- и современными карстовыми процессами МВ являются ценнейшим полезным ископаемым [3]. Гидрогеологическая роль карстовых процессов двоякая: с одной стороны, они непосредственно служат причиной образования различных геохимических типов МВ, а с другой – созданные ими фор-

мы подземного карста являются коллекторами МВ вторичного происхождения. Регионально развиты МВ в стратиферу Предуралья, где выделяется 4 группы вод: 1) без «специфических» компонентов и свойств; 2) сероводородные; 3) бромистые и йодистые; 4) радоновые.

Распределение МВ контролируется вертикальной гидрогеохимической зональностью. В верхней части зоны гипергенеза на глубинах < 500 м к пермским гипсам, а также известнякам и доломитам с включениями  $CaSO_4$  и  $NaCl$  приурочена широкая геохимическая гамма лечебных питьевых  $O_2$ - $N_2$  «неспецифических» МВ:  $SO_4$ - $Ca$  ( $Mg$ - $Ca$ ) ( $M$  1–3 г/л) Краинского и Звенигородского типов,  $SO_4$ - $Cl$ - $Ca$ - $Na$  ( $M$  3–8 г/л) Ижевского,  $Cl$  ( $HCO_3$ - $Cl$ )- $Na$  ( $M$  2–12 г/л) Миргородского, Минского типов. Они формируются *in situ* в окислительной и переходной геохимических обстановках ( $Eh +250 \dots -100$  мВ) под влиянием конгруэнтного растворения, доломитизации, смешения и других процессов в системе «вода – эвапориты». В уфимских известняках встречаются  $SO_4$ - $Na$  ( $Ca$ - $Na$ ) МВ с  $M$  2–20 г/л Будапештского и Иаскараенского типов (Венгрия) вторичного происхождения. Изначально они образуются в терригенных глинистых породах в результате обменно-адсорбционных взаимодействий между  $Ca^{2+}$  гипсовых вод и адсорбированным  $Na^+$  пород [5]:  $CaSO_4$  (вода) +  $2Na^+$  (адс.)  $\leftrightarrow$   $Na_2SO_4$  (вода) +  $Ca^{2+}$  (адс.).

В карбонатных отложениях нижней перми – нижнего карбона, залегающих на глубинах 100–1500 м в резко восстановительной среде ( $Eh -100 \dots -430$  мВ), формируются бальнеологические сероводородные (сульфидные) МВ. Наибольшим геохимическим разнообразием они обладают в трещинно-карстовых карбонатных коллекторах ассельско-артинского возраста, в которых заключены МВ  $SO_4$ - $Mg$ - $Ca$  ( $M$  до 3 г/л,  $H_2S$  до 0.1 г/л) Кемерийского и Сергиевского типов,  $SO_4$ - $Cl$ - $Ca$ - $Na$  ( $Na$ ) ( $M$  5–30 г/л,  $H_2S$  до 0.3 г/л) Ключевского и Мацестинского типов и  $Cl$ - $Na$  ( $M$  до 300 г/л,  $H_2S$  до 1 г/л и более) МВ Усть-Качкинского, Ишимбайского и Красноусольского типов. Распространены они зонально (рис. 2).

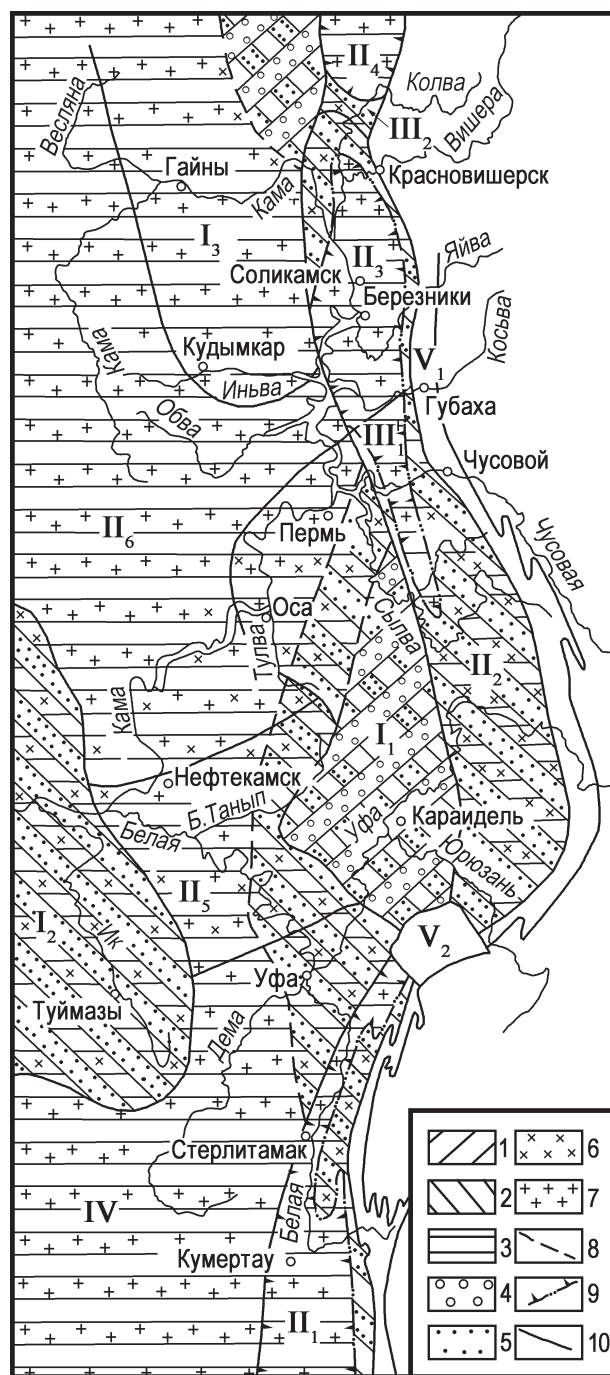


Рис. 2. Геохимические типы сульфидных вод нижнепермских отложений Предуралья [4]: 1–3: состав вод: 1 –  $\text{SO}_4\text{-Mg-Ca}$ ; 2 –  $\text{SO}_4\text{-Cl-Ca-Na}$ ; 3 –  $\text{Cl-Na}$ ; 4–7 –  $\text{M}$ , г/л: 4 – 3–5, 5 – 5–36, 6 – 36–150, 7 – 150–330; 8 – границы вод различного состава; 9 – границы распространения солей в Предуральском прогибе; 10 – тектонические границы; своды:  $\text{I}_1$  – Пермско-Башкирский,  $\text{I}_2$  – Тагарский,  $\text{I}_3$  – Камский; впадины:  $\text{II}_1$  – Бельская,  $\text{II}_2$  – Юрюзано-Айская,  $\text{II}_3$  – Соликамская,  $\text{II}_4$  – Верхне-Печорская,  $\text{II}_5$  – Бирская,  $\text{II}_6$  – Верхне-Камская,  $\text{III}_1$  – Косьвинско-Чусовская седловина;  $\text{IV}$  – моноклиальный склон платформы;  $\text{V}_1$  – западный склон Урала;  $\text{V}_2$  – Каратауский структурный комплекс;  $\text{V}_3$  – Полудовский структурный комплекс

Литолого-гидрогеохимические исследования показали [4], что в карбонатном ассельско-артинском комплексе с инфильтрационными и седиментогенно-инфильтрационными водами, создались наиболее благоприятные условия для генерации  $\text{H}_2\text{S}$  за счет процессов биохимической сульфатредукции, т.е. восстановления сульфатов УВ при участии бактерий:  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 3\text{CaSO}_4 = 3\text{CO}_2 + 3\text{CaCO}_3\downarrow + 3\text{H}_2\text{S} + 3\text{H}_2\text{O} + Q$  кал. МВ часто содержат довольно высокие концентрации  $\text{Br}^-$  и  $\text{I}^-$  (соответственно до 500 и 15 мг/л и более).

В зоне катагенеза (> 1200–1500 м) в палеокарстовых верхнедевон-турнейских коллекторах заключены седиментогенно-эпигенетические йодисто-бромистые  $\text{N}_2\text{-CH}_4$  рассолы с  $\text{M}$  250–330 г/л бальнеологического и лечебно-питьевого (в разбавленном виде) назначения. Высокая бальнеологическая ценность их подтверждается лечебной практикой на курорте «Усть-Качка» в Пермской области и в бальнеолечебнице «Южарланнефть», где для лечебных ванн применяются рассолы с  $\text{M}$  271–276 г/л концентрациями  $\text{Br}^-$  290–690,  $\text{I}^-$  20–22 мг/л.

Обогащенные  $\text{Br}^-$  и  $\text{I}^-$  рассолы этого комплекса представляют большой интерес и как гидроминеральное промышленное сырье. Особого внимания при этом заслуживает вопрос, касающийся использования попутных рассолов нефтяных месторождений. В связи с сильной обводненностью скважин (до 95% и более) на нефтепромыслах Башкирии из терригенных и карбонатных комплексов палеозоя извлекаются огромные объемы рассолов с кондиционными концентрациями  $\text{Br}^-$  (> 200 мг/л) и  $\text{I}^-$  (> 10 мг/л). На нефтяных месторождениях НГДУ Аксаковнефть, Туймазанефть, Южарланнефть, Чекмагушнефть количество их составляет 90–150 тыс.  $\text{m}^3/\text{сут}$ , что с избытком обеспечивает потребность химического производства.

Месторождения радоновых вод в Предуралье имеют очаговый характер. Радиоактивный  $\text{HCO}_3\text{-Mg-Ca}$  источник «Кургазак» ( $\text{M}$  0.5 г/л,  $\text{Rn}$  0.15–0.17 Вк/л), используемый

в санатории Янган-Тау, и один из источников Красноусольского гидроминерального месторождения Cl-Na состава (M 7.6–13.5 г/л, Rn 0.27–0.67 Bq/л).

Всего на базе трещинно-карстовых МВ в Южном Предуралье функционирует более 15 курортов, санаториев и бальнеолечебниц, а также несколько заводов розлива МВ [3].

На Южном Урале трещинно-карстовые МВ наиболее развиты в карбонатных породах кизильской свиты нижнего карбона, слагающих верхнюю часть разреза Магнитогорского мегасинклинория. Это  $\text{SO}_4$ -Cl и Cl воды пестрого катионного состава с M до 4.7 г/л, относящиеся к Алма-Атинскому, Минскому, Луганскому и Миргородскому типам. В Инзерском синклинории Башкирского поднятия к известнякам катавской свиты протерозоя приурочено Ассинское месторождение МВ, представленное группой источников Cl ( $\text{HCO}_3$ -Cl)-Na (Ca-Na) состава с M 1.1–20.5 г/л.

*Пресные воды.* Значительные запасы [3] их сосредоточены в 3-х крупных карстовых бассейнах, сложенных карбонатными породами: 1) внутреннем Уфимского плато ( $P_1$ as-a); 2) моноклиналином Бугульминско-Белебеевской возвышенности ( $P_2$ kz); 3) линейном Западно-Уральском (C-D).

В первом на площади около 12 тыс. км<sup>2</sup> естественные ресурсы подземных вод 95% обеспеченности составляют 7 л/(с·км<sup>2</sup>), а среднегодовые 15 (л/с·км<sup>2</sup>). Каптаж карстовых родников в южной части бассейна (Красного Ключа, Тюбы, Сарвы) может дать 10 м<sup>3</sup>/с, плюс создание линейного ряда водозаборных скважин вдоль южной оконечности бассейна в зоне их разгрузки в долине р. Уфы обеспечивает столько же, т.е. суммарно 20 м<sup>3</sup>/с или около 2 млн м<sup>3</sup>/сут. На базе этих ресурсов можно создать крупный хозяйственно-питьевой водозабор для снабжения качественной водой Уфимско-Благовещенской агломерации, избавив впредь население от угрозы фенольно-диоксиновой опасности. В настоящее время огромные ресурсы пресных карстовых вод Уфимского плато не востребованы.

Бугульминско-Белебеевский карстовый бассейн, приуроченный к верхнепермским карбонатным породам, судя по среднему модулю подземного стока (2.8 л/(с·км<sup>2</sup>)), располагает значительными ресурсами пресных вод. За счет каптажа их решена проблема водоснабжения г. Туймазы и многих сельских населенных пунктов в западных районах республики. Но проблема питьевого водоснабжения здесь осложнена процессами загрязнения пресных вод нефтепромысловыми россолами.

Линейный карстовый бассейн Западно-Уральской внешней зоны складчатости является внешней областью питания Волго-Уральского артезианского бассейна. Концентрация подземного стока происходит в карбонатных толщах нижнего карбона и верхнего девона, с которыми связаны мощные карстовые родники с дебитом в десятки и сотни л/с (Шумиха, Атыш, Юрмаш и др.). К ним относятся Берхомут и Аскинкуль с расходом до 1.39 и 1.84 м<sup>3</sup>/с соответственно, используемые для хозяйственно-питьевого водоснабжения ряда населенных пунктов Стерлитамакского района, в том числе г. Стерлитамака. Однако основная часть ресурсов пресных карстовых вод бассейна ввиду отсутствия потребителей не задействована.

На остальной части горно-складчатого Урала (Центрально-Уральское поднятие и Магнитогорский мегасинклинорий) развиты многочисленные обособленные внутриструктурные (межгорные) карстовые бассейны, сложенные известняками и доломитами протерозоя и палеозоя. Они зажаты среди некарстующихся метаморфических и вулканических массивов, откуда получают дополнительное подземное питание. Сосредоточение подземного стока происходит в унаследованных карстом зонах разломов, где естественные ресурсы карстовых вод достигают 3–5 л/(с·км<sup>2</sup>). Значительные ресурсы пресных карстовых вод в основном не используются. Тем не менее именно за счет них осуществляется водоснабжение почти всех

крупных населенных пунктов на Южном Урале (Белорецк, Старосубхангулово, Тирлян, Магнитогорск, Учалы, Сибай, Миндяк, Бурибай) и ряда рудников. Разведанные запасы пресных вод колеблются от 1.25 тыс. м<sup>3</sup>/сут на Юлбарисовском месторождении до 45 тыс. м<sup>3</sup>/сут – на Большекезильском. Карстовым бассейнам Зауралья свойственна пестрота химического состава вод: в северной части преобладают НСО<sub>3</sub>-Mg-Ca пресные воды с М < 0,7 г/л, а на юге в условиях засушливого климата – Cl-SO<sub>4</sub>-Ca и Cl-Ca-Mg соленые воды с М до 5 г/л.

Большую роль карст сыграл в перестройке месторождений пластовых бокситов, приуроченных к верхнедевонским известнякам западного склона Южного Урала. Продукты их разрушения (обломочные бокситы) накапливались в карстовых воронках глубиной до 12 м (месторождения Кукшик, Айское, Ново-Пристанское и др.). С карстовыми воронками также связаны месторождения фосфоритов Башкирского Предуралья в Архангельском, Гафурийском, Ишимбайском районах.

Карстовые процессы способствовали образованию месторождений переотложенных марганцевых руд (Улу-Телякское, Ашинское) и месторождений окисленных железных руд в предгорной и горной зонах Башкортостана на закарстованных карбонатных породах палеозоя и более древних отложениях.

Многие месторождения бурых железняков в Тирлянском, Лемезинском, Инзерском, Зигазино-Комаровском, Авзяно-Узянском и Катав-Юрюзанском железорудных районах связаны с древним карстом в нижнепалеозойских и докембрийских карбонатных породах и с переотложенными корами выветривания.

В Предуралье и на Урале с карстовыми процессами в гипсово-ангидритовых и карбонатных породах, вызванными преакчагыльскими неотектоническими движениями, связаны переотложенные скопления белых глин, стекольных и формовочных песков, глин-красок, алунитов, бокситов, фосфоритов, глауконитов и белого мела. Белые глины

используются как керамическое и кислотоупорное сырье, а пески – как стекольный и формовочный материал (Мускульдинское, Курбатовское, Тавтимановское, Кутлугузинское, Байгузинское, Ивановское, Суракайское, Белорецкое и другие месторождения). Во многих провальных воронках в известняках сакмара-артина Уфимского плато и нижнего карбона передовых хребтов Южного Урала сохранились небольшие скопления разноцветных глин-красок, алунитов и бокситов, содержащих до 41% глинозема.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абдрахманов Р.Ф., Мартин В.И., Попов В.Г., Рождественский А.П., Смирнов А.И., Травкин А.И. Карст Башкортостана. Уфа: Информреклама, 2002. 383 с.
2. Лозин Е.В. Глубинное строение и нефтегазоносность Волго-Уральской области и смежных территорий // Литосфера. 2002. № 3. С. 46–68.
3. Абдрахманов Р.Ф. Пресные подземные и минеральные лечебные воды Башкортостана. Уфа: Гилем, 2014. 416 с.
4. Попов В.Г. Гидрогеохимия и гидрогеодинамика Предуралья. М.: Наука, 1985. 278 с.
5. Попов В.Г., Абдрахманов Р.Ф. Ионообменная концепция в генетической гидрогеохимии. Уфа: Гилем, 2013. 356 с.

#### References

1. Abdrakhnanov R.F. Underground fresh and mineral medicinal waters of Bashkortostan. Ufa, Gilem, 2014. 416 p.
2. Abdrakhnanov R.F., Martin V.I., Popov V.G., Rozhdestvenskiy A.P., Smirnov A.I., Travkin A.I. Karst of Bashkortostan. Ufa, Informreklama, 2002, 383 p.
3. Lozin E.V. The deep structure and oil-and-gas content of the Volga-Ural area and adjoining territories. Litosfera, 2002, no. 3, pp. 46–68.
4. Popov V.G. Hydrogeochemistry and hydrogeodynamics of the Cis-Urals. Moscow, Nauka, 1985. 278 p.
5. Popov V.G., Abdrakhnanov R.F. The ion exchange concept in genetic aqueous geochemistry. Ufa, Gilem, 2013, 356 p.



## **MINERALS OF KARST GENESIS IN THE SOUTHERN CIS-URALS AND THE URALS**

© **R.F. Abdrakhmanov<sup>1</sup>, V.G. Popov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Geology, Ufa Scientific Centre, RAS,  
16/2, K. Marksa, 450077, Ufa, Russian Federation

<sup>2</sup>Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI),  
132, ulitsa Prosveshcheniya, 346428, Novocherkassk, Russian Federation

In the southern Cis-Urals and the Urals, karst occupies almost 50% of the region and plays a negative role in the industrial, civil and hydraulic engineering as well as also in the agricultural development. However, it also has a considerable positive national economic significance. The article shows that old and recent karst processes and the resultant underground karst features were the principal cause for the formation and placement of various lithological and geochemical types of non-metallic minerals and ores. In all, there are over 10 litho-geochemical types of non-metallic minerals and ores in Bashkortostan fallen into the category of karst-related ones. Three Paleozoic oil and gas complexes are recognized in the Bashkir Cis-Urals, including Upper Devonian-Tournaisian, Lower-Middle Carboniferous and Lower Permian-Upper Carboniferous. Hard coal deposits are associated with terrigenous rocks in the Birska Saddle and adjacent part of the Upper Kama Basin, and brown coals are confined to the southern Belaya Depression. In the South Urals, carbonate karst is associated with the accumulations of bauxite, manganese ore, refractory clay, quartz sand and other minerals. Karst processes lead to the formation of different geochemical types of mineral waters and underground karst structures that serve as mineral water collectors. Groups of mineral waters without any «specific» components and properties (hydrogen sulfide, bromine and iodine, radon) are formed in the Cis-Ural Region. Substantial reserves of fresh underground water are concentrated in large karst basins. These are the inner Ufa Plateau, monoclinical Bugulma-Belebey Upland and linear West Ural Basin being the most important freshwater reservoirs for centralized water supply of large urban settlements in the future.

Key words: karst, southern Cis-Urals and the Urals, minerals, metallic and nonmetallic materials, underground water.

УДК 553.41

**ПРОГНОЗНЫЕ РЕСУРСЫ ЗОЛОТА В УГЛЕРОДИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ГОРОДИЩЕНСКОЙ СВИТЫ (ЗАУРАЛЬСКОЕ ПОДНЯТИЕ)**

© А.В. Сначёв, В.И. Сначёв

Рассмотрено геологическое строение городищенской свиты, развитой в западной части Зауральского поднятия. Углеродистые отложения, широко представленные в ее составе, опробованы на золото. Установлено, что в черносланцевых образованиях городищенской свиты в долине р. Осиповский Лог присутствуют содержания золота до 27 г/т, приуроченные к интенсивно дислоцированным, окварцованным и сульфидизированным породам, пронизанным дайками габброидов. В 7 км к северу по простиранию свиты в борту р. Санарка в углеродистых отложениях, прорванных дайкой плагиогранитов, установлены содержания золота до 7.7 г/т, что позволило предположить наличие единой зоны золоторудной минерализации, подсчитать в ее пределах прогнозные ресурсы золота по категории  $P_2$  и рекомендовать для дальнейших поисковых и оценочных работ. Осиповское проявление золота является первым объектом, выявленным среди углеродистых отложений Зауральского поднятия.

Ключевые слова: Зауральское поднятие, углеродистые сланцы, золото, прогнозные ресурсы, городищенская свита, метаморфизм.

Углеродистые отложения, как известно, представляют собой весьма благоприятную геохимическую среду для первичного накопления многих промышленно важных элементов. При определенных условиях, особенно в областях проявления зонального метаморфизма и тектонической активности, углеродистые породы могут сами служить источником металлов и концентрировать в себе крупные залежи золота, молибдена, вольфрама, ванадия, марганца, платины и других элементов [1, 2].

За последние 20 лет среди золоторудных месторождений отчетливо выявился новый тип прожилково-вкрапленной золото-сульфидной минерализации с дисперсным золотом и платиновыми металлами. Эти залежи располагаются в рифтовых структурах, в районах со слабо проявленным магматизмом и локализируются в древних породах, богатых органическим углеродом. Черносланцевые толщи образуют протяженные региональные пояса, однако месторождения внутри них при-

урочены к локальным полям, где проявлены динамотермальные процессы и определенно-го вида метасоматические изменения.

Долгие годы на Южном Урале все поисковые и разведочные работы были ориентированы на традиционные типы благороднометальной минерализации. Углеродистые пиритсодержащие отложения, несущие знаки золота и платиноидов, а иногда и вмещающие небольшие их проявления, не вызывали должного интереса.

В то же время в пределах палеоконтинентального сектора Южного Урала (Башкирское, Восточно-Уральское и Зауральское поднятия) довольно мощные прослои углеродистых сланцев широко развиты среди рифейских и палеозойских осадочных отложений. На участках с развитием разрывных нарушений они интенсивно дислоцированы, окварцованы, сульфидизированы и содержат промышленные концентрации золота, элементов группы платины и цинка [3, 4].

СНАЧЁВ Александр Владимирович – к.г.-м.н., Институт геологии Уфимского научного центра РАН, e-mail: SAVant@rambler.ru

СНАЧЁВ Владимир Иванович – д.г.-м.н., Институт геологии Уфимского научного центра РАН, e-mail: SAVant@inbox.ru



В центральной части Зауральского подъятия, являющегося составной частью Восточно-Уральского континентального палеорифта, в последние годы нами совместно с ОАО «Челябинскгеосъемка» проводились научно-исследовательские и геолого-съёмочные работы. Геологическое строение района работ достаточно сложное. В его пределах прослеживается ряд структурно-фациальных и структурно-формационных зон, в которых развиты метаморфические, осадочные, интрузивные и вулканогенные образования, сформированные в разных геодинамических обстановках и имеющие различную металлогеническую специализацию.

Интересующий нас участок расположен между Нижнесанарским гранитным массивом и Челябинским грабеном (рис. 1). В его геологическом строении принимают участие образования городищенской свиты, кособродской толщи, коркинской свиты.

**Городищенская свита (RF<sub>1</sub>gr)** развита в виде изометричных полос, вытянутых с юга на север, а также в виде крупных тектонических блоков в центральной части территории. Она представлена зелеными сланцами полевошпат-амфиболовыми, эпидот-хлорит-амфиболовыми; метабазами, порфиритоидами, реже порфириоидами, амфиболитами; прослоями графитистых кварцитов, филлитов, мраморизованных известняков, метапесчаников, прорванными мелкими и крупными телами габбро, представляющими, по-видимому, совместно с вулканитами основного состава единый вулcano-платонический комплекс. Нижний контакт свиты неизвестен. По данным геологов ОАО «Челябинскгеосъемка», образования свиты со стратиграфическим несогласием перекрывается отложениями алексеевской свиты. Возраст городищенской свиты принят раннерифейским на основании находок микрофитоцитов и нельканелл *Osagia tenuilamellata* Keitl. и др., а также сопоставимости ее с аналогичными толщами, возраст которых определен радиологическими методами. Мощность свиты 1000–2400 м.

**Кособродская толщина (S<sub>1</sub>ks)** отмечена в крайней восточной части Восточно-Ураль-

ского прогиба и представлена базальтами, дацитами, риодацитами, риолитами, их туфами и ксенотуфами, реже андезибазальтами, андезитами, дациандезитами, прослоями кремнистых туффитов, углеродисто-кремнистых сланцев. В низах разреза преобладают базальты, в средней части – основные и кислые вулканиты и их туфы, верхняя часть разреза сложена последовательно дифференцированными вулканитами с преобладанием андезитов и дацитов. Толща имеет несогласные границы с подстилающими и перекрывающими образованиями. Возраст кособродской толщи принят условно, на основании геологических построений и сопоставимости ее с фаунистически охарактеризованной межевской толщей [5]. Мощность кособродской толщи более 1000 м.

**Коркинская свита (T<sub>3</sub>kr)** откатирована в Челябинском грабене. Нижняя безугольная часть разреза представлена горизонтом песчано-конгломератового состава. Выше залегают ритмично переслаивающиеся песчаники, алевролиты, аргиллиты с пластами угля. Терригенные породы имеют полимиктовый состав. Свита согласно залегает на образованиях козыревской свиты [5]. Возраст определен по находкам флоры: *Osmundopsis (Cladophlebis) bojakovae* Vlad., *Coniopteris* cf. *hymenophylloides* (Brougn.) Sew., *C. cf. latifolia* Brick., *Nilssonina* cf. *vittaeformis* Pryn., *Thinnfeldia gothanii* Pryn., *Th. distantifolia* Pryn., спор и пыльцы: *Annulispora folliculosa* (Rogal.), *Bennetiales*, *Ginkgoales*, *Pinites*, *Coniferales* и датируется поздним триасом. Мощность 600–1500 м.

**Мариновский диорит-плагиогранитовый комплекс (δ-πγD<sub>3</sub>-C<sub>1</sub>m)** представлен диоритами, кварцевыми диоритами; тоналитами, плагиогранитами, плагиогранит-порфирами. Породы комплекса слагают Нижнесанарский массив и протягиваются в субмеридиональном северо-восточном направлении на 85 км при ширине до 13 км. В отдельных частях массива в диоритоидах наблюдаются многочисленные ксенолиты биотит-амфиболовых гнейсовидных и порфиробластовых пород различной величины. Западный

Т а б л и ц а

Содержания золота в штучных и бороздовых пробах пород городищенской свиты, г/т

№ п/п	№ пробы	Au	№ п/п	№ пробы	Au
1	5012	0.05	16	бк-04/2	0.03
2	5013	0.06	17	бк-04/3	0.02
3	5013/1	0.02	18	бк-05	0.21
4	5001/78	<0.004	19	ос-716-529	<b>25.1</b>
5	5002-107	0.11	20	ос-01	0.05
6	5002-362	0.01	21	ос-02	0.08
7	5050-27	0.01	22	ос-03	0.06
8	5050-39	0.0039	23	ос-04	0.01
9	бк-715-40	<b>7.70</b>	24	ос-05	0.03
10	бк-01	0.08	25	ос-06	0.03
11	бк-02/1	0.08	26	ос-07	0.05
12	бк-02/2	0.08	27	ос-08/1	0.07
13	бк-03/1	0.10	28	ос-08/2	<0.01
14	бк-03/2	0.13	29	ос-08/3	0.02
15	бк-04/1	0.04			

Примечание. 1–9, 19 – штучные пробы; 10–18, 20–29 – бороздовые пробы (длиной 1 м) и площадные (1 м<sup>2</sup>). Результаты проб № 1–8 принадлежат ОАО «Челябинскгеосъемка», № 9–29 – собственные. Пробы № 9–18 отобраны по р. Санарка у п. Белокаменка; № 19–29 отобраны по р. Осиповский лог 2-й (рис. 1)

контакт массива тектонический, на востоке – тектонический и интрузивный. Датировки по цирконам из диоритов и плагиогранитов Нижнесанарского массива (U-Pb метод) составляют 368±6, 358±3 млн и 342±5 млн лет соответственно [5]. Возраст комплекса принят позднедевонско-раннекаменноугольным.

Атомно-абсорбционный анализ на золото 10 штучных и 19 бороздовых проб углеродистых сланцев городищенской свиты проведен в АСИЦ ВИМСа (табл.).

Выявленное нами [5] *Осиповское проявление золота* находится в пределах Зауральского поднятия в западном обрамлении крупного Нижнесанарского гранитного массива и приурочено к углеродистым отложениям городищенской свиты нижнего рифея (RF<sub>1gr</sub>) (рис. 1, 2). Здесь среди зеленых полевошпатамфиболовых, эпидот-хлорит-амфиболовых сланцев, амфиболитов и metabазальтов отмечены довольно мощные прослои графитистых кварцитов. Отложения городищенской свиты интенсивно метаморфизованы и подроблены,

подвергнуты окварцеванию и сульфидизации, прорваны многочисленными дайками различного состава (от габбро-диабазов до плагиогранитов) (рис. 2). Они на протяжении 800 м прекрасно обнажены в долине ручья 2-й Осиповский Лог, впадающего в р. Уй. Атомно-абсорбционный анализ штучных и бороздовых проб черносланцевых отложений показал промышленные содержания в них золота (в среднем по 11 пробам – 2.32 г/т, что в 50 раз больше рудогенной аномалии [6], максимальное – 25.1 г/т) (табл.). В одном из образцов т. 716/529 была обнаружена золотина размером 1.5×1.0 мм.

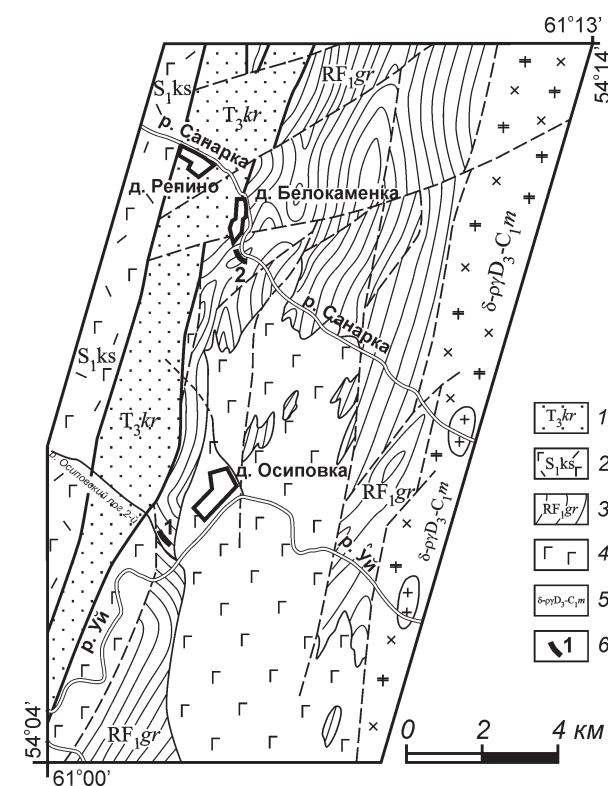


Рис. 1. Геологическая карта Осиповского проявления (составлена по материалам Пискунова В.Ф., 1970). Условные обозначения: 1 – коркинская свита (T<sub>3kr</sub>): песчаники, конгломераты, алевролиты; 2 – кособродская толща (S<sub>1ks</sub>): базальты, дациты, риодациты, риолиты и их туфы, прослои углеродисто-кремнистых сланцев; 3 – городищенская свита (RF<sub>1gr</sub>): сланцы филлитовые, углеродисто-кварцевые, песчаники кварцевые, прослои и линзы известняков; 4 – габбро, габбро-диабазы; 5 – мариинский комплекс диорит-плагиогранитовый (δ-пγD<sub>3</sub>-C<sub>1m</sub>): диориты, кварцевые диориты, плагиограниты; 6 – положение разрезов (вне масштаба): 1 – Осиповский (рис. 2), 2 – Белокаменский (рис. 3)

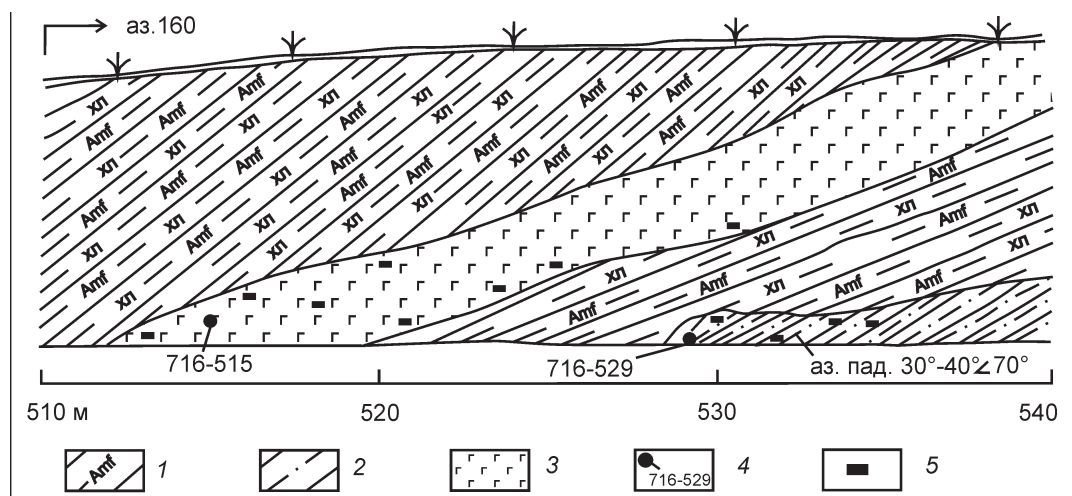


Рис. 2. Разрез городищенской свиты по Осиповскому логу. Условные обозначения: 1 – амфибол-хлорит-полевошпатовые сланцы, 2 – сланцы углеродистые, 3 – габбро-диабазы, 4 – точка отбора пробы и ее номер, 5 – сульфидизация

В 7 км по простиранию городищенской свиты к северу от Осиповского проявления в правом борту р. Санарка, в 0.5 км ниже по течению от п. Белокаменка в окварцованных и сульфидизированных графитистых кварцитах, прорванных дайкой плагиогранитов (рис. 3), по 10 пробам получено среднее содержание золота 0.85 г/т (максимальное – 7.7 г/т), что позволяет нам предполагать наличие единой зоны золоторудной минерализации, подсчитать прогнозные ресурсы золота в ее пределах и рекомендовать для дальнейших поисковых и оценочных работ.

При прогнозе ресурсов отдельных рудных тел, месторождений и продуктивных образований по категории  $P_2$  можно использовать формулу [7]:

$$Q = k \times S \times H \times C \times D,$$

где  $Q$  – прогнозные ресурсы компонента или руды, т;  $S$  – предполагаемая площадь распространения оруденения на некотором горизонте (например, площадь выхода на дневную поверхность),  $m^2$ ;  $H$  – экстраполируемая глубина распространения оруденения (глубина прогнозирования), м;  $C$  – содержание компонента в руде, удельная продуктивность или коэффициент рудоносности (содержание руды в продуктивных образованиях, т/т);  $D$  – средняя плотность пород объектов,  $t/m^3$ ;  $k$  – коэффициент надежности прогноза; его значения принимаются на основании экспертной оценки ( $k=0.3-0.5$  при низкой,  $0.5-0.8$  – при высокой,  $0.8-1.0$  – при очень высокой достоверности данных).

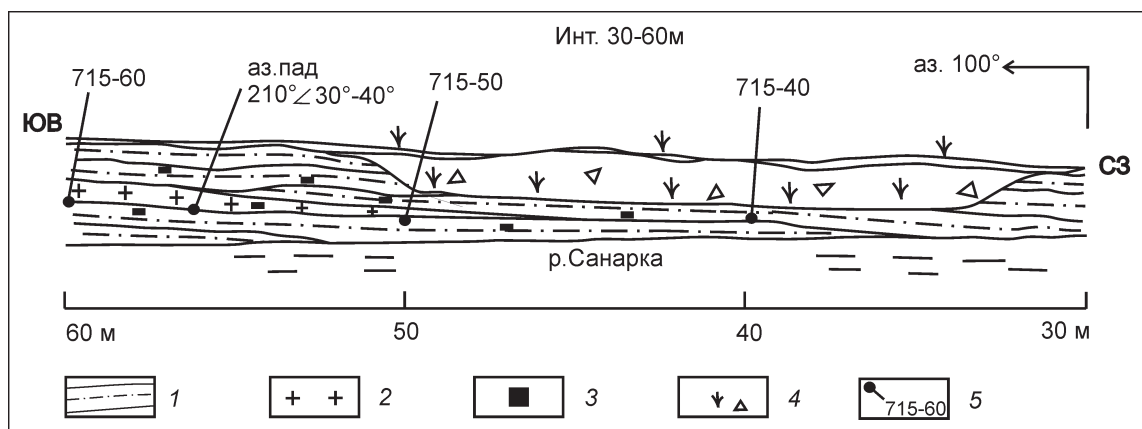


Рис. 3. Разрез городищенской свиты у пос. Белокаменка. Условные обозначения: 1 – сланцы углеродистые, 2 – плагиограниты, 3 – сульфидизация, 4 – точка отбора пробы и ее номер

Исходные данные для подсчета прогнозных ресурсов золота в углеродистых отложениях городищенской свиты по категории  $P_2$  следующие:

1. Предполагаемая протяженность рудоносной зоны, как это было отмечено выше, составляет 7000 м.

2. Расчет средней мощности минерализованного уровня в углеродистых сланцах на данном объекте не представляется возможным в силу отсутствия значимых результатов на Au в бороздовых пробах. По аналогии с Амурским месторождением [2, 8], а также проявлением Отнурок (Белорецкий купол) [9], этот параметр принят в 1 м. Тогда предполагаемая площадь распространения оруденения ( $S$ ) равна 7000 м<sup>2</sup>.

3. Глубина прогнозирования, согласно имеющимся инструкциям [7], принята 100 м.

4. Среднее содержание золота по штучным и бороздовым пробам ( $C$ ), отобранным из углеродистых сланцев городищенской свиты, судя по данным табл., составляет 1.62 г/т.

5. Средняя плотность углеродистых образований ( $D$ ) – 2.6 т/м<sup>3</sup>, коэффициент надежности прогноза ( $k$ ) – 0.7.

Тогда прогнозные ресурсы золота по категории  $P_2$  составляют:  $Q = 7000 \text{ м}^2 \times 100 \text{ м} \times 1.62 \text{ г/т} \times 2.6 \text{ т/м}^3 \times 0,7 = 2064 \text{ кг}$ .

Таким образом, проведенные исследования по изучению золотоносности углеродистых отложений городищенской свиты в пределах Зауральского поднятия позволили выявить перспективное проявление Осиповское. С помощью бороздового опробования довольно мощной рудоносной зоны выделена локальная пачка интенсивно тектонизированных, окварцованных и сульфидизированных пород с промышленным содержанием золота, которая была прослежена по простиранию на несколько километров. В результате удалось подсчитать прогнозные ресурсы золота по категории  $P_2$  в размере около 2 т. Учитывая тот факт, что северый и южный фланги рудоносной зоны не оконтурены, поисковые работы на рассматриваемой территории должны быть продолжены. В процессе их проведения не-

обходимо помнить, что золоторудная зона находится в 3.5–5.5 км от контакта крупного Нижнесанарского гранитного массива и тепловое поле в период его кристаллизации, несомненно, оказало влияние на перераспределение золота в углеродистых сланцах, что хорошо показано для углеродистых отложений западного обрамления Суундукского гранитного массива [8]. Золоторудные объекты, имея четкую приуроченность к зеленосланцевой фации [2], в большинстве случаев концентрируются вблизи или почти на границе с амфиболитовой фацией метаморфизма, особенно на участках с интенсивно проявленной тектонической активностью [10].

### Литература

1. Коробейников А.Ф. Особенности распределения золота в породах черносланцевых формаций // Геохимия. 1985. № 12. С. 1747–1757.
2. Сначев М.В., Сначев А.В. Прогнозные ресурсы золота в углеродистых сланцах Амурского стратиформного месторождения (Южный Урал) // Известия Уфимского научного центра РАН. 2015. № 3. С. 99–105.
3. Знаменский С.Е., Ковалев С.Г., Сначев В.И., Даниленко С.А., Знаменская Н.М., Рачев П.И. Платиноносность гипербазитовых массивов Башкирской части зоны Главного Уральского разлома // Познание, освоение и сбережение недр Республики Башкортостан. Уфа, 1994. С. 57.
4. Серавкин И.Б., Сначёв В.И. Стратиформные полиметаллические месторождения восточной провинции Южного Урала // Геология рудных месторождений. 2012. № 3. С. 20–27.
5. Сначёв А.В., Пужаков Б.А., Сначёв В.И., Рыкус М.В. Перспективы углеродистых отложений центральной части Зауральского поднятия на благородные и редкие металлы // Нефтегазовое дело. 2015. № 2. С. 123–142.
6. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимия черных сланцев. Л.: Наука, 1988. 271 с.
7. Гинзбург А.И., Фельдман Л.Г. Руководство по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. М.: ВИМС, 1982. 320 с.
8. Сначёв А.В., Сначёв В.И., Рыкус М.В. Перспективы рудоносности углеродистых отложений западного обрамления Суундукского гранитного массива // Нефтегазовое дело. 2010. Т. 8, № 2. С. 11–20.
9. Сначёв А.В., Пучков В.Н. Первые находки палладий-золото-редкометальной минерализации в докембрийских углеродистых сланцах западного

склона Южного Урала // Докл. РАН. 2010. Т. 433, № 1. С. 77–80.

10. Сначёв А.В., Рыкус М.В., Сначёв В.И. Благородные металлы в углеродистых отложениях южной части Арамилско-Сухтелинской зоны // Геологический сборник №3. Уфа, 2003. С. 180–185.

### References

1. Korobeynikov A.F. Peculiarities of gold distribution in the rocks of black shale formations. *Geokhimiya*, 1985, no. 12, pp. 1747–1757.

2. Snachev M.V., Snachev A.V. Inferred gold resources in carbonaceous shales of the Amur stratiform deposit (South Urals). *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2015, no. 3, pp. 99–105.

3. Znamensky S.E., Kovalev S.G., Snachev V.I., Danilenko S.A., Znamenskaya N.M., Rachev O.I. Platinum-bearing potential of hyperbasite massifs in the Bashkir zone of the Main Ural Fault. *Poznanie, osvoenie i sberezhenie nedr Respubliki Bashkortostan*. Ufa, 1994, p. 57.

4. Seravkin I.B., Snachev V.I. Massive sulfide polymetallic deposits of the eastern province of the South Urals. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 2012, no. 3, pp. 20–27.

5. Snachev A.V., Puzhakov B.A., Snachev V.I., Rykus M.V. Prospects of carbonaceous deposits in the central part of the Zauralsk Elevation for precious and rare metals. *Neftegazovoe delo*, 2015, no. 2, pp. 123–142.

6. Yudovich Ya.E., Ketris M.P. Geochemistry of black shales. Leningrad Nauka, 1988. 271 p.

7. Ginzburg A.I., Feldman L.G. Guidebook for evaluating solid mineral inferred resources. Moscow, VIMS, 1982. 320 p.

8. Snachev A.V., Snachev V.I., Rykus M.V. Prospects of carbonaceous deposits of the western margin of the Suunduk granite massif for ore-bearing potential. *Neftegazovoe delo*, 2010, vol. 8, no. 2, pp. 11–20.

9. Snachev A.V., Puchkov V.N. First findings of palladium-gold-REE mineralization in Precambrian carbonaceous shales on the western slope of the Southern Urals. *Doklady RAN*, 2010, vol. 433, no. 1, pp. 77–80.

10. Snachev A.V., Rykus M.V., Snachev V.I. Noble metals in carbonaceous rocks of the southern Aramil-Sukhtelinskiy Zone. *Geologicheskii sbornik*, no. 3. Ufa, 2003, pp. 180–185.

---

## INFERRED GOLD RESOURCES IN CARBONACEOUS DEPOSITS OF THE GORODISHCHE FORMATION (TRANS-URAL UPLIFT)

© A.V. Snachev, V.I. Snachev

Institute of Geology, Ufa Scientific Centre, RAS,  
16/2, ulitsa K. Marksa, 450077, Ufa, Russian Federation

This paper considers the geological structure of the Gorodishche Formation developed in the western Trans-Ural Uplift. Carbonaceous deposits represented widely in its composition were tested for gold. In black shale formations of the Gorodishche Formation along the valley of the Osipovskiy Log rivulet, gold content up to 27 g/t was found to be confined to highly dislocated sulphidized and silicified rocks crossed by gabbro dykes. At a distance of 7 km northwards along the strike of the formation on the bank of the Sanarka river in the carbonaceous deposits intruded by plagiogranitic dykes, gold content was determined up to 7.7 g/t, suggesting the presence of a single zone of gold mineralization. This made it possible to calculate the inferred gold resources according to the P<sub>2</sub> category and recommend this zone for further exploration and evaluation. The Osipovska gold occurrence is the first site identified in the carbonaceous deposits of the Trans-Ural Uplift.

Key words: Trans-Ural Uplift, carbonaceous shales, gold, inferred resources, Gorodishche Formation, metamorphism.

УДК 556.31:553.98

**ФОРМИРОВАНИЕ И ВОЗРАСТ РАССОЛОВ ВОЛГО-УРАЛЬСКОГО БАСЕЙНА  
В СВЯЗИ С НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬЮ**

© В.Г. Попов

Освещена проблема современной генетической гидрогеохимии и нефтегазовой гидрогеологии: выяснение природы и возраста рассолов, занимающих доминирующее положение в гидростратисфере эпикарельских платформ. На базе большого количества (>500) определений макро- и микроэлементов выполнена геохимическая типизация рассолов Волго-Уральского нефтегазоносного бассейна и изложены представления автора по поводу их формирования и происхождения. Генезис пластовых рассолов хлоркальциевого типа связывается с процессами метасоматической доломитизации известняков палеозоя и докембрия. Она осуществлялась в ходе плотностной конвекции хлормагнезовой маточной рапы из нижнепермского эвапоритового палеоводоёма в подстилающие карбонатные комплексы. Эпигенетический характер хлоркальциевых рассолов нефтегазоносных комплексов подтверждается гидрогеохронологическими оценками, выполненными кинетико-геохимическим методом. Дана интерпретация геохимико-генетической информации, в результате чего получен вывод о вероятном участии Урала в нефтегазоносности Предуралья. Исследования в области рассольной проблематики важны не только в теоретическом отношении, но и для решения целого ряда прикладных задач. С хлоркальциевыми рассолами связаны нефтегазовые скопления.

Ключевые слова: Волго-Уральский бассейн, рассолы, формирование, происхождение, возраст, нефтегазоносность.

**Введение.** Волго-Уральский нефтегазоносный бассейн (НГБ) расположен в восточной краевой части Восточно-Европейской платформы и в тектоническом отношении отвечает Волго-Уральской антеклизе и Предуральскому прогибу. Кристаллический фундамент архея – раннего протерозоя залегает на глубинах от 1–2 км на сводовых поднятиях (Токмовском, Татарском, Жигулевско-Пугачевском и др.) до 5–8 км и более в тектонических депрессиях (Верхнекамской, Соликамской, Бельской, Серноводско-Абдуллинской и др.). Основную роль в разрезе на большей части НГБ играет палеозойский структурный этаж, представленный в основном карбонатными, в меньшей степени терригенными и галогенными осадками средней мощностью 2.0–2.5 км. В соответствии с покровно-надвиговой концепцией строения Урала [1] платформенные формации палеозоя из Предуральского прогиба прослеживаются далеко на восток в область Центрально-Уральского под-

нятия, где залегают под аллохтонными пакетами более древних, в том числе архей-протерозойских образований.

В палеозойском этаже выделяются до 7 нефтегазоносных комплексов (НГК), сложенных карбонатными и терригенными породами. Наиболее крупные месторождения нефти (Ромашкинское, Туймазинское, Арланское и др.) связаны с терригенными комплексами среднего – верхнего девона (I) и нижнего карбона (III). На территории Волго-Уральской антеклизы они вскрываются на глубинах соответственно 1.1–1.3 и 1.6–1.8 км, а в Предуральском прогибе – до 3 км и более (рис. 1).

По данным [2], I и III терригенные НГК содержат 86% первоначальных запасов нефти. На долю остальных, преимущественно карбонатных НГК приходится 14% запасов. Выделены 33 зоны нефтегазоаккумуляции, из них 8 находятся в Предуральском прогибе и 25 – в собственно платформенной части. Причем из 20 зон нефтегазоаккумуляции I НГК 18

ПОПОВ Владимир Георгиевич – д.г.-м.н., Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ), e-mail: popovvg@novoch.ru

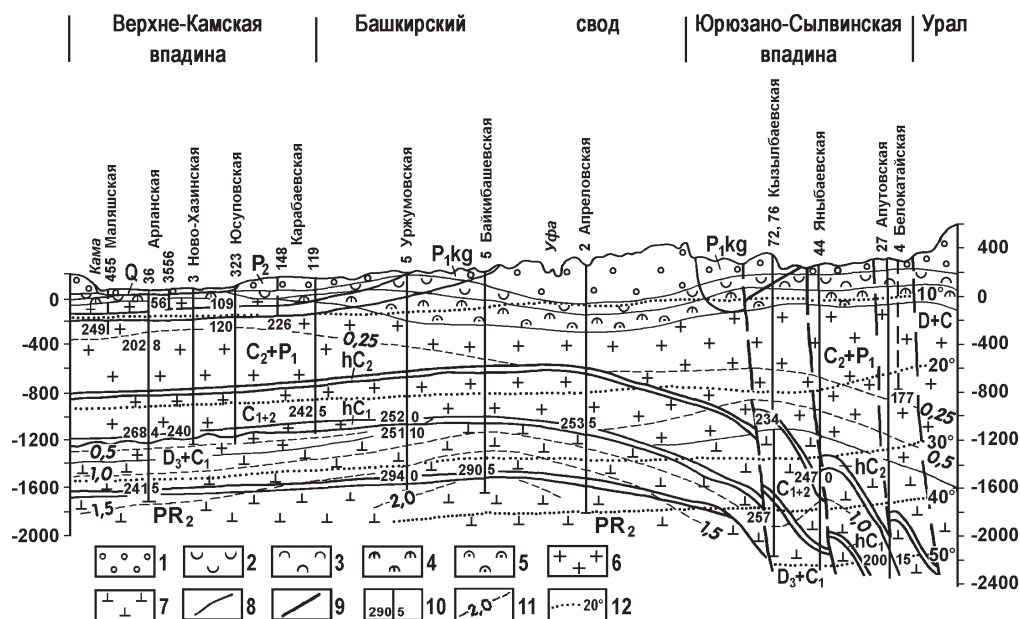


Рис. 1. Гидрогеохимический разрез Среднего Предуралья: 1–7 – химический состав и М подземных вод (г/дм<sup>3</sup>): 1 – HCO<sub>3</sub> (< 1), 2 – SO<sub>4</sub>-Ca (1–3), 3 – SO<sub>4</sub>-Na (3–15), 4 – SO<sub>4</sub>-Cl-Ca-Na (3–10), 5 – SO<sub>4</sub>-Cl-Ca-Na и Cl-Na (10–36), 6 – Cl-Na (36–310), 7 – Cl-Ca-Na (250–330); 8 – гидрогеохимическая граница; 9 – стратиграфическая граница; 10 – скважина. Цифры: слева – М (г/дм<sup>3</sup>), справа – содержание Γ (мг/дм<sup>3</sup>), наверху номер скважины и название нефтеразведочной площади; 11 – изолиния содержания Br<sup>-</sup> (г/дм<sup>3</sup>); 12 – геоизотерма

совпадает с таковыми III НГК и 10 – карбонатных отложений верхнедевонско-турнейского НГК (II). Сделано заключение, что только I НГК, в сложении которого наиболее развиты обогащенные ОВ глинистые породы, является базовым нефтематеринским. В нем в результате процессов термоллиза и термокатализа *in situ* произошла генерация первичных (сингенетичных) газообразных и жидких битумоидов. Большое значение в образовании месторождений Татарского свода отводится глубокой (до 7 км) Бузулукской впадине, откуда УВ по проницаемым пластам девона мигрировали на север, последовательно заполнив ловушки Шкаповской, Туймазинской, Бавлинской и Ромашкинской структур.

I НГК признан главным поставщиком УВ для всей вышележащей толщи палеозоя, в том числе для III НГК (коллекторы которого сложены аллювиальными песчаниками). Вертикальная межрезервуарная миграция УВ, вызвавшая формирование многопластовых месторождений, произошла по зонам тектонических нарушений и другим дефектам в флюидоупорах за счет главным образом силы всплывания. В субэаральный этап развития

НГБ квазизастойный гидрогеодинамический режим в I–III НГК обеспечил сохранность нефтегазовых скоплений.

Иная точка зрения на природу нефти в терригенном девоне и нижнем карбоне изложена в [3]. Согласно ей, формирование крупнейших зон нефтенакопления в девоне (Ромашкино-Шкаповской) и нижнем карбоне (Арлаво-Дюртюлинской) следует отнести за счет дальней (> 250–300 км) латеральной миграции УВ из юго-восточных районов платформы и Бельской впадины, где в погруженных частях осадочного чехла (2–4 км) *PT*-параметры были достаточными для органического синтеза УВ. Важная роль в миграционных процессах отводится силам всплывания и гидравлического напора с передовых складок Урала. Как и в [2], допускается «подпитка» девонского НГК первичными УВ терригенного венда.

В этих и некоторых других концепциях сугубо «плитного» образования УВ, несмотря на их принципиальные различия, не учитываются возможности поступления УВ из недр складчато-надвигового пояса Урала. В любом случае, подземные воды (включая литогенные

и конденсатогенные растворы) и УВ в различных фазовых состояниях представляют собой единую пространственно и генетически взаимосвязанную газовой-жидкую флюидную систему, вследствие чего играют важную (часто определяющую) роль в процессах генерации, миграции и аккумуляции УВ.

#### Геохимическая типизация рассолов.

Рассолы занимают > 95% массы подземной гидросферы Волго-Уральского НГБ. По условиям залегания и геохимическим особенностям они представлены тремя основными типами: 1) Cl-Na-Mg, -Mg, -Ca-Mg (минерализация М 340–420 г/дм<sup>3</sup>) меж- и внутрисолевыми, представляющими в разной степени метаморфизованную маточную рапу нижнепермского солеродного палеоводоема; 2) Cl-Na (М 36–320 г/дм<sup>3</sup>) над- и подсолевыми инфильтрационно-диффузионного выщелачивания галитовой фазы галогенеза, заключенными преимущественно в карбонатных отложениях нижней перми, верхнего и среднего карбона; 3) Cl-Ca-Na, -Na-Ca (М 200–330 г/дм<sup>3</sup>), образующими в подсолевых НГК нижнего карбона, девона и венда выдержанную геохимическую зону, мощность которой во впадинах фундамента, вероятно, достигает 5–7 км и более.

Хлоркальциевым рассолам свойственны высокая метаморфизация ( $r_{Na/rCl}$  0.1–0.7,  $CaCl_2$  до 50%), низкая сульфатность ( $r_{SO_4 \cdot 100/rCl}$  0.02–0.7), обогащенность Br<sup>-</sup> (до 2.2 г/дм<sup>3</sup>), Sr<sup>2+</sup> (до 1.2 г/дм<sup>3</sup>), Li<sup>+</sup> (до 0.035 г/дм<sup>3</sup>), Rb<sup>+</sup> (до 0.02 г/дм<sup>3</sup>), Cs<sup>+</sup> (до 0.001 г/дм<sup>3</sup>), кислая реакция среды (рН 4–6), отрицательные значения Eh (до –300 мВ), N<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub> газовый состав. Концентрация I<sup>-</sup> обычно не превышает 20 мг/дм<sup>3</sup>. Коэффициент Cl/Br рассолов снижается до 160–75, а гMg/гCa до 0.05. Формирование этих своеобразных жидких руд, обогащенных целым рядом галофильных элементов и редких щелочных металлов, является одной из наиболее важных и не менее дискуссионных проблем современной генетической гидрогеохимии и нефтяной гидрогеологии.

**Формирование хлоркальциевых рассолов.** В истории палеозойского развития Волго-Уральского НГБ выделяется несколько гидрогеологических циклов, в которых этапы

седиментационного режима по продолжительности намного превосходят инфильтрационные. Это способствовало накоплению и сохранению в терригенно-карбонатных толщах морского происхождения формационных Cl-Na слабых рассолов, испытавших некоторое влияние атмогенных вод. Однако главную роль в формировании литолого-геохимического состояния гидростратисферы сыграли события раннепермской эпохи.

В это время на востоке Русской плиты возникла и длительное время функционировала гравитационно неустойчивая в поле силы тяжести Земли гидрогеодинамическая система, энергетическое состояние которой определялось градиентом плотности воды ( $\rho$ ) поверхностной и подземной гидросфер. Поверхностная часть системы была представлена эвапоритовым бассейном с крепкими (М до 400–500 г/дм<sup>3</sup>) тяжелыми ( $\rho_1$  до 1.30–1.37 г/см<sup>3</sup>) Cl-Na-Mg рассолами, а подземная – карбонатными, меньше терригенными породами с менее минерализованными (М 30–150 г/дм<sup>3</sup>) и более легкими ( $\rho_2$  1.02–1.13 г/см<sup>3</sup>) водами.

Восточно-Европейский раннепермский солеродный мегабассейн являлся уникальным по размерам и полноте галогенеза палеоводоемом. В современных границах он простирается на расстояние около 2500 км от Баренцева моря на севере до Каспия на юге и включает Печорский, Волго-Уральский и Прикаспийский бассейны общей площадью > 1.5 млн км<sup>2</sup>. За счет сгущения морской воды в нем с ростом М и  $\rho$  последовательно осаждались карбонатные осадки, гипсы, каменная, калийные, магниевые соли (рис. 2).

Скорость плотностной концентрационной конвекции  $U_p$  из солеродного бассейна описывается уравнением:

$$U_p = K_z \cdot I_p / n,$$

где  $K_z$  – коэффициент фильтрации пород в вертикальном направлении, м/сут;  $I_p$  – вертикальный градиент плотностной конвекции;  $n$  – активная пористость породы. Величина  $I_p$  определяется отношением  $I_p = \rho_1 - \rho_2 / \rho_2 = \Delta\rho / \rho_2$  ( $\rho_1$  и  $\rho_2$  – плотности соответственно тяжелой и легкой жидкостей, г/см<sup>3</sup>). При  $K_z$  карбонатных пород 10<sup>-4</sup> м/сут, пористости  $n = 0.05$ ,



$\rho_1 = 1.13 \text{ г/см}^3$ ,  $\rho_2 = 1.05 \text{ г/см}^3$  ( $I_p = 0.076$ ), величина  $U_p \cong 5 \text{ см/год}$ . Это значит, что подсолевая толща мощностью 2000 м была заполнена рассолами солеродного бассейна за 40 тыс. лет. Количество маточной рапы только в кунгурском палеобассейне с избытком хватает для заполнения порово-трещинного пространства подсолевых комплексов палеозоя и протерозоя [4].

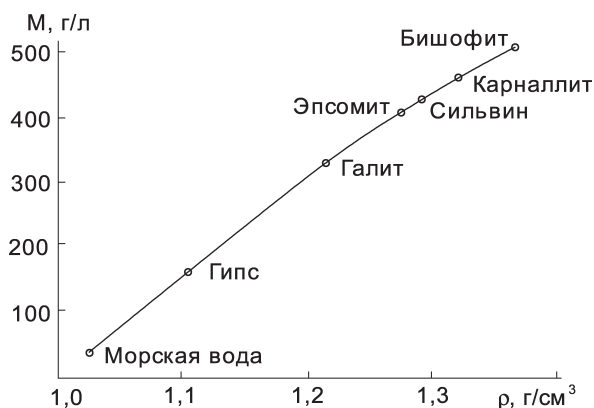


Рис. 2. Последовательность осаждения солей при прогрессивном морском галогенезе

Важно подчеркнуть, что процессы плотностной конвекции не носили разовый характер, а протекали с перерывами на протяжении всей нижнепермской эпохи, т.е. миллионы лет. Интенсивность их была различной в связи с непостоянством гидрохимического режима ассельско-кунгурских лагунно-морских водоемов. Тем не менее, учитывая целый ряд факторов (в т.ч. тенденцию роста  $M$  и  $\rho$  во времени), следует полагать, что подсолевая толща претерпела неоднократное воздействие гравитационно-рассольного водообмена. При этом заключенные в ней формационные воды неизбежно должны быть вытеснены в солеродный бассейн и участвовать в галогенезе. Вместе с тем подвижные сульфатсодержащие солеродные рассолы, несущие химически связанный кислород, не могли не вызвать механическую и химическую деструкцию ранее образовавшихся УВ-скоплений.

Погружение Cl-Na-Mg рассолов – жидкой фазы пермского солеродного бассейна – сопровождалось их метаморфизацией при взаимодействии с породами палеозоя и позднего протерозоя и изменением состава самих пород в результате доломитизации, альбитизации,

анальцимизации, обменной адсорбции и других процессов. Главная роль из них принадлежит эпигенетической доломитизации известняков, ведущей к образованию Cl-Na-Ca рассолов:  $2\text{CaCO}_3$  (известняк) +  $\text{MgCl}_2$  (рассол) =  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$  (доломит) +  $\text{CaCl}_2$  (рассол). Концентрация  $\text{Mg}^{2+}$  в маточных рассолах достигает  $110 \text{ г/дм}^3$  ( $rMg/rCa$  200–360), поэтому они обладают очень высокой доломитизирующей способностью. Важно указать, что процессы доломитизации сопровождаются также ростом пористости (на 10–12%) и особенно проницаемости (в десятки раз) карбонатных пород.

Вторичные доломиты развиты в карбонатных толщах нижней перми, карбона, девона и рифея. В них установлены явные черты вторичных изменений: замещение кальцита доломитом, непостоянство степени доломитизации, ее селективный характер и пр. Суммарная мощность доломитизированных известняков в разных частях НГБ изменяется от 160 до 400 м, что составляет 20–30% от мощности палеозойской толщи. Содержание  $\text{Mg}^{2+}$  в них достигает 10% (в чистом хемогенном доломите 13.2%). Причем степень доломитизации известняков обычно снижается с глубиной по мере исчерпания геохимического потенциала рассолов.

Литолого-фациальный анализ карбонатных толщ и балансовые расчеты в системе «Cl-Ca рассол – эпигенетический доломит» показали соответствие масс  $\text{Ca}^{2+}$  в рассолах и  $\text{Mg}^{2+}$  во вторичных доломитах. Следовательно, количества  $\text{Ca}^{2+}$ , высвобождающегося из  $\text{CaCO}_3$  при метасоматических процессах, вполне достаточно для образования Cl-Ca рассолов в чехле бассейна. Причем наиболее метаморфизованные рассолы имеют очень низкую величину отношения  $rMg/rCa$  (0.05–0.2). Эти данные, а также результаты термодинамического анализа доломитизирующей способности рассолов различных геохимических типов [4] указывают на давно завершившийся процесс ионного обмена  $\text{Ca}^{2+}$  известняков на  $\text{Mg}^{2+}$  рассолов.

Что касается гидrolитических и обменно-адсорбционных процессов, то они, в связи с ограниченным развитием терригенных

пород в палеозое и крайне низкими ионообменными свойствами, обычно не играют существенной роли в формировании Cl-Ca рассолов [4]. В этой связи возникает вопрос об их природе в соленосной формации Соликамской депрессии. Полагаем, что источником  $\text{Ca}^{2+}$  (до 42 г/дм<sup>3</sup> или 30%) являются, как это не парадоксально, гидrolитические процессы в галопелитовом веществе, залегающем в виде прослоев и линз среди солей. Высокий метаморфизирующий эффект гидролиза объясняется крайне малым количеством рассолов в солях, поэтому содержания  $\text{Ca}^{2+}$  в алюмосиликатах оказалось вполне достаточным для их метаморфизации.

**Абсолютный возраст и происхождение рассолов.** Долгое время практически единственным методом оценки абсолютного возраста древних подземных вод ( $n=100$  и млн лет) был гелий-аргоновый метод В.П. Савченко [5] и его модификации (А.Л. Козлов, А.И. Коротков и А.Н. Павлов, Н.М. Кругликов и др.). А.Н. Резниковым [6] был предложен принципиально иной кинетико-геохимический метод определения возраста рассолов и соленых вод, основанный на изучении процесса замещения магния и натрия жидкой фазы кальцием, поступающим из вмещающих пород. Расчетная формула имеет следующий вид:

$$\tau_{\theta} = A_{\theta} \times \frac{\lg M \times \varepsilon_{\tau}}{\varepsilon_{\beta}} \times \lg \frac{30}{\theta} \times 10^{1000/T},$$

где  $\tau_{\theta}$  – возраст рассолов, млн лет;  $A_{\theta}$  – поправочный коэффициент, величина которого увеличивается с ростом пластовой  $T$ ;  $M$  – минерализация рассолов, г/дм<sup>3</sup>;  $\varepsilon_{\tau}$  и  $\varepsilon_{\beta}$  – экспоненциальные геохронотерма и хронобарический градиент – комплексные параметры, учитывающие особенности геотермической и барической истории водоносного комплекса.

Главный параметр, ответственный за возраст рассолов, – катионный коэффициент  $\theta$ , отражающий степень метаморфизации вод:  $\theta = (r\text{Na}+r\text{Mg})/r\text{Ca}$ . Использование этого соотношения базируется на положении, что формирование рассолов Cl-Ca типа происходит в результате обменно-абсорбционных процессов между Cl-Na-Mg рассолами, с одной стороны,

и карбонатно-терригенными породами – с другой. Эти процессы – метасоматическая доломитизация известняков, альбитизация полевошпатовых пород и другие – протекают по внутридиффузионной кинетике (т.е. затрагивают не только поверхность, но и кристаллическую решетку минералов), вследствие чего реализуются в масштабах геологического времени. В связи с этим величина  $r\text{Mg}/r\text{Ca}$  рассолов закономерно снижается по мере увеличения их возраста: в исследуемом регионе – от 3.0 до 0.1 [4].

Рассмотрим гидрогеохронологические оценки по результатам химических анализов > 500 проб рассолов различных НГК Волго-Уральского НГБ.

Вендский терригенный НГК вскрыт на глубине 1.8–4.5 км и вмещает рассолы с  $M$  190–260 г/дм<sup>3</sup>, содержанием  $\text{CaCl}_2$  до 52%. Для них величина  $\theta$  составляет 1.1–2.2,  $\tau_{\theta}$  – 234–330 млн лет при возрасте пород > 570 млн лет, что может быть объяснено влиянием вод вышележащих НГК.

Рассолы терригенного средне-верхнедевонского и карбонатного франско-турнейского НГК (I и II) опробованы на глубинах 1.6–2.6 км. Рассолы этих НГК имеют близкий геохимический облик, но в пределах различных геологических структур  $M$  и метаморфизация рассолов испытывают большие флуктуации:  $M$  147...310 г/дм<sup>3</sup>,  $\text{CaCl}_2$  1...52%. Поэтому величина  $\theta$  колеблется в пределах 0.9–6.7, а  $\tau_{\theta}$ , соответственно, – 10 и–340 млн лет. Наиболее «молодые», преимущественно азотные рассолы, испытавшие сильное влияние инфильтрационных вод, свойственны Токмовскому и Камскому сводам, северной вершине Татарского свода, местами Предуральскому прогибу. В них доля инфильтрационной составляющей достигает 80%. В то же время сильно метаморфизованные  $\text{N}_2$ - $\text{CH}_4$  ( $\text{CH}_4$ ) рассолы возрастом до 340 млн лет тяготеют к южным вершинам Пермско-Башкирского и Татарского сводов. Обычно же Cl-Ca рассолы указанных НГК имеют возраст, близкий к раннепермскому (200–250 млн лет), что служит еще одним аргументом в пользу ведущей роли галогенеза и плотностной конвекции в их образовании, т.е. их седиментогенно-эпигенетической природы.

Вверх по разрезу палеозоя наблюдается закономерное снижение возраста рассолов. Так, если в терригенном нижнекаменноугольном НГК (III) он достигает 160–215 млн лет, то в карбонатном ниже-среднекаменноугольном (визейско-башкирском) и терригенно-карбонатном среднекаменноугольном (верейском) обычно < 140–60 млн лет, а в карбонатном среднекаменноугольно-нижнепермском < 50 млн лет. В этих смешанных по происхождению рассолах количество инфильтрационных вод увеличивается от 10–20% на глубинах 1.3–2.1 км до 80–90% на 0.5–1.0 км. Среди растворенных  $\text{CH}_4$ - $\text{N}_2$  газов присутствует  $\text{H}_2\text{S}$ , генетически связанный с биохимическими процессами в карбонатных породах. Внедрение инфильтрационных вод, вызвавшее «омоложение» рассолов и появление в них  $\text{H}_2\text{S}$ , произошло в мезозое-кайнозое, когда был сформирован структурный план бассейна, близкий современному.

Абсолютный возраст весьма крепких (М до 420 г/л) Cl-Ca-Mg рассолов, находящихся в изолированном состоянии в кунгурской соленосной толще, составляет 160–240 млн лет. Эта претерпевшая метаморфизацию реликтовая маточная рапа эвапоритового бассейна заведомо сингенетична вмещающим ее солям. Наблюдающиеся в ряде случаев различия возраста рассолов и солей связаны с кинетикой абсорбционных реакций в алюмосиликатных глинистых породах, залегающих в виде прослоев и линз среди эвапоритов. Они контролируют величину катионного коэффициента  $\theta$  и абсолютный возраст рассолов  $\tau_\theta$ .

Зависимость между  $\tau_\theta$  и  $\theta$  имеет гиперболический характер (рис. 3). Как видно, резкое снижение  $\tau_\theta$  (340...140 млн лет) происходит в области  $\theta$  0.9...4.8, после чего  $\tau_\theta$  уменьшается постепенно (до 20 млн лет) при значительном росте  $\theta$  (до 23).

Приведенные данные определенно указывают на эпигенетическую природу Cl-Ca рассолов Волго-Уральского бассейна и преимущественно вторичный характер залежей нефти и газа в терригенных и карбонатных коллекторах палеозоя. Заполнение платформенных ловушек, расположенных на пути латеральной миграции

УВ, произошло, вероятнее всего, в неотектонический ( $\text{N}_2$ -Q) этап развития региона. Главным событием его стало окончательное становление Урала под влиянием покровно-надвиговой тектоники, определившей структуру орогена как сложного сочетания аллохтонных пакетов, перекрывших осадочные толщи субплатформенного палеозоя. Типичны в этом отношении Зилаирский синклинорий и Баширский антиклинорий Центрально-Уральского поднятия, где в автохтоне залегают субплатформенные осадки силура, девона и карбона, а в аллохтоне – в первом случае зилаирский флиш, во втором – метаморфические комплексы рифея [1].

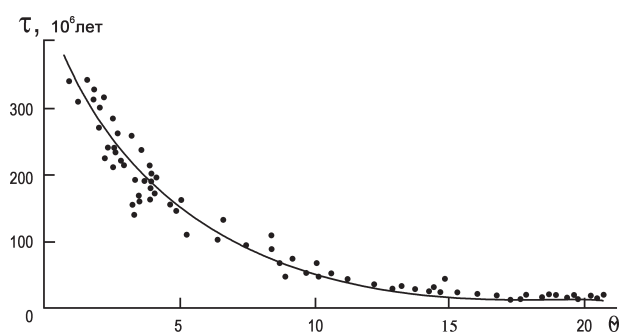


Рис. 3. Связь между  $\tau_\theta$  и  $\theta$

Таким образом, платформенные формации палеозоя продолжают далеко на восток под аллохтонными пластинами Урала. Наличие в субплатформенном палеозое орогена потенциально газогенерирующих пород (афонинский горизонт среднего девона и др.), газовых скоплений ( $\text{CH}_4$  88.5–92.2%) в Зилаирском синклинории, газопроявлений в зоне сочленения Юрюзано-Сьвенской депрессии с Уфимским амфитеатром предопределяют миграцию УВ с Урала в область Предуральского прогиба. К тому же, в палеозойских и рифейских отложениях Центрально-Уральского поднятия установлены глубинные соленые воды и рассолы седиментогенно-эпигенетического облика [7].

Процессы УВ-дегазации глубоких недр орогена протекают и в современную эпоху. Об этом, в частности, свидетельствует обнаружение в верхнедевонско-турнейском НГК внутренней тектонически нарушенной зоне Соликамской депрессии конденсатогенных вод, не уничтоженных процессами конвекционно-диффузионного обмена веществом с пласто-

выми рассолами и породами. С ними ассоциируются молодые и, надо полагать, восполняемые газоконденсатные и газонефтяные залежи [8]. Процессы генерации газообразных УВ и подземного испарения воды протекают здесь на глубинах 5–7 км в девонско-вендских отложениях Урала и сопредельной части депрессии, где  $T > 100^{\circ}\text{C}$ , а  $P > 50$  МПа. Отсюда из зоны газообразования по флюидопроницаемым дизъюнктивным нарушениям происходит струйная миграция значительных количеств водоуглекислотных смесей на глубину  $\cong 2$  км в франско-турнейский рифогенный комплекс ( $T = 30\text{--}40^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 20\text{--}25$  МПа), экранированный толщей визейских глин.

Судя по всему, конденсатогенные воды распространены и в южной (Бельской) части Предуральяского прогиба, имеющей большое сходство с Соликамской депрессией. Однако здесь они не изучены, поскольку при интерпретации гидрогеохимической информации, полученной в ходе нефтегазопроисловых работ, эти воды были отнесены или к инфильтрогенным, или к техногенным растворам, используемым при бурении скважин, и, таким образом, незаслуженно выпали из поля зрения исследователей.

Образование УВ залежей при участии процессов глубинной дистилляции-конденсации воды подтверждаются также результатами исследования физико-химических свойств нефтей [9]. Оказалось, что именно к предгорной части Соликамской депрессии и передовым складкам Урала приурочены не претерпевшие заметных гипергенных изменений наиболее легкие ( $\rho 0.629\text{--}0.749$  г/см<sup>3</sup>) нефти нафтеново-метанового типа, с меньшим содержанием серы, смол, асфальтенов, большим содержанием бензиновых фракций и газосодержанием (110–321 м<sup>3</sup>/т). В нефтях практически отсутствуют металлопорфирины (ванадиевые и никелевые комплексы) и отношение пристан/фитан в составе изопреноидных УВ достигает максимальных значений ( $> 2\text{--}3$ ). Все это объясняется участием процессов конденсатообразования в формировании залежей УВ в условиях более высоких стадий катагенетических преобразований нефтегазоматеринских пород.

В расположенных к западу районах Волго-Уральского НГБ, не затронутых глубинными конденсатогенными процессами, нефти верхнедевонско-турнейского НГК более тяжелые ( $\rho 0.733\text{--}0.819$  г/см<sup>3</sup>), с меньшим газосодержанием (64–97 м<sup>3</sup>/т), часто высокопарафиновые (до 7.31%), сернистые (до 1.64%), смолистые (до 13.92%). Такие же закономерности в распределении физико-химических свойств нефтей свойственны и вышележащим нижне-средневизейскому терригенному и верхневизейско-башкирскому карбонатному НГК.

К этому надо добавить, что в Волго-Уральском НГБ размещение скоплений УВ различного фазового состояния носит зональный характер. В многопластовых месторождениях нефтяные залежи всегда приурочены к нижней (преимущественно терригенной) части разреза, а нефтегазовые и газовые – к верхней (в основном карбонатной) части. В восточном направлении с приближением к Уралу газонасыщенность УВ залежей растет, что ведет к последовательной смене чисто нефтяных месторождений нефтегазовыми, газовыми и газоконденсатными. Не случайно многие месторождения с газовой спецификой расположены в зоне сочленения прогиба с орогеном (Апатовское, Саратовское, Исимовское, Беркутовское, Маговское, Цепельское и др.).

**Выводы.** Доминирующие в гидростратиффере Волго-Уральского НГБ Cl-Ca рассолы генетически связаны с процессами плотностной конвекции Cl-Na-Mg маточной рапы из нижнепермского эвапоритового палеодома в подстилающие толщи палеозоя и позднего протерозоя. Конвективное погружение солеродных рассолов в терригенно-карбонатную среду сопровождалось их метаморфизацией за счет обменно-абсорбционных процессов. Главная роль из них принадлежит метасоматической доломитизации известняков. Эпигенетический характер Cl-Ca рассолов подтверждается гидрогеохронологическими оценками, полученными кинетико-геохимическим методом: в основной массе они имеют раннепермский возраст.

Результаты выполненных литолого-геохимических исследований свидетельствуют

о послепермском образовании скоплений УВ в Предуральском прогибе и сопредельной части Волго-Уральской антеклизы. Они могут быть истолкованы в пользу участия в формировании нефтегазового потенциала Предуралья УВ, образующихся не только *in situ*, но и уральского происхождения, мигрирующих из глубокопогруженных автохтонных субплатформенных формаций палеозоя в неотектонический ( $N_2-Q$ ) этап развития орогена.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
2. Лозин Е.В. Глубинное строение и нефтегазоносность Волго-Уральской области и смежных территорий // Литология. 2002. № 3. С. 46–68.
3. Гидрогеологические условия формирования и размещения нефтяных и газовых месторождений Волго-Уральской области. М.: Недра, 1973. 280 с.
4. Попов В.Г., Абдрахманов Р.Ф. Ионообменная концепция в генетической гидрогеохимии. Уфа: Гилем, 2013. 356 с.
5. Савченко В.П. К вопросу о геохимии гелия // Природные газы. 1935. № 9. С. 53–109.
6. Резников А.Н. Определение возраста рассолов и соленых вод кинетико-геохимическим методом // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1989. №1. С. 120–129.
7. Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г., Пучков В.Н. Геохимические особенности и происхождение глубинных газово-жидких флюидов Урала // ДАН. 2013. Т. 452, № 1. С. 70–74.
8. Попов В.Г., Абдрахманов Р.Ф. Геохимия и генезис опресненных рассолов верхнедевон-турней-

ского нефтегазоносного комплекса Соликамской впадины // Геология нефти и газа. 2015. № 5. С. 70–79.

9. Фрик М.Г. Закономерности распределения иномаркеров в нефтях и нефтематеринских породах // А.О. Геоинформмарк. 1995. Вып. 4. 42 с.

#### References

1. Puchkov V.N. Geology of the Urals and Cis-Urals (actual problems of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny). Ufa, DizaynPoligraf-Servis, 2010. 280 p.
2. Lozin E.V. Deep structure and petroleum potential of the Volga-Ural basin and adjacent areas. Litologiya, 2002, no. 3, pp. 46–68.
3. Hydrogeological conditions for the formation and distribution of oil and gas deposits in the Volga-Ural Region. Moscow, Nedra, 1973. 280 p.
4. Popov V.G., Abdrakhmanov R.F. The ion exchange concept in genetic aqueous geochemistry. Ufa, Gilem, 2013. 356 p.
5. Savchenko V.P. On the problem of helium geochemistry. Prirodnye gazy, 1935, no. 9, pp. 53–109.
6. Reznikov A.N. Age determination of brines and salt waters using the kinetic geochemical method. Izvestiya Akademii nauk SSSR. Ser. Geologiya, 1989, no. 1, pp. 120–129.
7. Abdrakhmanov R.F., Popov V.G., Puchkov V.N. Geochemical features and origin of deep-seated gas liquids in the Urals. Doklady Earth Sciences, 2013, vol. 452, no. 1, pp. 70–74.
8. Popov V.G., Abdrakhmanov R.F. Geochemistry and genesis of demineralized brines of the Upper Devonian-Tournaisian oil and gas complex in the Solikamsk depression. Geologiya nefi i gaza, 2015, no. 5, pp. 70–79.
9. Frik M.G. Regular features in the distribution of allogenic markers in oils and parent rocks. AO Geoinformmark. Obzor, no. 4. Moscow, 1995. 42 p.

## BRINE FORMATION AND AGE IN THE VOLGA-URAL BASIN IN RELATION TO OIL AND GAS CONTENT

© V.G. Popov

South-Russian State Technical University, Novocherkassk,  
132, ulitsa Prosveshcheniya, 346428, Novocherkassk, Russian Federation

The paper considers the issues of modern genetic hydrogeochemistry and petroleum hydrogeology and is intended to clarify the nature and age of the brines that occupy a dominant place in the hydrostratisphere of the epi-Karelian platforms. On the basis of a large number (>500) of macro and microelements, it gives a geochemical typization of brines in the Volga-Ural oil and gas basin and outlines the author's ideas about their formation and origin. The genesis of layered calcium chloride brines is associated with metasomatic dolomitization of Paleozoic and Precambrian limestones occurred during density convection of magnesium chloride mother brine from the Lower Permian evaporitic paleo-reservoirs into the underlying carbonate complexes. The epigenetic nature of calcium chloride brines in the oil and gas complexes is confirmed by hydrogeochronological assessments using the kinetic geochemical method. An interpretation of the obtained geochemical genetic information makes it possible to conclude about the likely contribution of the Urals to the oil and gas potential of the Cis-Urals. The research studies on brines are important both in the theoretical and applied aspects, since oil and gas accumulations are associated with calcium chloride brines.

Key words: Volga-Ural basin, brines, formation, origin, age, oil and gas potential.

## ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕСУРС «ИСЛАМ НА ЮЖНОМ УРАЛЕ»

© А.Б. Юнусова

Представлены результаты анализа пространственных и атрибутивных данных о мусульманских объектах в Республике Башкортостан, Оренбургской и Челябинской областях, собранных при проведении полевых исследований в ходе разработки интерактивного электронного ресурса «Ислам на Южном Урале». Собранные данные показывают численность и распределение мечетей между духовными управлениями, количество объектов поклонения мусульман, мусульманских учебных заведений, халяль-предприятий в регионах по состоянию на 2015–2016 гг. Представленные данные могут отличаться от официальной статистики Министерства юстиции Российской Федерации.

Ключевые слова: ислам, Башкортостан, Челябинская область, Оренбургская область, духовное управление, мечеть, объект поклонения, ГИС.

Современные гуманитарные исследования широко применяют цифровые технологии и во многом опираются на создание предметно-ориентированных баз данных с многовариантным их использованием. Созданные базы данных по культовым зданиям, приходам, духовенству, памятникам культуры – основа для разработки геоинформационных систем по истории духовной культуры, религиоведению, этнологии. Преимущества компьютерного картографирования оценили еще в конце 80-х гг. прошлого века [1]. В 1994 г. во Флоренции проходит специальный международный семинар, посвященный этой проблеме, на котором были подведены некоторые итоги применения ГИС в исторических исследованиях. За рубежом геоинформационные системы разрабатываются во всех областях гуманитарных наук. Как правило, они двуязычные, что обеспечивает широкую доступность. Примерами могут служить ГИС «Культурный атлас Австралии» – интерактивная цифровая карта Австралии, в которую включены фото- и видеоматериалы, музыка, исторические описания, литературные произведения и др. (<http://australian-cultural-atlas.info/CAA>); ГИС «Фольклор Дании» – двуязычная электронная карта, отражающая образцы фольклорной культуры и исследования в этой области (<http://projects.cdih.ucla.edu/danishfolklore/bin/index.htm>); China Historical GIS, в котором представ-

лены важнейшие события истории Китая (<http://www.fas.harvard.edu/~chgis/>). Справедливо будет подчеркнуть, что научный интерес российских исследователей в области цифровой истории главным образом мотивирует, поддерживает и удовлетворяет возглавляемая чл.-корр. РАН Л.И. Бородкиным Ассоциация «История и Компьютер» (АИК) и издаваемые этой ассоциацией бюллетени. Л.И. Бородкиным созданы первые учебники по исторической информатике, картографированы миграционные процессы в России первой половины XX в. [2], разработаны виртуальные модели реконструкции монастырских комплексов Москвы [3].

Актуальность визуального представления ислама и его институтов в виде геоинформационной системы обусловлена необходимостью: а) обеспечения доступности информации о сложном этноконфессиональном составе населения Южного Урала; б) получения новых гуманитарных знаний в области социально-культурной антропологии; в) задачами обеспечения духовной безопасности России.

Изучение ислама в контексте современного развития мусульман России и религиозного многообразия Южного Урала предполагает, наряду с традиционными методами религиоведения и антропологии, создание геоинформационных систем (ГИС), то есть использование геоинформаци-

ЮНУСОВА Айслу Биаловна – д.и.н., Институт этнологических исследований им. Р.Г. Кузеева Уфимского научного центра РАН, e-mail: [aby\\_02@mail.ru](mailto:aby_02@mail.ru)

онных технологий и анализа пространственных данных [4]. ГИС как инструмент количественных подсчетов эффективен для хранения и управления большими объемами пространственной информации. В нашем случае источником для разработки ГИС «Ислам на Южном Урале» послужила база данных «Мечети на Южном Урале». Ресурс представляет собой таблицу Excel, включающую 32 поля, отдельные из них – Имамы – разворачиваются в самостоятельный блок с биографическими данными, которые не визуализируются на карте. Всего в базу включены пространственные и атрибутивные данные о 1300 мусульманских объектах Республики Башкортостан, Оренбургской и Челябинской областей, собранные в ходе разработки интерактивного электронного ресурса «Ислам на Южном Урале» (рис. 1). Сбор данных осуществлен научными сотрудниками ИЭИ УНЦ РАН – руководителем и исполнителями проекта РГНФ.

Объекты с атрибутивной информацией, включая также «Объекты поклонения мусульман на Южном Урале», «Медресе», «Халыль-предприятия», нанесены на карту. Карта разработана при

помощи программных средств ArcGIS (ArcGIS for Desktop Standart – для подготовки картографического материала, ArcGIS for Server Standart – для публикации сервисов с пространственными данными, ArcGIS API for JavaScript использовался для применения библиотек программирования приложений, ArcGIS Online – для публикации сервисов с пространственными данными), а также СУБД Microsoft SQL Server 2008 R2 – для хранения и поддержки редактирования данных, JavaScript – для программирования пользовательского интерфейса, CSS – для оформления пользовательского интерфейса и шаблонов отчетов, библиотеки jsPDF, pdfMake – для реализации возможности экспорта в различные форматы, JetBrains WebStorm IDE 10.0 – в качестве среды разработки веб-приложения (рис. 2, 3).

Анализ данных включает процедуры управления пространственными и атрибутивными данными, выполняемые при обработке запросов пользователя. Обработка запросов и анализ данных напрямую зависят от структуры базы данных, организации объектов в соответствии

№	A Регион	B Район	C Населенный пункт	D Адрес	E Название здания	F GPS Координаты здания		M Здание	N Год постройки	O Здание построено	P Примерные параметры	Q Орден	R Минарет	S Имам	
						G Широта	H Долгота								
960	Башкортостан	Кармаскалинский	Кабаково	Школьная 1/2	Нурлы	54 32	61,20	56 08	58,15	1					Асадуллин Хазинур Исламгалиевич
961	Башкортостан	Кармаскалинский	Утяганово	ул. Б. Батыровой, д. 26		54 19	10,42	56 27	10,76	1					Сулейманов Сагит Сагетдатович
962	Башкортостан	Кармаскалинский	Новые Клеши	Ленина, 3А	Халим	54 20	28,10	56 25	42,55	1					Нигматуллин Салих Хурматович
963	Башкортостан	Кармаскалинский	Сарт-Чимша	Школьная, д. 39		54 21	56,83	56 26	51,76	1					Габбасов Мирзахан Адиятуллин
964	Башкортостан	Кармаскалинский	Старо-Шареево	Первомайская, 1А		54 26	33,58	56 27	30,21	1					Тазетдинов Фарит Шахмуллин
965	Башкортостан	Кармаскалинский	Староокташево	Центральная, 1А		54 27	27,99	56 26	14,34	1					Шагиен Халим Назымович
966	Башкортостан	Кармаскалинский	Сакаево	Советская 37		54 26	11,71	56 22	43,45	1					Бикташев Рамазан Сайфуллин
967	Башкортостан	Кармаскалинский	Улулуево	Школьная 3А		54 26	19,15	56 18	50,89	1					Ширгазин Альфред Минисаевич
968	Башкортостан	Кармаскалинский	Муксиново	Ленина 4, корпус А	Изге нур	54 28	55,86	56 19	14,45	1					Мусин Магзар Габдулкаевич
969	Башкортостан	Кармаскалинский	Бишкул Унгарово	Ленина, 56А	Халифа	54 27	20,81	56 16	25,74	1					Мусин Магзар Габдулкаевич
970	Башкортостан	Кармаскалинский	Ибрагимово	Ш. Бывакула, 10, корпус 2		54 29	48,00	56 14	14,20	1					Садыков Анвар Якулович
971	Башкортостан	Кармаскалинский	Кудушево	Мира, 29		54 29	52,23	56 11	03,40	1					Лялетдинов Сагит Тазетдинович
972	Башкортостан	Кармаскалинский	Алдарово	ул. Коммунистическая, 33 а		54 19	17,36	55 39	50,02	1					Уразбахтин Сагитхан Махмутович

Рис. 1. Фрагмент таблицы Excel «Ислам на Южном Урале» с информацией о мечетях

Регион	Район	Населенный п...	Адрес	Название зда...	Широта	Долгота	Длина здания	Ширина здания	Высота
Оренбургская	Сакмарский	Татарская Каргала	Советская 10	Куш Манара	51,947776	55,174077	20	10	
Оренбургская	Сакмарский	Татарская Каргала	Советская 92 а	Ак мечеть	51,947776	55,174077	20	8	
Оренбургская	Октябрьский	1 Имангулово	Шафиева 10		52,211313	55,318752			
Оренбургская	Сакмарский	Татарская Каргала	Линейная 1, д. 42 Б		51,947776	55,174077	15	6	
Оренбургская	Тюльганский	Аллабердино	Центральная 34		52,360003	55,947811	8	6	

Рис. 2. Фрагмент электронного ресурса «Ислам на Южном Урале» в ArcGis с информацией о мечетях

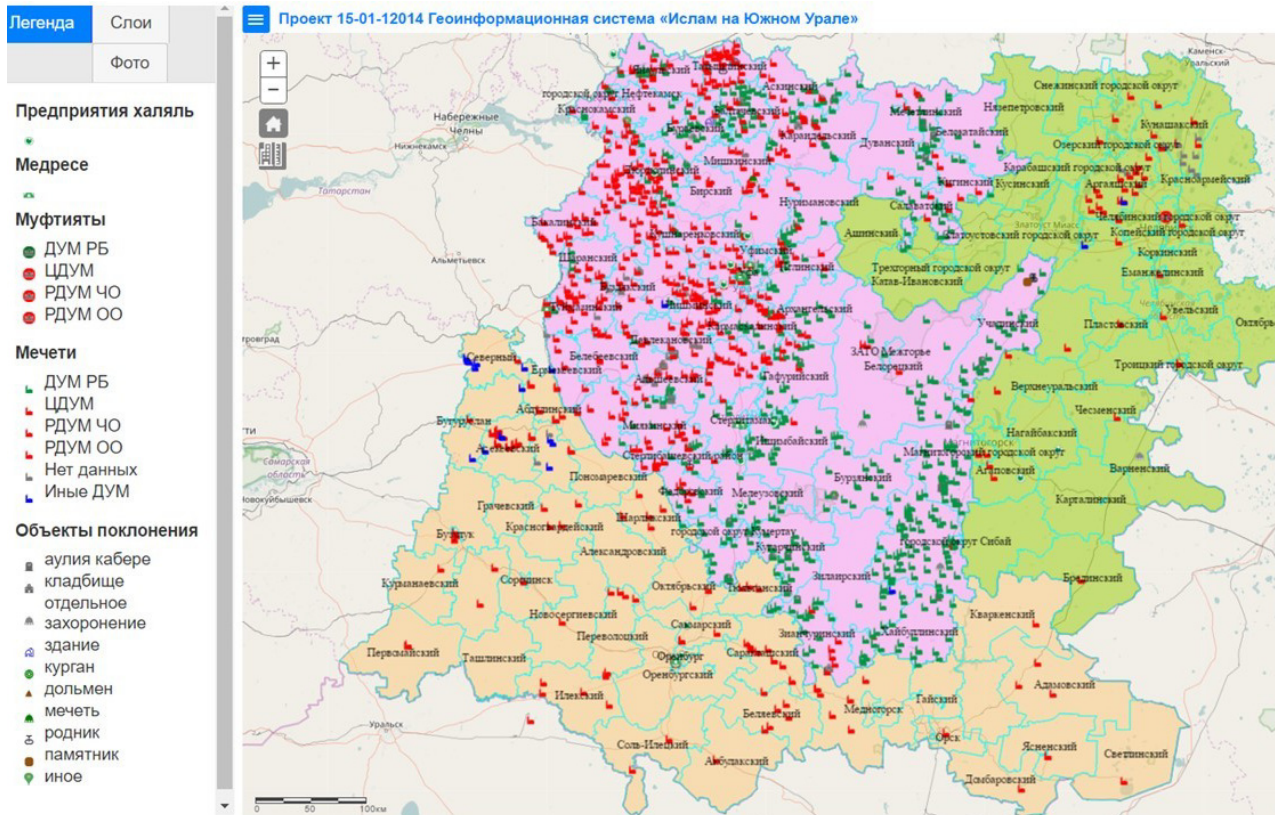


Рис. 3. Визуализация мусульманских объектов на карте регионов Южного Урала

с заданными условиям. При создании электронного ресурса мы ориентировались на поэтапное его наполнение. В настоящее время электронный ресурс позволяет обрабатывать запросы на получение геоданных и характеристик объекта, указанного курсором на экране, при этом также возможна обратная операция – электронная карта «Ислам на Южном Урале» дает возможность получения информации о нанесенных на карту объектах и поиска по заданным атрибутам [5].

В базу данных внесены фотографии мусульманских объектов, сделанные с разных ракурсов, что усиливает информационную составляющую электронного ресурса. Фотогалерея открывается одновременно с информацией об объекте при подведении курсора на соответствующий объект на карте (рис. 4).

С участием преподавателей и магистрантов кафедры геоинформационных технологий Уфимского государственного авиационного университета была разработана подсистема формирования отчетности в составе ГИС «Ислам на Южном Урале», в том числе функциональная модель оценки состояния ислама на Южном Урале на

основе детализированных задач подсистемы (рис. 5), информационная модель подсистемы формирования отчетности (рис. 6), алгоритмы функционирования подсистемы формирования отчетности, пользовательский интерфейс подсистемы формирования отчетности в составе ГИС «Ислам на Южном Урале». Данная подсистема позволяет обеспечить пользователя информацией для оценки состояния ислама на Южном Урале и оценки тенденций его развития.

Таким образом, в ходе разработки ГИС «Ислам на Южном Урале» последовательно решались две стороны исследуемой проблемы: первая сторона связана с применением геоинформационных систем в современных исторических исследованиях, вторая – непосредственно с изучением современного состояния ислама и мусульманских объектов на Южном Урале.

Констатация и визуализация пространственных данных является частью исследовательского процесса, которая, конечно, требует анализа и может как подтвердить, так и опровергнуть имеющиеся представления об изучаемых явлениях и объектах [6].



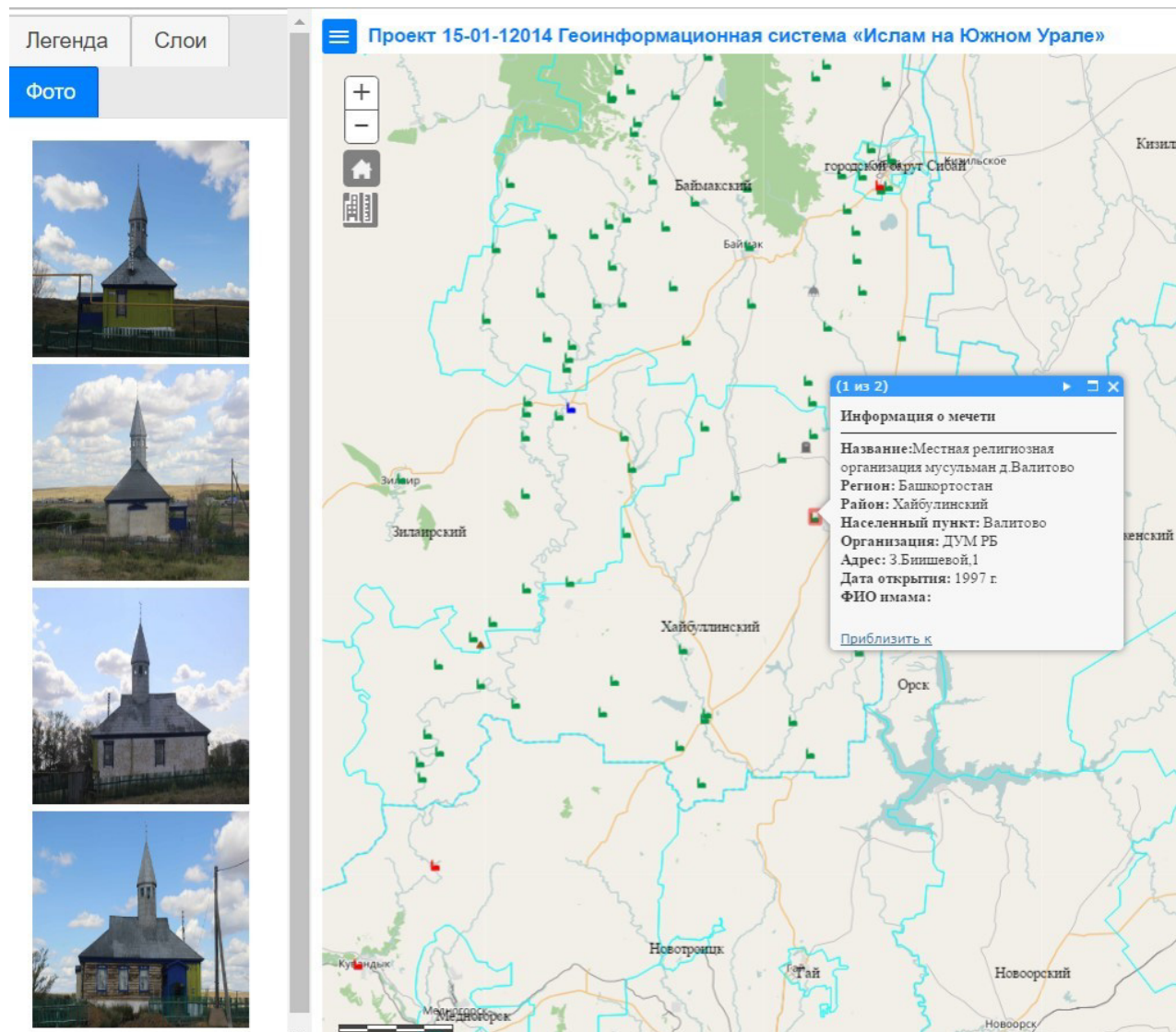


Рис. 4. Информация и фотогалерея объекта

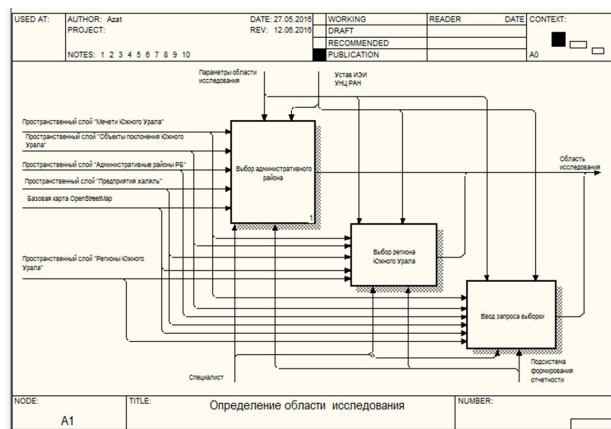


Рис. 5. Функциональная модель оценки состояния ислама на Южном Урале

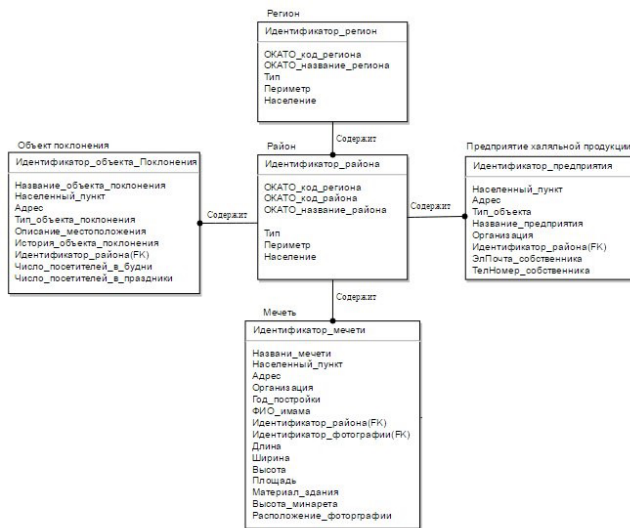


Рис. 6. Информационная модель формирования отчетности

Так, картографирование мечетей наглядно отражает их распределение по регионам и относительное соответствие численности «этнических мусульман» в составе населения каждого региона. Наибольшее количество – 1029 мечетей – зафиксировано в Республике Башкортостан. Согласно официальным данным Комитета по государственно-конфессиональным отношениям при Главе РБ, в республике 1239 мечетей. В Оренбургской области нами зафиксировано 128 мечетей, что на 24 мечети больше, чем числится официально. В Челябинской области было зафиксировано 57 мечетей из 105, действующих по официальным данным (рис. 7).

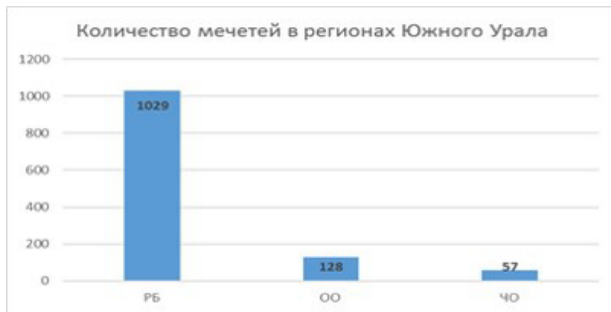


Рис. 7. Мечети в Республики Башкортостан, Оренбургской и Челябинской областях (по данным полевых исследований, которые могут не совпадать с официальной статистикой)

Карта отражает распределение мечетей между централизованными духовными ведомствами. Если брать общую картину в трех регионах Южного Урала, то большинство мусульманских приходов находятся под канонической юрисдикцией Центрального Духовного управления мусульман, председателем которого является Верховный муфтий Талгат Таджуддин. По 33 мечетям нет дан-

ных о ведомственной принадлежности, 13 мечетей относятся к централизованной религиозной организации Объединенный исламский конгресс России (ЦРО ОИК России), две мечети считают себя вне какой-либо юрисдикции. Кроме того, по одной мечети оказалось в составе Ассоциации мечетей России (АМР) и не существующего с 1992 г. Духовного управления мусульман Европейской части СССР и Сибири (ДУМЕС) (табл.).

Если рассматривать каждый регион в отдельности, то мы видим, что в Оренбургской и Челябинской областях в ведении ЦДУМ находятся практически все мечети, здесь преодолено недавнее противостояние между сторонниками ЦДУМ, Ассоциации мечетей России (АМР), Духовного управления мусульман Азиатской части России (ДУМ АЧР) и Совета муфтиев России (СМР).

В Республике Башкортостан мечети по-прежнему распределены между двумя ведомствами – ЦДУМ и ДУМ РБ (рис. 8) – с преобладанием мечетей ДУМ РБ, которое, в свою очередь, входит в Совет муфтиев России (СМР) в Москве под председательством муфтия Равиля Гайнутдина. Такая картина наблюдается последние четверть века [7].

Мечети ДУМ РБ находятся в основном на юге и юго-востоке республики. Более всего их – в Баймакском и Абзелиловском районах (59 и 36). В пяти районах – Хайбуллинском, Кугарчинском, Ишимбайском, Учалинском и Балтачевском – количество мечетей ДУМ РБ колеблется от 20 до 35 в каждом. Еще в 19 районах действует по 8–19 мечетей ДУМРБ, в остальных – по 1–5 мечетей. Наибольшая концентрация мечетей ДУМ РБ приходится на районы, где преобладает башкирское население.

Т а б л и ц а

*Распределение мечетей между духовными управлениями мусульман в Башкортостане, Оренбургской и Челябинской областях*

Духовное ведомство	Количество мечетей
Центральное духовное управление мусульман России (ЦДУМ):	608
в том числе в РБ (ЦДУМ)	452
в Оренбургской области (РДУМ ОО)	111
в Челябинской области (РДУМ ЧО)	45
Духовное управление мусульман Республики Башкортостан (ДУМ РБ)	554
Нет данных	33
Объединенный исламский конгресс России (ОИК России)	13
Независимая религиозная организация	2



Рис. 8. Распределение мечетей Башкортостана между духовными управлениями

Ресурс картографических и геоинформационных методов применительно к анализу образовательных процессов, данные ГИС «Ислам на Южном Урале» позволяют сделать ряд выводов относительно роли ислама в условиях преподавания введенного в 2012 г. шестимодульного предмета «Основы религиозной культуры и светской этики». Известно, что наиболее распространенным стал модуль «Основы светской этики», по которому в 2015–2016 учебном году в России обучалось 42,8% учащихся, а в Башкортостане – 78,1%. Картографирование выбора модуля на примере Ишимбайского района Башкортостана показало, что конфессионально-ориентированный модуль «Основы исламской культуры» выбирают чаще всего в моноэтничных селах и деревнях, а также в национальных гимназиях. Модуль «Основы светской этики» выбирают в городах, районных центрах и поселках с полиэтничным составом населения [8].

На карту нанесены уникальные данные о мечетях, мусульманских молельных домах и комнатах, находящихся на территории режимных объектов, таких как воинские части и исправительные учреждения. На территории Республики Башкортостан расположено 21 учреждений ФСИН. В 11 из них оборудованы молельные комнаты, а в трех самых крупных с лимитом содержания 1000 и более человек – действуют мечеть и православный храм. Первая мечеть появилась на территории Исправительной колонии № 4, в г. Салавате в 2005 г. под названием «Акьюл» (Белый путь), она стала первым культовым сооружением для мусульман в системе ФСИН не только в регионе, но и по всей Российской Федерации. Как считают исследователи, строительство мечетей в учреждениях пенитенциарной системы

обеспечивает удовлетворение духовных потребностей заключенных и их исправление, а также может способствовать предотвращению распространения ислама радикального толка в исправительных учреждениях [9].

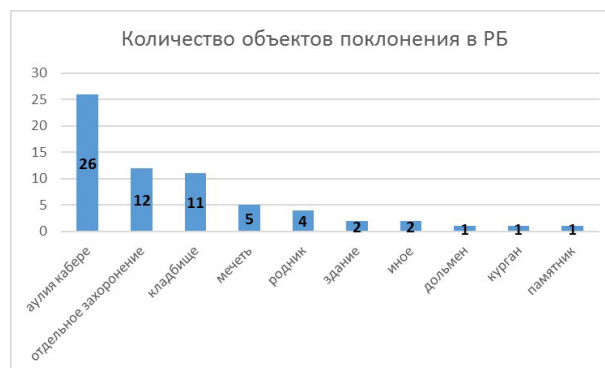


Рис. 9. Объекты поклонения мусульман на территории Республики Башкортостан

Одной из задач проекта была фиксация объектов поклонения мусульман на Южном Урале с последующим нанесением на карту «святых мест» – отдельных захоронений, кладбищ, курганов, дольменов, старинных зданий мечетей, других объектов. Эта часть работы была особенно сложной в силу отсутствия сведений о таких объектах. Большинство из них находится в степной и горно-лесной зонах юго-восточного Башкортостана, зачастую в труднодоступных местах. Всего на территории Республики Башкортостан зафиксировано 65 объектов поклонения мусульман, к которым регулярно осуществляются паломничества с совершением религиозных обрядов и жертвоприношениями.

Картографирование таких объектов подтверждает информацию о том, что на Южном Урале усиливается тенденция сакрализации объектов археологического наследия, которые составляют 21% в составе объектов поклонения (мавзолей, старинные кладбища, курганы, дольмены) (рис. 9). Данная тенденция не может не беспокоить в связи с ростом рекреационной нагрузки на охранную зону археологического объекта и угрозой разрушения самого памятника [10], поэтому в ходе полевых исследований велись работы по уточнению границ памятников [11]. Фиксация в ходе экспедиций объектов поклонения мусульман показала также появление псевдорелигиозных и архаизированных религиозных практик и культов, мошенничества и

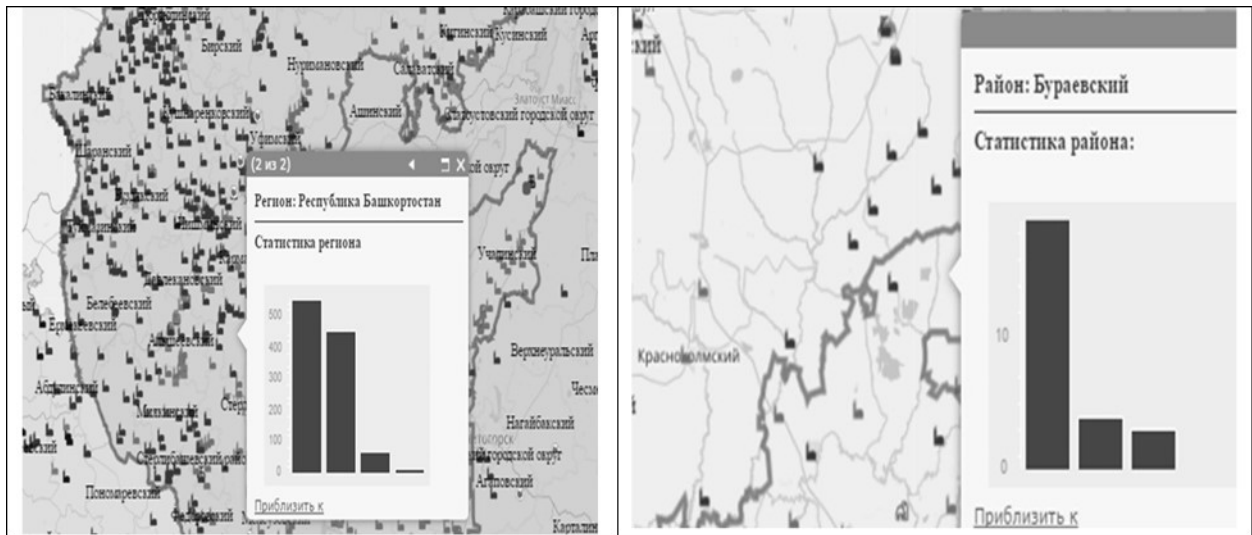


Рис. 10. Республика Башкортостан и Бураевский район РБ в гистограмме

вымогательства с применением психотехнологий с изменением сознания под предлогом «целительства» и паломничества к «святым местам» [12].

Все нанесенные на карту данные по регионам и по отдельным районам могут быть представлены графически в информационных окнах при подведении курсора к выбранной территории (рис. 10).

ГИС «Ислам на Южном Урале» не является официальным источником данных, поскольку данные были получены во время экспедиционных выездов путем фиксации географических координат, замеров, фотографирования, бесед с имамами и местными жителями, также путем ознакомления с делопроизводственными материалами мечетей, если к таковым был предоставлен доступ. На месте заполнялся «Паспорт объекта», данные которого фиксировались в общей базе данных. Полученная нами атрибутивная информация позволяет дополнить данные официальной статистики Министерства юстиции РФ. Кроме того, данные также могут быть использованы при проведении государственного мониторинга и государственного контроля в сфере межнациональных и этноконфессиональных отношений Федерального агентства по делам национальностей (ФАДН). Данные могут быть использованы учеными и исследователями в области истории, этнологии, религиоведения, преподавателями высших учебных заведений и школьными учителями, специалистами государственно-муниципального управления, социальными работниками, религиозными деятелями.

*Статья подготовлена при поддержке РГНФ в рамках проекта 15-01-12014 Геоинформационная система «Ислам на Южном Урале».*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Young Cr. Computer – Assisted Mapping of the Credit Fields of Nineteenth – Century Rural Tradesman in Scotland // History and Computing. 1989. Vol. 1. No.2. P. 105–111; Southall H. & Oliver Ed. Drawing maps with a Computer...or Without? // History and Computing. 1990. Vol. 2. No. 2. P. 146–154.
2. Бородкин Л.И. ГИС-анализ миграционных потоков в России / СССР в конце XIX – первой четверти XX вв. по данным переписи населения 1926 г. // Информационный бюллетень Ассоциации «История и компьютер». №42. Специальный выпуск. Материалы XIV конференции АИК. № 42. С. 135–137.
3. Бородкин Л.И. Виртуальная реконструкция монастырских комплексов Москвы: проекты в контексте Digital humanities // Вестник Пермского университета. Серия «История». № 3. С. 107–115.
4. Юнусова А.Б., Христоудло О.И, Абдуллин А.Х. Геоинформатика для ислама: о проекте создания электронной интерактивной карты «Ислам на Южном Урале» // Известия Уфимского научного центра РАН. 2015. № 4. С. 112–115.
5. <http://kuzeev.techinform.pro/gis/>
6. Пасхина М.В. Пространственный анализ в ГИС-системах: сущность, направления, возможности (Часть I) // Ярославский педагогический вестник. 2011. № 1. Том III (Естественные науки). С. 156–163.
7. Юнусова А.Б. Мусульмане Урало-Поволжья в начале XXI в. // Россия и мусульманский мир. 2013. № 10 (256). С. 42–53.

8. Надыршин Т.М. Ислам и общеобразовательная школа в ГИС // Известия Уфимского научного центра РАН. 2016. № 3. С. 108–112.

9. Баймов А.Г. Мечети в военных частях на территории Южного Урала // Известия Уфимского научного центра РАН. 2015. № 4. С. 116–119.

10. Тузбеков А.И., Бахшиев И.И. Археологические памятники как объекты сакрализации (на примере могильника Ильчигулово IV) // Известия Уфимского научного центра РАН. 2015. № 4. С. 103–107.

11. Тузбеков А.И. Колонских А.Г. Городища Калатау в системе культурных ландшафтов Северо-Западного Башкортостана // Известия Уфимского научного центра РАН. 2016. № 3. С. 117–122.

12. Юнусова А.Б. Мобилизованный архаизм: новые тенденции в религиозной практике поклонения башкирских мусульман // Известия Уфимского научного центра РАН. 2015. № 3. С. 106–115.

### References

1. Young Cr. Computer-assisted mapping of the credit fields of nineteenth-century rural tradesman in Scotland. *History and Computing*, 1989, vol. 1, no. 2, pp. 105–111; Southall H., Oliver Ed. Drawing maps with a computer... or without? *History and Computing*, 1990, vol. 2, no. 2, pp. 146–154.

2. Borodkin L.I. GIS-based analysis of migration flows in Russia. In: *SSSR v kontse XIX – pervoy chetverti XX vv. po dannym perepisi naseleniya 1926 g.* Byulleten Assotsiatsii “Istoriya i kompyuter”. Spetsialnnyy vypusk. Materialy XIV konferentsii AYK, no. 42, pp. 135–137.

3. Borodkin L.I. The 3D virtual reconstruction of monastery complexes in Moscow: Projects in the context of Digital humanities. *Vestnik Permskogo universiteta. Ser. Istoriya*, no. 3, pp. 107–115.

4. Yunusova A.B., Khristodulo O.I., Abdullin A.Kh. Information technology for Islam: On the project to develop interactive electronic maps «Islam in the South Urals». *Izvestiya UNTs RAN*, 2015, no. 4, pp. 112–115.

5. Project 15-01-12914 Geoinformation system “Islam in the South Urals.” Available at: <http://kuzeev.techinform.pro/gis/>.

6. Paskhina M.V. Spatial analysis in GIS-systems: Essence, trends, possibilities. Part I. *Yaroslavskiy pedagogicheskiy vestnik*, 2011, no. 1, vol. 3 (Estestvennue nauki), pp. 156–163.

7. Yunusova A.B. Muslims of the Volga-Ural region in the early 21st century. *Rossiya i musulmanskii mir*, 2013, no. 10 (256), pp. 42–53.

8. Nadyrshin T.M. Islam and the comprehensive school in GIS. *Izvestiya UNTs RAN*, 2016, no. 3, pp. 108–112.

9. Baimov A.G. Mosques in military units of the South Urals. *Izvestiya UNTs RAN*, 2015, no. 4, pp. 116–119.

10. Tuzbekov A.I., Bakhshiev I.I. Archaeological sites as objects of sacralization (exemplified by Ilchigulovo IV burial ground). *Izvestiya UNTs RAN*, 2015, no. 4, pp. 103–107.

11. Tuzbekov A.I., Kolonskikh A.G. Kalatau fortified settlement in the cultural landscapes of north-western Bashkortostan. *Izvestiya UNTs RAN*, 2016, no. 3, pp. 117–122.

12. Yunusova A.B. Mobilizing the past: Recent trends in the traditional worship practice of Bashkir Muslims. *Izvestiya UNTs RAN*, 2015, no. 3, pp. 106–115.

---

## ISLAM IN THE SOUTH URALS: SPATIAL ANALYSIS

© A.B. Yunusova

Kuzeev Institute for Ethnological Studies, Ufa Scientific Centre, RAS,  
6, ulitsa K. Marksa, 450077, Ufa, Russian Federation

Presents the results of analysis of spatial and attribute data on Muslim sites in the Republic of Bashkortostan, Orenburg and Chelyabinsk regions, collected during field research in the development of an interactive electronic resource “Islam in the southern Urals.” The collected data show the number and distribution of mosques between spiritual offices, the number of Muslims objects of worship, Muslim schools, halal businesses in the regions as of 2015–2016 gg. The data may differ from the official statistics of the Ministry of Justice of the Russian Federation.

Key words: Islam, Bashkortostan, Chelyabinsk region, Orenburg region, the spiritual control of the mosque, the object of worship, GIS.

**ПОКРЫВАЛО НЕВЕСТЫ В СВАДЕБНОЙ ОБРЯДНОСТИ ЧУВАШЕЙ:  
ФУНКЦИИ И СЕМАНТИКА**

© И.Г. Петров

Среди обрядов жизненного цикла свадебный обряд отличается особым разнообразием и является одним из ярких проявлений традиционной культуры. Для свадебного торжества характерно участие в нем большого числа исполнителей и зрителей, где роль каждого строго регламентирована и расписана. Не случайно свадебный ритуал многими исследователями сравнивается со сложным обрядово-драматическим действом. Большое место в традиционной свадебной обрядности отводилось различным символическим и магическим приемам, направленным на обеспечение продления рода, благополучия и богатства молодых, а также на защиту жениха и невесты от сглаза и порчи. Своими корнями такие магические практики уходят в толщу тысячелетий и имеют тесную связь с древнейшими религиозно-магическими представлениями. Несмотря на свою архаику, многие из них продолжают бытовать в настоящее время, хотя их первоначальное значение не всегда адекватно осознается и интерпретируется современными участниками свадебного ритуала. В течение веков многие из них трансформировались и, утратив первоначальный смысл, превратились в игру или увеселительное действо. В организации и внешнем оформлении свадебного ритуала большую роль играли предметы традиционного костюма. Включаясь в ритуальную практику, языком символов и знаков они отражали специфические особенности одежды участников свадьбы, а также наиболее существенные моменты обряда. В работе рассматривается покрывало невесты в контексте свадебной обрядности чувашей. На основе обобщения литературных и архивных источников автор подчеркивает, что покрывало невесты, с одной стороны, выполняло функцию оберега, а с другой – являлось маркером, свидетельствующим о переходе девушки из одной социально-возрастной группы в другую, из категории невест в категорию замужних женщин. Данный переход осуществлялся в процессе особого обряда, когда с невесты снимали покрывало и девичью шапочку, меняли прическу и облачали в женский головной убор.

Ключевые слова: чувашаи, свадебные обычаи и обряды, традиционная одежда, символика одежды.

Анализ имеющейся литературы показывает, что свадебные обряды чувашей в той или иной степени всегда привлекали внимание исследователей, однако лишь в редких из них одежда участников обряда получила подробное освещение, в том числе вопросы, касающиеся их функционального значения и символики. На чувашском материале в общем контексте эти вопросы впервые были поставлены и научно обоснованы этнологом А.К. Салминим в работе «Вещь в контексте ритуала» [1, с. 180–258]. В раздел «Одежда» указанной работы автор включил наиболее сакрально насыщенные предметы народного костюма, т.е. предметы, которые выполняли выраженную ритуальную функцию. Ученым были проанализированы такие понятия, как «одежда», «платок», «сурпан» (женское головное полотенце – *И.П.*), «лапти», «шапка», «хушпу» (женский головной убор –

*И.П.*), «кольцо», «рубашка мужская», «пояс», «тевет» (чересплечное женское и девичье украшение, перевязь – *И.П.*), «покрывало невесты», «белье», «тухья» (девичий головной убор – *И.П.*), «платок жениха». Спустя некоторое время, материалы этой статьи в виде отдельной главы были опубликованы в монографии [2, с. 95–125]. В целом перечень предметов одежды, включенных в главу, остался без изменений. В отличие от первой работы в нее автором дополнительно были включены такие дефиниции, как «женская рубаха», «одежда для моления», «рукавицы».

Наша задача – продолжить эту тему дальше и показать традиционные представления и обряды чувашей, связанные с покрывалом невесты. В исследовании акцент будет сделан не на характеристике внешних особенностей покрывала (материале, крое, способах орнамента-

ции и т.д.), а на вопросах, касающихся обрядовой функции и символики данного элемента свадебного костюма невесты. Источниковую базу исследования составили литературные источники, а также рукописи второй половины XIX–начала XX в., изученные автором в Научном архиве Чувашского государственного института гуманитарных наук в г. Чебоксары.

Свадебное покрывало, по чув. «пёркенчĕк», «пёркенчĕк» являлось наиболее сакральной частью одеяния невесты. В основе его происхождения лежит чувашское слово «пёрке», «пёрке» в значении «покрывать, одевать, обернуть, завернуть (с головой)». В таком же контексте оно встречается в других тюркских языках [3, с. 422–423]. Представляет собой сшитое из нескольких полос тонкого белого домотканого холста большое прямоугольное полотнище. Углы покрывала вышивались сложными двусторонними узорами, а края обшивались шелковой или хлопчатобумажной тесьмой, а иногда кистями. Узоры, как правило, имели квадратную композицию, отличались богатством и разнообразием декора, филигранностью техники вышивки. От обычных платков отличалось прежде всего размером. Покрывало закрывало не только голову и лицо, но и всю фигуру человека. В старину в некоторых селениях покрывала изготавливали таких размеров, что они полностью закрывали невесту, сидящую верхом на лошади. Об этом можно судить на основании небольшого фрагмента из сочинения А.Фукс: «В это время жених у крыльца охорашивал для невесты оседланную лошадь, посадил ее верхом, а девки покрыли таким широким и длинным покрывалом, что оно доставало до копыт лошади, концы покрывала были вышиты красивыми угольниками и на всяком угольнике висели кисти» [4, с. 64–65]. С начала XX в. покрывала с традиционной вышивкой оказались вытесненными домоткаными аналогами с упрощенным вышитым декором и имели сравнительно небольшие размеры. Позднее вместо покрывал стали использоваться белые домотканые платки без вышивки или шелковые шали фабричного производства. В настоящее время свадебные покрывала практически не встречаются. Причиной этого явления является широкое внедрение в народный быт церемонии гражданского акта бракосочетания, а также костюмов и атрибутов, изготовленных по современной моде. Сильные изменения претерпел традиционный свадебный обряд, многие элементы которого оказались невостребованными и утраченными. С начала

XX в. в числе уходящих компонентов этнической культуры оказался и свадебный наряд невесты, сшитый в традиционном стиле и его атрибуты, в том числе свадебное покрывало.



Накрывание невесты покрывалом «пёркенчĕк». Место съемки неизвестно. 1948 г. НА ЧГИГН. Отд. VIII. Ед. хр. 32. Инв. № 192.

Накрывание невесты покрывалом происходило в начале свадьбы. Подружки и другие женщины из числа родственников невесту выводили в клеть и приступали к церемонии обрядования. Поверх нижней рубахи они надевали лучшее праздничное платье из домотканины, украшения, а на голову – девичью шапочку *тухья*. Перед этим подружки расчесывали волосы и в последний раз заплетали их в одну косу. В мировоззрении многих народов мира, в том числе чувашей, коса воспринималась символом девичьей красоты и подтверждала статус незамужней девушки. Кроме того, коса «выступала и как девичья прическа, и как украшение девушки, и как признак честности – девственности невесты» [5, с. 517]. Затем на невесту надевали легкий халат (кафтан) из домотканого холста или покупного сукна. У верховых чувашей кафтаны преобладали преимущественно белого цвета, а у низовых – черного. На ноги в зависимости от состоятельности семьи надевали лапти с белыми или черными онучами, кожаные башмаки или сапоги. После этих приготовлений одна из снох или подруг на голову невесты накидывала покрывало. Иногда проведение этого

действия поручали невестке молодой или посаженным родителям [1, с. 207]. Примечательно, что во время этой церемонии невеста всячески сопротивлялась. По обычаю, как бы не соглашаясь с выпавшей долей, она дважды сбрасывала с себя покрывало. И только в третий раз невеста позволяла укрыть себя покрывалом и больше не сопротивлялась. Для того чтобы семейная жизнь прошла в благополучии и достатке, в один из углов покрывала завязывали или пришивали серебряную монету [6, л. 146–147]. Покрывалом невеста укрывалась не полностью и перед лицом оставляла небольшое отверстие [7, с. 78–79]. После этого невесту уводили в дом, где она, сидя под покрывалом, начинала петь обрядовый плач невесты (*хёр йёрри*, *хёр ху́ххи*), в котором оплакивала свою долю, расставание с родным домом, родителями и родственниками<sup>1</sup>. При исполнении плача она бралась руками за два края покрывала в области плеч и в такт песни плавно раскачивалась из стороны в сторону или делала небольшие наклоны вперед.

Как видим, покрывало выполняло несколько глубоко символических функций. Во-первых, оно являлось обязательной принадлежностью свадебного костюма невесты. Во-вторых, выполняло функцию оберега. Потому что тщательное закрывание невесты, по народным представлениям, являлось одним из важнейших средств защиты от сглаза и порчи [8, с. 163]. В-третьих, его появление в составе одежды невесты демонстрировало расставание с добрачной жизнью и девичеством. Отсюда упомянутое выше демонстративное нежелание невесты принять покрывало и укрываться им. Данный мотив нашел отражение в чувашском фольклоре. Например, в одном из куплетов чувашской песни прямо говорится: «*Хёрён ёмёр иртесси шор пёркенчэк айёнче*» (Девичьему веку суждено пройти под белым покрывалом) [9, с. 232]. Таким образом, во время укрывания покрывалом происходила символическая утрата невестой девичьего статуса, что являлось необходимым условием для ее перехода в разряд замужних женщин. В связи с этим стоит отметить, что покрывало использовалось даже на «краденых свадьбах». Если девушку похищали или она сама соглашалась на побег, то покрывалом ее следовало накрыть по дороге или же

по прибытии в деревню жениха в доме соседей или родственников [2, с. 118].

Однако окончательный переход девушки-невесты в другую социовозрастную группу совершался чуть позже, во время обряда «окручивания» – особого свадебного обряда, во время которого невесте меняли прическу и головной убор. В разных местностях данная церемония называлась по-разному: *сурпан*<sup>2</sup>*сырни* (повязывание сурбана), *пуç сырни* (повязывание головы), *пуç шуратни*<sup>3</sup> (обеление головы), *хушпу*<sup>4</sup>*тăхăнни* / *хушпу тăхăнтартни* (одевание хушпу) и т.д. Наряду с перечисленными названиями встречаются и другие варианты, например, «*арăм тунни*» (дословно: превращение в женщину), который семантически очень точно передает сущность обряда. В зависимости от преобладания в свадебном обряде матриликальных или патрилокальных традиций, обряд проходил на заключительном этапе свадьбы либо на стороне невесты (до отъезда к жениху), либо на стороне жениха, как правило, до первой брачной ночи или после венчания. Если на стороне невесты эта церемония имела место в разных локусах (в последнем доме, где гостила невеста, в доме соседей, в доме посаженных родителей и т.д.), то на стороне жениха – в доме его родителей, обычно в чулане или клети. Смысл обряда заключался в последовательном снятии с головы невесты покрывала, девичьей шапочки *тухья* и надевании вместо нее женских головных уборов (*сурпан*, *хушпу*). Обряд проводили близкие родственники невесты, среди которых упоминаются снохи, золовки, посаженные родители и др. Здесь же имело место изменение прически. У невесты расплетали девичью косу, а после этого волосы заплетали «поженски» (то есть в две косы), закручивали и прятали под головной убор. После этого к гостям свадьбы она выходила в женском наряде, но все еще покрытая покрывалом.

Окончательное снятие покрывала происходило во время угощения молодых обрядовым супом с клецкам *салма* на следующий день по-

<sup>2</sup> *Сурпан* – женская головная повязка в форме длинного полотенца с вышитыми и ткаными концами.

<sup>3</sup> Происхождение данного словосочетания обусловлено цветом головного убора *сурпан*, а точнее цветом ее серединной части, которая ткалась исключительно из белых нитей.

<sup>4</sup> *Хушпу* – женский головной убор, украшенный монетами, кораллами и бусами.

<sup>1</sup> Причитания-плачи невесты были характерны только для низовой (*анатри*) и средне-низовой (*анат енчи*) свадебных традиций, тогда как в верховой (*вирьял*) свадьбе они не бытовали (И.П.).



сле брачного ложа. В зависимости от местных традиций обряд бытовал под разными названиями: «хёр салми» (девичьи клецки), «хёр шурпи» (девичья похлебка), «салма яшки» (суп с клецками), «сёнё сын салми» (клецки нового человека), «сёнё сын яшки» (похлебка нового человека) и т.д. Ритуал проходил при большом скоплении участников свадьбы и с обязательным участием в обряде мальчика (младшего брата жениха), реже – старшего дружки, младшего дружки, старшего брата жениха, свахи и др. Срывая с головы «пёркенчёк», мальчик убежал в клеть и прятал его в сусеке. В доказательство совершенного акта он приносил в руках муку и в знак пожелания обеспеченной жизни бросал на новобрачных и других гостей свадьбы [1, с. 208]. После этого невеста впервые показывалась перед гостями в женском одеянии и без покрывала. Благодаря этой церемонии она обретала статус молодухи, т.е. вступала в следующую половозрастную группу. Если до этого невесту называли просто «хёр» (девушка), «качча каякан хёр» (девушка, выходящая замуж), то после совершения обряда – *кёсён сын* (молодуха) или *сёнё сын* (новый человек)<sup>1</sup>. Важно также отметить, что с этого момента она была обязана носить исключительно женскую одежду и тщательно прятать волосы под головной убор. По нормам обычного права новобрачной не позволялось появляться перед родственниками, особенно перед мужчинами, с непокрытой головой. В этом запрете нашли отражение древние представления о вредоносной силе, заключенной в волосах женщины, пришедшей из чужого рода. Некоторые исследователи склонны видеть в этом символ покорности и подчинения.

При срывании с новобрачной покрывала участники обряда совершали различные магические действия, которые были направлены на стимулирование заключения новых браков. Так, в с. Абашево (Чебоксарский уезд Казанской губ.) и в с. Богатырево (Ядринский уезд Казанской губ.) после того, как посаженная мать (*хайматлях*) убирала с головы покрывало, она бросала его на стоящих рядом незамужних подруг невесты. А в д. Средние Алгаши Симбирского уезда Симбирской губ.

<sup>1</sup> Как видно, указанный термин достаточно прозрачно подчеркивает социальный статус молодухи, так как до определенного времени для семьи и всего родственного коллектива мужа она действительно воспринималась «новым» человеком.

женщина-родственница снимала покрывало, а затем размахивала им в разные стороны и произносила следующее благопожелание: «*Кăсал пёри карё, килес сул пиллĕкĕн каймалла пулчĕр!*» (В этом году одна вышла замуж, в следующем году пусть выходят пятеро!) [10, с. 350]. В зависимости от местных традиций, то же самое проделывал мальчик, принимавший участие в обряде. По А.К. Салмину, «сорвав с невесты чадру, мальчик машет ею, задевая, а иногда и просто хлестая стоящих вокруг девушек». Согласно поверью, задетая покрывалом девушка в следующем году должна была выйти замуж. Поэтому девушки в этот момент остерегались быть задетыми покрывалом и предпочитали держаться от мальчика подальше [2, с. 119]. Пожелание поскорее выйти замуж, адресованное подругам, исходило и от невесты. По записям М.С. Спиридонова, в д. Сабанчино Мало-Яльчикского района ЧАССР в конце 20-х гг. XX в., невеста причитала следующими словами: «*Ман пуç çинчи пёркенчĕк Плаки пуç çине кайса јĕтĕр*» (Покрывало, находящееся на моей голове, пусть упадет на голову Пелагеи).

Таким образом, покрывало невесты в свадебном обряде обладало достаточно выраженной семантикой и выполняло несколько важных функций. Во-первых, оно являлось одним из символов девичества и поэтому входило в состав костюма невесты. Во-вторых, играло апотропейную, т.е. защитную роль. В-третьих, выполняло функцию главного атрибута обряда перехода, когда с невестой на заключительном этапе свадьбы проводили определенные ритуальные действия, смысл которых заключался в символическом переводе (перемещении) ее в другую социовозрастную группу. В-четвертых, в обрядах с покрывалом усматриваются продуцирующие функции, преследующие своей целью продолжение человеческого рода, т.е. заключение новых браков.

### Литература

1. Салмин А.К. Вещь в контексте ритуала // Проблемы изучения научного наследия Н.В. Никольского: мат-лы конф., посв. 120-летию со дня рождения Н.В. Никольского. Чебоксары: ЧГИГН, 2002. 308 с.
2. Салмин А.К. Традиционные обряды и верования чувашей. СПб.: Наука, 2010. 240 с.
3. Федотов М.Р. Этимологический словарь чувашского языка в 2-х тт. Т. 1. А–Р. Чебоксары: ЧГИГН, 1996. 470 с.

4. Фукс А. Записки о чувашах и черемисах Казанской губернии. Казань: Имп. Казан. ун-т, 1840. 329 с.
5. Шангина И. Расплетение косы // Мужики и бабы. Мужское и женское в русской традиционной культуре. Иллюстр. энциклопедия. СПб.: Искусство-СПБ, 2005. С. 516–519.
6. Научный архив Чувашского государственного института гуманитарных наук. Отд. 1. Ед. хр. 267. Инв. № 5974.
7. Никольский Н.В. Краткий конспект по этнографии чуваш. Казань: 3-я тип., 1919. 104 с.
8. Кагаров Е.Г. Состав и происхождение свадебной обрядности // Сборник Музея антропологии и этнографии. Т. VIII. Л., 1929. С. 152–195.
9. Ашмарин Н.И. Словарь чувашского языка. Вып. X. Чебоксары: Чув. гос. изд-во, 1936. 296 с.
10. Месарош Д. Памятники старой чувашской веры / пер. с венгерского. Чебоксары: ЧГИГН, 2000. 360 с.

### References

1. Salmin A.K. Thing in the context of a ritual. Problemy izucheniya nauchnogo naslediya N.V. Nikolskogo. Materialy konferentsii, posvyashchennoy 120-letiyu so dnya rozhdeniya N.V. Nikolskogo. Cheboksary, ChGIGN, 2002. 308 p.

2. Salmin A.K. Traditional rites and beliefs of the Chuvashes. St. Petersburg, Nauka, 2010. 240 p.
3. Fedotov M.R. Etymological dictionary of the Chuvash language in 2 vols. Vol. 1. Cheboksary, ChGIGN, 1996. 470 p.
4. Fuks A. Notes on the Chuvashes and Cheremises of the Kazan Province. Kazan, Imperatorskiy Kazanskiy universitet, 1840. 329 p.
5. Shangina I. Unbraiding ceremony. Muzhiki i ba-by. Muzhskoe i zhenskoe v russkoy traditsionnoy kulture. Illyustrirovannaya entsiklopediya. St. Petersburg, Iskusstvo-SPB, 2005, pp. 516–519.
6. Scientific Archives of the Chuvash State Institute for the Humanities. Otdel 1. Edinitsa khraneniya 267. Inventarnyy № 5974.
7. Nikolskiy N.V. Brief outline of the Chuvash ethnography. Kazan, 3-ya yipografiya, 1919. 104 p.
8. Kagarov E.G. Composition and origin of wedding ceremonies. Sbornik Muzeya antropologii i etnografii. Vol. 8. Leningrad, 1929, pp. 152–195.
9. Ashmarin N.I. Dictionary of the Chuvash language. Issue 10. Cheboksary, Chuvashskoe gosudarstvennoe izdatelstvo, 1936. 296 p.
10. Mészáros D. A csuvas osvallas emlekei. Budapest, 1909. Russian edition. Cheboksary, ChGIGN, 2000. 360 p.

## BRIDAL VEIL IN THE WEDDING TRADITION OF THE CHUVASHES: FUNCTIONS AND SEMANTICS

© I.G. Petrov

Kuzeev Institute for Ethnological Studies, Ufa Scientific Centre, RAS,  
6, ulitsa K. Marksa, 450077, Ufa, Russian Federation

Among ceremonies of life cycle the wedding ceremony differs in a special variety and is one of bright manifestations of traditional culture. Participation in it of a large number of performers and audience where the role of each of them is strictly regulated and painted is characteristic of a wedding celebration. Not incidentally wedding ritual by many researchers is compared to difficult ceremonial and drama action. The big place in traditional wedding ceremonialism was allocated to various symbolical and magic receptions aimed at providing extension of a sort, wellbeing and wealth of young people, and also at protection of the groom and bride against a malefice and damage. Such magic practitioners trace the roots back to thickness of the millennia and have close connection with the most ancient religious and magic representations. Despite the antiquity, many of them continue to occur now though their initial value is not always adequately realized and interpreted by modern participants of wedding ritual. Within centuries many of them were transformed and, having lost initial sense, turned into game or pleasure action. In the organization and external design of wedding ritual the large role was played by objects of a traditional suit. Joining in ritual practice, language of symbols and signs they reflected specific features of clothes of participants of a wedding, and also the most essential moments of a ceremony. In the present article the bride's cover in the context of wedding ceremonialism of Chuvashes is considered. On the basis of generalization of literary and archival sources the author emphasizes that the bride's cover on the one hand, carried out function of a charm, and with another – was the marker demonstrating transition of the girl from one gender and age group in another, from category of brides in category of married women. This transition was carried out in the course of a special ceremony when from the bride unveiled also a maiden hat, changed a hairdress and dressed in a female headdress.

Key words: Chuvashes, wedding customs and ceremonies, traditional clothes, symbolism of clothing.

**РУССКОЕ СЕЛО КАРЛЫХАНОВО В НАЧАЛЕ XX ВЕКА  
В СОЧИНЕНИИ П.М. КУЧИНА**

© Е.Е. Нечвалода

Вводятся в научный оборот материалы по этнографии с. Карлыханово Белокатайского района Башкортостана, характеризующие быт русского крестьянского населения северной части 4-го стана Златоустовского уезда в начале XX в., изложенные уроженцем села, участником гражданской войны Павлом Михайловичем Кучиным в виде воспоминаний о детстве и юности, помещенные в начало его книги «Покуда сердце бьется», посвященной его годам в рядах Красной Армии. Ценность этого источника не только в том, что нас от описываемой действительности отделяет уже более столетия, но и в том, что изложенные сведения отражают не сторонний взгляд наблюдателя, а видение реалий изнутри. В нем не только зафиксированы отдельные факты, но и воссоздан быт как органичное единство различных сторон материальной и нематериальной сторон традиционной культуры. Актуальность публикации этих материалов определяется и тем, что подобные письменные свидетельства о традиционной культуре крестьян начала XX в., подготовленные самими носителями традиции, редки, а других свидетельств об укладе жизни «кунгуряков» в начале XX в. нет, т.к. информанты, с которыми в настоящее время работают этнографы, родились уже в 20–30 гг. XX в.

В книге П.М. Кучина на примере жизни одной небогатой семьи кратко описаны хозяйство русских крестьян, их полевые работы, домашние занятия, зимние отходнические промыслы, традиционная архитектура и интерьер крестьянской избы, повседневная и праздничная пища и многие другие грани традиционной культуры. П.М. Кучин характеризует также неоднородный конфессиональный состав населения села, описывает купцов старообрядцев, упоминает отдельное старообрядческое кладбище, которое существует и до настоящего времени. Эти материалы дополняют и уточняют сведения, полученные ранее в ходе полевых исследований в с. Карлыханово и других русских селах северо-восточного Башкортостана.

Ключевые слова: этнография, Южный Урал, русские, «кунгуряки», крестьянский быт, образование на селе.

Русское население Башкортостана, являясь самой многочисленной этнической группой в регионе, оставалась при этом в течение всего XX в. наименее исследованной в этнографическом плане: почти не проводились комплексные экспедиции (исключение составляют полевые исследования русских западных районов БАССР, осуществленные в 1959 г. Е.П. Бусыгиным и исследования Е.С. Данилко русского старообрядческого населения [1, 2]), мало пополнялись русские этнографические коллекции в фондах республиканских и центральных музеев. В трудах конца XIX – начала XX в. материальная культура такой неоднородной группы, какой являются русские Южного Урала, характеризовалась слишком обобщенно [3, 4]. Этнографические описания отдельных групп русских, проживавших на территории

Башкортостана (Уфимской губернии), сделанные в конце XIX – начале XX в., единичны [5]. В начале XXI в. исследования традиционной культуры русских РБ активизировались [5–8], но столкнулись с проблемой отсутствия источников.

Основными источниками при исследованиях материальной культуры, быта, традиций крестьян начала XX в. для этнографов служат полевые материалы: воспоминания информантов, сохранившиеся артефакты материальной культуры и даже фотографии. Важным дополнением полевых исследований является изучение коллекций общественных и государственных (школьных, сельских, районных, уфимских и центральных) музеев. Однако в начале XXI в. информанты представляют поколение, родившееся уже при советской власти, в 20–30 гг. XX в. Их воспоминания в

лучшем случае рисуют быт советской предвоенной деревни. О быте, укладе села в дореволюционный период они имеют смутные представления, основанные на услышанных в детстве и юности отрывочных воспоминаниях их старших родственников и знакомых.

Но потребность познакомиться с бытом дореволюционной русской деревни, в которой традиции еще не были порушены социальными катаклизмами начала XX в., глубоко перестроившими весь уклад, сохраняется. Однако если в изучаемых селах в самом начале XX в. не работали экспедиции, не бывали представители научной, творческой интеллигенции из городов, то описаний особенностей материальной культуры и бытового уклада и любых других письменных свидетельств о них, как правило, не существует. В тех редких случаях, когда описания, характеризующие культуру начала XX в., были сделаны, они становятся уникальными и ценнейшими историческими и этнографическими источниками. Чаще такие описания делались человеком сторонним. Подобные свидетельства – это взгляд «извне», они дают в целом объективную картину, но неизбежно при этом теряют некоторые тонкости, нюансы, знания о которых доступны в основном членам описываемой группы. Письменное свидетельство о культуре и традициях, отношениях между разными социальными слоями и группами русских крестьян в начале XX в., подготовленное выходцем из крестьян на основе своих воспоминаний – это вдвойне редкий и ценный документ. В данной статье сделана попытка представить и проанализировать один из таких источников, а именно – воспоминания о детстве, крестьянском быте и укладе, отношениях между обеспеченными и бедными слоями крестьянства в начале XX в. в с. Карлыханово (до революции Емашинской, а с 1917 г. – Огушинской волости, тогда название его писалось через «о» – Корлыханово), подготовленные и опубликованные уроженцем села, сыном небогатого крестьянина, Павлом Михайловичем Кучиным. Эти воспоминания – часть его книги «Покуда сердце бьется» [9], посвященной описанию бурных событий его молодости, связанных с гражданской войной. Село Карлыханово расположено на северо-востоке Башкортостана, в Белокатайском районе, в нем автор статьи в составе комплексной этно-

графической экспедиции (2012 г.) проводила полевые исследования материальной культуры русских (по гранту РГНФ 11-11-02006 – а(р)). Русское население северо-восточных районов РБ представлено преимущественно потомками переселенцев из бывшей Пермской губернии, которые, помятуя об исторической родине, именовали себя «кунгуряками». Материалы полевых этнографических исследований среди «кунгуряков» Башкортостана, осуществленные в Дуванском (2011, 2014), Белокатайском (2012) и Мечетлинском р-нах (2013), позволяют автору сравнивать сведения, изложенные П.М. Кучиным, с собственными материалами.

П.М. Кучин в своей книге воспроизводит устные предания о происхождении сел и народные названия близлежащих гор: «Ногушам и Корлыханово годов уж, поди, по двести, если не больше<sup>1</sup>. Старики сказывают, что самые первые корлыхановцы и ногушинцы пришли в наши места из деревни Ключи – из-под Суксун-завода и города Кунгура [...] Стоят наши деревни на берегу реки Ик, в которую впадают еще две речки, две Ногушки. Рядышком две высоченные горы – Козья и Карабатовская» [9, с. 9]. На начало XX в. (в 1902 г.) в Карлыханово фиксировались 380 дворов, в 1917 г. – 514 хозяйств, а в 1920 г. – 510: «Ничего деревня, немаленькая: полтыщи домов! А рядом Ногуши – там у нас волость. Ногуши с Корлыханово вместе уже слились. Длиннущее получилось поселение, на двенадцать верст, город без малого» [9, с. 8]. Ногуши и Карлыханово находятся рядом и до 1886 года Карлыханово даже не считалось отдельным селом, а относилось к с. Ногуши. Центром села была церковь: «Корлыханово от церкви и от площади начинается. Они, как положено, на сугорке» [9, с. 9].

Много в книге живых свидетельств о крестьянском хозяйстве, о полевых работах, о домашних занятиях, отхожих промыслах и подработках, которые вынуждены были искать в бедных семьях, о том, что в них работали все, даже дети. О системе земледелия и основном пахотном орудии автор сообщает: «У нас, как у всех в деревне, трехполка. Отдыхает третья часть земли. Пашем мы сабана-

<sup>1</sup> Ногуши были основаны в 1788 г., Корлыханово основал Нестор Ульянович Корлыханов, поставивший свой дом-хутор на арендованных у башкир землях [10, с. 567].

ми. Это, конечно, не соха, только не совсем и плуг. Еще до восхода солнца начинаем работу» [9, с. 15].

Автор описывает основные работы на поле: посев, страду, сенокос, обмолачивание собранного урожая. Самым тяжелым временем, по воспоминаниям Кучина, была страда, когда в поле выезжала вся семья: «Утром мы всегда встаем до восхода и работаем до завтрака. Потом – до обеда. Этот обед у нас называют «паужина». [...] Отпаужинав, ложимся отдохнуть на часок, а там – снова работа, до вечера. Ужинаем в темноте, при костре. И так несколько недель кряду» [9, с. 16]. При описании работ в поле автор обращает внимание на распределение работ между взрослыми членами семьи и подрастающими: «Серпа мне старшие еще не доверяют. [...] Мне тоже дадена работа – стаскиваю снопы», а вечером «перед ужином стасканные снопы ставим в суслоны. Они встают ровно – издалека все равно что шеренги солдат» [9, с. 16].

Автор описывает работы в поле не как тяжелый, изматывающий, изнуряющий труд, но как совместное бытие семьи, в котором есть и романтика ночных ужинов, и беседы у костра, и многое другое: «Еще интересней на сенокосе. Вот уж где и песен, и шуток, и веселой возни на отдыхе... Правда, тут надо спешить да спешить: день уборки сена короток. Иногда даже обед не устраивается» [9, с. 16–17]. Интересны с этнографической точки зрения сведения о подготовке собранного урожая к обмолоту: «А еще я здорово люблю молотьбу цепами-молотилками. Машины-молотилки у нас нет. Снопы обмолачиваем вручную. Сперва сушим их в печах-овинах. Потом молотим. Работают сразу или отец с мамкой, или кто-нибудь из них с братом. Отец или мать всегда за старшего» [9, с. 16]. П.М. Кучин не просто отмечает этапы годового цикла крестьянских работ на земле, он видит и передает их красоту и поэзию... Любуется отработанностью и ритмичностью движений на уборке в страду: «Я люблю сидеть на меже и глядеть, как работают серпами отец, мать и старший брат. Они словно вперегонки идут, но самый спорый – Николай. Он так и играет серпом!». Описывая работу цепами, он пишет: «Получается как у кузнеца и молотобойца. [...] На молотьбе и старший не только указывает, куда надо бить, но и сам бьет. Работают, будто музыку играют – и складно и ладно» [9, с. 16].

Семья П.М. Кучина была небогатой. Причиной бедности служил пожар: «“Красный петух” будто слизнул все. Отец, мать, бабушка и двое малолеток-детишек остались почти голыми. Помощи ждать было неоткуда. Несмотря на все старания отца и матери, восстановить хозяйство так и не удалось [...] Из нужды так и не выбивались» [9, с. 12]. Старшие мужчины, окончив работы на земле, старались подзаработать: «По зиме отец и старший брат Николай обычно начинают собираться «в отход». Правда, отец не уходит, а уезжает – в самую Сибирь, плотничать. А брат – в город. Зачем они покидают дом – тоже дело ясное: хотят подзаработать денег. Но денег им почему-то всегда едва хватает только на еду» [9, с. 13]. В условиях крайней нужды подрабатывать приходилось всем членам семьи, выполняемые работы соответствовали полу и возрасту: «Тяжелее всех приходится мамке. Она почти все время батрачит у Клыкковых: моет полы, стирает белье. Или нанимается полумойкой в церковь и школу. [...] Сестренка Саша с семи лет идет в няньки. Надо зарабатывать свой кусок хлеба. В десять о нем начинаю задумываться и я: пасу коров или работаю на пахоте и бороньбе. Такова уж наша бедняцкая доля» [9, с. 12]. Небольшим заработком детей мог стать и сбор ягод. Автор описывает, как он с сестренкой собирал в ближайшем к селу сосновом бору землянику: «Наберем полные чашки – и скорей домой, маму порадовать [...] А мама тем временем лучшие ягоды в другую чашку отберет, и мы их несем к тетке Клыкхихе продавать. Денежку опять маме. Все добавка при нужде – на чай, на сахар» [9, с. 10–11].

Павел Кучин с теплотой вспоминает семейные зимние вечера и домашние занятия всех членов семьи: «Морозная зима, короткий день, длинные ночи. Вечера коротаем при копилке, а если нет керосина – при лучине. В такие вечера вся семья обычно в сборе. Все заняты работой. Отец плетет лапти. Мама сидит за прялкой. Старший брат, Николай, вьет веревки из мочала или ремонтирует конскую сбрую» [9, с. 13–14]. Труд каждого необходим. Автор запомнил, как отец «ловко берет в руки несколько длинных лык, складывает их накрест и начинает ковырять коточиком с утиным носом-лопаткой. И вот уже получается какое-то маленькое корыто, потом оно превращается в большой башмак. Вечер – и готова пара

лаптей [...] Лаптей надо много, а никто о них и заботы не знает. Отец всегда успевает» [9, с. 14]. Наблюдая за мамой и сестренкой, П.М. Кучин запечатлел и зимние женские домашние труды, важные не только для обеспечения семьи в будущем текстилем и одеждой, но и в плане воспитания в девочке будущей хозяйки, владеющей навыками прядения и ткачества, которые помогут ей приготовить приданое, в будущем ткать на всю семью: «Люблю я поглядывать и на маму – как ловко и быстро за прялкой орудует она руками: левой дергает пряжу, правой крутит веретено, а за ним тянется и тянется нитка. Рядом с мамой на лавке сидит за прялкой Саша. Мама внимательно следит за работой сестренки, помогает, подсказывает. Еще бы! Саша – девочка, ей надо обязательно научиться пряхть, как мама. И еще ткать. Это тоже у нас в деревне женское дело. Только ткут весной. Поставят кросно – деревянный станок – и ткут. Из полотна потом делают портянки, мешки, скатерти, рубахи, штаны и зипуны» [9, с. 14–15]. Так, описывая домашние занятия, П.М. Кучин кратко сообщил и о крестьянской одежде: зипунах, рубахах, штанах, портянках и лаптях, а чуть ранее и о том, что в их бедной семье «кроме лаптей, нет никакой обуви» [9, с. 8]. Воспоминания о крестьянском быте и домашних занятиях наших информантов совпадают с вышеописанными, в селах мы встречали деревянные пряжи (детские в том числе), ткацкие станки, *коточки* для плетения лаптей, лапти, зипуны, холщовые штаны и рубахи.

П.М. Кучин в воспоминаниях о своем детстве сообщает информацию не только о хозяйственных занятиях, но также и о традиционной архитектуре. Так он описывает интерьер избы: «В углу большая русская печь. Возле нее, под самым потолком, полати. Вдоль стен деревянные лавки. В переднем углу стол. Над ним, почти под самым потолком, божница. Возле печи деревянные полки для посуды. Изба смотрит на волю четырьмя махонькими окнами» [9, с. 11].

Описанный интерьер был характерен для жилищ «кунгуряков». Сегодня многие его особенности еще можно встретить в старых русских домах на северо-востоке Башкортостана. Печь ставили справа от входа, соответственно, крас-

ный угол был слева, он располагался традиционно напротив печи (по диагонали).

Описывая свой дом, автор сообщает и о кровельном материале: «Крыша избы крыта древесной дранкой. В дождливую погоду протекает» [9, с. 11]. В жилище бедняка согреться зимой было сложно: «Стены тоже такие старые, что в холода везде так и сквозит. Одно спасение от стужи зимой железная печка. Она ставится посреди избы. Железная труба от печурки проведена в чело печи. Но тепло от железки недолго держится в избе. Вдвойне холодно по ночам, вся постелишка – тряпье; ни подушек, ни одеял. Заместо них та же верхняя одежда. Хорошо еще – есть полати» [9, с. 11]. На полатах, расположенных над входом в избу (от печи до противоположной стены), спали дети. Наши информанты также рассказывали нам, как в довоенные, военные годы для сна стелили одежду и укрывались теплой одеждой.

Описывая крестьянский быт, П.М. Кучин сообщает и то, какими способами защищались в крестьянских семьях от клопов: «Спасаясь от клопов, мы в летнее время спим во дворе. Когда наступает похолодание, ложимся в избе на полу, а постели обкладываем полыню. Клопы не любят ее запаха. Правда, и у самих нас от полыни утрами трещит голова и горечь во рту не проходит долго. От тараканов тоже неприятностей немало. Летом в избе их не так уж много. Они уходят во двор – ищут пропитания. Но как наступят холода, возвращаются “на зимние квартиры”» [9, с. 11]. Кратко охарактеризованы в книге постройки во дворе: «Надворных построек у нас немного: холодный загон для лошади и коровы и навес для дров» [9, с. 12].

В бедной крестьянской семье пища тоже была скромной. Обязательным на столе был хлеб, но и тот для праздников и буден был разный: «Чаще едим ржаной – он дешевле. Пшеничный лишь по праздникам. Мясо и рыбу – тоже. Обычно на столе только хлеб, квас, капуста, картошка и лук» [9, с. 12], покупали «чай, сахар, хлеб» [9, с. 8], т.к. даже при экономии ржаного хлеба не хватало на весь год: «Своего хлеба нам хватает не дольше как до нового года. Шесть месяцев в году его покупаем. Хлеб берем в счет работы у тех же Клыковых» [9, с. 12]. Летним лакомством для детей была собранная ими же ягода. П.М. Кучин вспоминает, как его и его сестренку угощала мама: «нальет в чашку

молока студеного, насыплет в него ягод, отрежет по большому ломтю хлеба. «Ну, покушайте. Проголодались, поди?» [9, с. 10]. В редкие дни крестьянским детям случилось полакомиться маминной выпечкой и теплые воспоминания об этих счастливых минутах хранились всю жизнь: «Сквозь сон чувствую: ласковая рука гладит мою голову. Глаз открыть не могу. Слышу мамин голос: «Паша, сынок... Вставай... Беги умывайся, я блинов напекла». Одно слово «блины» срывает меня с постели. Сон как рукой сняло. Блины! До чего же это хорошо! Мама редко кормит нас блинами» [9, с. 5]. Стол стоял под иконами, во главе стола всегда сидел отец и за столом всегда соблюдался неписанный крестьянский этикет, который нашел отражение и на страницах, посвященных детским воспоминаниям: «За столом уже все в сборе: отец, двое старших братьев и сестренка. На сковородке аппетитная горка блинов, от них идет такой духовитый парок, что нет никакого терпения, так хочется взять румяный блин. Нельзя – легко схлопочешь затрещину. Мама все еще у печи. Я нетерпеливо поглядываю в ее сторону. Наконец она подходит к столу и ставит рядом с блинами чашку сметаны – для старших. У младших – меня и сестренки – своя чашка. Наступает долгожданная минута. У-ух... С наслаждением уплетаю за обе щеки» [9, с. 6]. Украшением стола, весьма престижным предметом в крестьянском доме был самовар: «Самовар в деревне большая ценность. Для нас это самая дорогая штука» [9, с. 13].

После завтрака взоры обращаются к иконе, которая стояла на божнице, «окруженная бумажными цветками и прошлогодними вербами» [9, с. 6]. Автор вспоминает: «Начинаю по-быстрому креститься. Мама приглядывает за мной [...], подсказывает что и как надо делать [...] Берет мою правую руку, складывает вместе три пальца: большой, указательный и средний. “Вот только так надо креститься. А кто молится не по правилам, тот еретик, его бог накажет”» [9, с. 6–7]. Такие уроки в селе Карлыханово были актуальны, т.к в нем проживало много старообрядцев. Павел Кучин упоминает и о карлыхановских старообрядцах, и о старообрядческом кладбище, которое сохранилось до настоящего времени: «Недалеко от церкви, на горке, кладбище. Чуток подальше еще одно есть. Мама говорит, что там только староверов хоро-

нят, на наше кладбище их нельзя носить – неправославные они, еретики. А староверы и в наших деревнях, и в соседней, в Емашах, все Клыковы, богатящие купцы. Рядом с нашей церковью они свою молельню выстроили, деревянную, а дом карлыхановских Клыковых даже лучше батюшкиного: двухэтажный пятистенок. В доме добра разного видимо-невидимо, даже в будни горит лампа-столинейка под зеленой крышечкой-абажуром» [9, с. 10]. Проживание этих купцов в селе оставило свой след и в его топонимике: «их околоток Клыковкой называть» [9, с. 10].

Присутствие в богатом доме лампы под зеленым абажуром красноречиво свидетельствует о вторжении предметов городской моды в сельский быт. В начале XX в. проникновение в село элементов городской культуры происходило прежде всего в среду состоятельных и образованных людей. Проводниками этих культурных импульсов служили в первую очередь школы. Так, яркий след в детских воспоминаниях у Павла Кучина оставил случайно увиденный в школе спектакль местного драмкружка – явление также новое для сельского досуга в начале XX века: «меня никто не звал. Там были взрослые. Но я все равно юркнул в дверь и забился в самый темный уголок. Сидеть было неловко: жали отовсюду, и духота стояла – не продохнешь. Зато как все здорово на сцене! И мужик, и барин – как настоящие. И все говорят складно, и разыгрывают всякие смешные истории» [9, с. 19].

Социальные и экономические различия в среде односельчан в начале XX в. были уже весьма ощутимы, все глубже становилась пропасть между богатыми и бедными семьями. Школы были не только проводниками городских традиций в сельский быт. Они могли стать и социальным трамплином для детей из бедняцких хозяйств. В Карлыханово одноклассное училище было открыто в 1884 г., а в 1896 г. в Карлыханово была заложена и в 1902 г. построена (на средства земств и уездной Земской Управы Златоустовского уезда) школа из красного кирпича – двухклассное училище. Павел Кучин так описывает это училище: «Школа кирпичная, одноэтажная. Она называется двухклассным училищем. Учиться в ней надо 6 лет: в первом классе – четыре года и во втором – два. После окончания училища можно поступать в средние учебные заведе-

ния: учительскую или духовную семинарию» [9, с. 17–18]. Это было шансом для детей из бедных семей сделать карьеру. П.М. Кучин упоминает поступивших после окончания этой школы в учительские семинарии, в том числе и своего брата Федора: «С отличием окончил то же училище и решил продолжать учебу. Уехал в Челябинск. Пришел в учительскую семинарию, выдержал экзамены, стал студентом» [9, с. 23]. Другой выпускник этого двухклассного училища, окончивший учительскую семинарию в Благовещенске, Обвицев Иван Дмитриевич, стал в скором времени заведующим карлыхановской школой [9, с. 10]. Обучившись в школе, дети могли стать у себя в селе псаломщиками: «Мы должны знать весь порядок богослужения, который бывает в церкви в воскресенье и праздничные дни, да еще обряды крещения, бракосочетания и отпевания мертвых. Вот сколько! Проходим даже специальную практику. Это так бывает: законоучитель велит кому-нибудь из нас приходить в церковь, и Васька, Петька или Ванька становятся псаломщиком» [9, с. 18].

В семье П.М. Кучина родители дали образование всем сыновьям. Его старший брат Николай окончил двухклассное училище вместе с первым выпуском, средний брат Федор окончил то же училище с отличием [9, с. 23]. Павла грамоте учили в его семье братья, в результате он уже в шесть лет знал буквы и считал до 100, его приняли в школу в шестилетнем возрасте: «Узнав, что в нашей семье есть грамотные люди, учительница говорит, что правила запрещают в таком возрасте принимать детей в школу, но она сделает для меня исключение!» [9, с. 17]. Поступив, Павел учился хорошо, в своих воспоминаниях он упоминает и о специальном стишке, которому учили детей, чтобы им было легче запомнить слова с «ятью»: «Когда у других еще полным-полно ошибок в письме из-за «яти», я всегда могу отбарабанить стишок, в котором все слова с «ятем» [9, с. 20]. Семья Кучиных была не единственной семьей бедняков, в которой давали детям образование. Павел вспоминает друга: «Вот Степа Ардашев. Живет он хуже меня. Отца нет, одна мамка, а у Степки еще два брата и две сестры. Моя мамка говорит, что Степкина мамка все жилы давным-давно вытянула на работе, а ребятишек своих правильно в жизнь выводит – все ардашата в школе учатся» [9, с. 20]. И все же такая картина

не была характерной, т.к. образование было доступно главным образом материально и финансово обеспеченным слоям крестьянства, что отмечал и П.М. Кучин: «В наше училище ходят ребята из восьми больших сел. В них, говорят, пять тысяч жителей. А во второй класс попадают только человек 15–20. Да и кто учится? Четверо священниковы «барчата», шестеро купчата, еще шестеро дети учителей да из богатых семей двенадцать человек. Нас, бедняков, всего двое» [9, с. 20].

Автор описывает, как проходили в школе выпускные экзамены: «Экзаменуют четверо: инспектор народных училищ, два учителя и священник. Экзаменуемый подходит к столу, ему задают вопросы, на обдумывание времени не отводится. Экзамен проходит при всех учащих» [9, с. 25]. На подготовку к нему выделялось 10 дней. Павел Кучин сдает выпускной экзамен на отлично и инспектор «находит почему-то нужным трех учеников, в том числе и меня, вызвать к себе. Спрашивает, хотим ли мы продолжать учебу и если хотим, то в какое учебное заведение намерены поступить» [9, с. 25]. Павел, мечтавший об учебе, отказывается, ибо знает, что его руки нужны в хозяйстве и родителям без него будет очень тяжело.

Но детство остается детством, работа (даже если ее очень много) и учеба не исчерпывают всех буден, в них остается место и для детских игр: «То на реке, то в лесу – мало ли занятий летом? А в ночное? Наберем картошки, разведем костер – печенки пекутся. Темно... Только кони боталами позвякивают да похрустывают травой. Или дергач прокричит в болоте. И тишина... Каких только рассказов не наслушаешься за ночь!» [9, с. 21]. В холодное время иные развлечения: «Зимой лотков наморозим – целые поезда с горы носятся» [9, с. 21]. С распространением грамотности популярным становится чтение: «Хлебом нас не корми, только дай книжку поинтересней. Правда, книгу в деревне достать трудно» [9, с. 21].

Приведенные в воспоминаниях П.М. Кучина факты дополняют и уточняют наши сведения о культуре, быте, укладе жизни русских крестьян – «кунгуряков» в самом начале XX в., об отношениях между различными социальными слоями в русском селе в тот период. В свою очередь, собранные в ходе полевых исследований материалы и артефакты прекрасно иллюстрируют эти описания.



**ЛИТЕРАТУРА**

1. Бусыгин Е.П. Материальная культура русского населения западных районов Башкирской АССР // Географический сборник. Вып. 2. Казань, 1967. С. 108–127.
2. Данилко Е.С. Старообрядчество на Южном Урале: Очерки истории и традиционной культуры. Уфа: Гилем, 2002. 216 с.
3. Черемшанский В.М. Описание Оренбургской губернии в хозяйственно-статистическом, этнографическом и промышленном отношениях. Уфа, 1859. 472 с.
4. Семенов-Тянь-Шанский В.П. Россия. Полное географическое описание. Настольная и дорожная книга. Т. V. СПб., 1914.
5. Нечвалода Е.Е. Русские: материальная культура как форма адаптации к природному и этнокультурному ландшафту // Этнокультурные процессы на Южном Урале в XX – начале XXI в. Уфа, 2015. С. 50–75.
6. Галиева Ф.Г. Этнографические исследования русского населения Башкортостана. Уфа: Гилем, 2012. 168 с.
7. Галиева Ф.Г. Русские Башкортостана: крестьянский быт, календарные обряды и праздники. Уфа: Китап, 2014. 260 с.
8. Русские Айско-Юрюзаньского междуречья (история, антропология, культура): историко-этнографические очерки. Уфа, 2012. 380 с.
9. Кучин П.М. Покуда сердце бьется. Свердловск: Средне-уральское книжное издательство, 1969. 120 с.

**References**

1. Busygin E.P. Material culture of the Russian population in the western parts of the Bashkir Autonomous Soviet Socialist Republic. *Geograficheskiy sbornik*. Issue 2. Kazan, 1967, pp. 108–127.
2. Danilko E.S. The Old Believers in the South Urals: Essays on the history and traditional culture. Ufa, Gilem, 2002. 216 p.
3. Cheremshanskiy V.M. Description of the Orenburg Province in economic, statistical, ethnographic and industrial relations. Ufa, 1859. 472 p.
4. Semenov-Tyan-Shanskiy V.P. Russia. Comprehensive geographical description. Information book. Vol. 5. St. Petersburg, 1914.
5. Nechvaloda E.E. Russians: Material culture as a form of adaptation to natural and ethnocultural landscape. Ethnocultural processes in the South Urals during the 20th and the early 21st centuries. Ufa, 2015, pp. 50–75.
6. Galieva F.G. Ethnographic research on the Russian population of Bashkortostan. Ufa, Gilem, 2012. 168 p.
7. Galieva F.G. Russians in Bashkortostan: Peasant life, calendar rites and festivals. Ufa, Kitap, 2014. 260 p.
8. Russians in the Ay-Yuryuzan interfluve area (history, anthropology, culture): Historical and ethnographic essays. Ufa, 2012. 380 p.
9. Kuchin P.M. As long as the heart beats. Sverdlovsk, Sredne-Uralskoe knizhnoe izdatelstvo, 1969. 120 p.

---

**THE RUSSIAN VILLAGE OF KARLYKHANOVO IN THE EARLY 20th CENTURY  
ACCORDING TO THE MEMOIRS OF P.M. KUCHIN**

© **E.E. Nechvaloda**

Kuzeev Institute for Ethnological Studies, Ufa Scientific Centre, RAS,  
6, ulitsa K. Marksa, 450077, Ufa, Russian Federation

The purpose of this article is to introduce for scientific use the ethnographic materials about the village of Karlykhanovo (Belokataysky District of Bashkortostan) that characterize the life of the Russian peasant population of the northern part of the 4th *stan*, Zlatoust *uyezd*, in the early 20th century. These materials are found just at the beginning of the memoirs «As Long As The Heart Beats» written by Pavel M. Kuchin, a native villager and a participant of the Civil War, and deal with his childhood and youth, though the greater part of the book tells about the author's service in the Red Army. The importance of this source is not only in the fact that more than a century divides us from the events described in it, but also in the fact that this evidence reflects not a detached observation, but a view from the inside. It depicts a variety of individual instances and at the same time recreates the daily life as an organic unity of different aspects of tangible and intangible traditional culture. The relevance of publishing these materials is that such written evidence about the peasant traditional culture in the early 20th century given by an actual tradition-carrier are very rare, and there are no other evidence about the life of Kunguryaks in the early 20th century, because the informants asked now by ethnographers were born in the 1920s or 1930s.

The memoirs of P.M. Kuchin take the life of a poor family as an example and describe briefly the economy of the Russian «Kunguryak» peasants, their field work, indoor activities, seasonal work in different branches (*otkhodnichestvo*), traditional architecture and the interior of peasant houses, everyday and holiday meals, etc. Moreover, the book characterizes a heterogeneous religious composition of the villagers, describes Old-Believer merchants and mentions a separate Old-Believer cemetery existing to the present day. These materials supplement and help understand information obtained during previous expeditionary research in the village of Karlykhanovo and other Russian settlements of northeastern Bashkortostan.

Key words: ethnography, South Urals, Russians, «Kunguryaks», peasant life, education in rural areas.

## ОБЕРЕГИ СОВРЕМЕННЫХ БАШКИР В КОНТЕКСТЕ ЭТНОКУЛЬТУРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

© Ф.Г. Галиева

Автор ставит цель выявить обереги, популярные у современного башкирского населения, а также установить, как на примере этого элемента этнической культуры соединяются традиции и новации, связанные с межэтническими и межконфессиональными взаимодействиями. Основными источниками для исследования послужили полевые материалы автора последних лет. Сделаны выводы о том, что в системе оберегов современных башкир соседствуют этнические и заимствованные из других культур, сочетаются языческие, исламские, христианские и иные обычаи. Несмотря на то что ислам признает амулеты лишь в виде записей мусульманских молитв, а башкиры в большинстве своем считают себя правоверными мусульманами, современники наряду с таковыми носят в качестве оберегов «глаз Фатимы», фигурки животных и мифических существ. В кроватке малыша находятся религиозные книги и одновременно веточки рябины и ножницы. Сохранилась вера в магию камня (простого и полудрагоценного), продуцирующую и охранительную силу диких животных (медведей, волков), эффективность традиционных средств от «сглаза» (яркие цвета одежды, украшения). Применяются в обережных целях металлические предметы (игла или булавка в свадебном платье), разнообразные растения (можжевельник, рябина, чертополох, березовая чага) и продукты питания (хлебная лепешка для новобранца). Появились «кошельковые» (носимые в бумажнике) обереги, в том числе в виде распечаток изображений из интернета. Обережными мерами считаются прослушивание аудиозаписей Корана, произнесение слов «Тьфу-тьфу, как бы не сглазить», «Алла бирһа» («Дай Бог»), запрет показывать новорожденного посторонним. Из русской культуры некоторые башкиры заимствовали обычай с целью очистки от «нечисти», «негативных энергий» обхода помещения с помощью свечи, опрыскивания святой водой, купания в крещенской иордани и святых источниках, хранения оберега-иконки в виде открытки, сувенирных подков, кукол-оберегов. Из восточных культур перенята вера в чудодейственность оберегов-лягушек, слонов, черепах и пр. В условиях нестабильной социально-экономической и морально-психологической ситуации через обереги люди пытаются обрести уверенность в завтрашнем дне.

Ключевые слова: современные обереги башкир; заимствование русских обычаев; сочетание языческих, исламских, христианских традиций; мифологизация массового сознания.

Каждая этническая культура в процессе исторического развития формировала обереги, а также амулеты и талисманы. Эти три слова имеют семантические отличия. В широком смысле к *оберегам* (др.-рус. «оберегать») относят предметы, заговоры, молитвы, уроки, наговоры, нашепты. В узком смысле – это вещи, обладающие, по народным представлениям, способностью защищать их владельца, дом, хозяйство, скот, транспортное средство от разного рода бедствий. (Например, для этого вешают подкову над дверью.) *Амулет* (лат. *mulētum*; араб. ارتداء – «носить») с целью защиты от несчастий, болезней, действия «злых чар» носится на теле или одежде, часто как украшение. (Драгоценные и полу-

драгоценные камни.) *Талисман* (греч. Τέλεσμα – «посвящение», «чары», «заклинание») – предмет, живое существо (человек, животное), персонаж, который приносит счастье, удачу, служит также оберегом. (Артефакты, куски янтаря, раковины, необычные камни, детские игрушки.) Амулеты, талисманы часто объединяются понятием обереги. Есть еще понятие *apotropeia* (др.-греч. ἀποτροπή – «отвращающий беду») – магический атрибут, которому в древности приписывали свойства оберегать людей, животных, жилища от злых сил. (Не только нательные амулеты, но и архитектурные рельефы в виде звериных морд.)

В настоящей статье автор ставит цель выявить обереги (включая амулеты и талисманы), по-

пулярные у современного башкирского населения, а также установить, как на примере этого элемента этнической культуры соединяются традиции и новации, связанные с межэтническими и межконфессиональными взаимодействиями. Основными источниками для исследования послужили полевые материалы автора последних лет.

Выявлено, что современники активно интересуются оберегами с целью сохранения здоровья, улучшения материального положения и «укрепления духа», успешного проведения мероприятий, развития бизнеса, привлечения и сохранения согласия в семье и т.п. Всплеск интереса наблюдается в семьях, которые ждут рождения ребенка, готовятся к свадьбе, то есть в переломные, наиболее важные моменты жизни. Спрос рождает предложение, и разные сайты интернета и торговые точки предлагают «проверенные» «древнетюркские», «древнеславянские» и «новые каталоги» оберегов. Их можно сделать по заказу в мастерских (из серебра, золота, дерева, кожи, керамики) либо самим по инструкциям в социальных сетях.

Уникальность современной ситуации в том, что многие башкиры обладают высокой религиозной идентичностью, называют себя правоверными мусульманами (как и русские – правоверными христианами). При этом верят и в силу оберегов, амулетов, талисманов, которые религиозные служители причисляют к атрибутам магии, оккультизма, нечистой силы. Мусульманские священнослужители в основном критикуют пристрастие башкир (и татар) к стеклянному синему глазу («глаз Фатимы») [1]. Однако они пользуются спросом, тем более что привозятся из стран мусульманского Востока. «Глаз» от «сглаза» можно встретить в виде подвески в салоне автомобиля, булавки на одежде, на брелоке для ключей и витрине магазина.

С давних пор башкирские невесты втыкают булавку или иголку в подол свадебного платья, беременные женщины – в одежду, молодые мамы – в обивку детской коляски. Впрочем, изделия из металла сохранились как универсальные и «очень сильные» у разных народов. Это связано с их свойствами – твердость, прочность, долговечность, связь с огнем [2, с. 137]. Башкиры, татары, русские, чувашы, марийцы нередко обращаются

также к ножницам (кладут под подушку беременной женщине или новорожденному). Армяне как оберег используют кинжалы, шампуры (прячут под подушку) [3, с. 189]. Некоторые башкиры новорожденным детям на шею с целью оберега надевают серебряную цепочку. Женщины носят серебряные украшения («серебро отталкивает нечисть», в то время как «золото притягивает»).

Растительными оберегами у башкир традиционно служат рябина (кладут в карман, детскую коляску, пришивают к подолу платья), чертополох (крепят в стенах сеней домов и прихожих квартир) и особенно можжевельник, больше известный под названием *артыш* (ветки ставят в вазы; это растение стараются выращивать дома в горшках и на земельных участках). Артыш, а также душицу и березовую чагу используют при окулировании помещения, где находится беременная женщина или ребенок, им очищают пространство после выноса покойника. В ряде случаев веточку можжевельника пришивают к детской шапочке.

У башкир отчасти сохранилось обращение к оберегам животного происхождения. Еще в эпоху первобытного фетишизма люди вешали на себя фрагменты убитой добычи (зубы, когти), о чем свидетельствуют археологические коллекции музея ИЭИ УНЦ РАН в Уфе. По полевым исследованиям, ряду животных по-прежнему приписывается охранительная, а также продуцирующая и исцеляющая функции. В некоторых башкирских селениях Бурзянского района на чердак дома беременной женщины принято класть медвежью шкуру, в укромное место помещать когти медведя или волка [4].

В современной практике используют в качестве оберегов продукты питания. Отправляя сына в армию, пекут небольшую лепешку. Новобранец должен ее откусить и съесть, оставшуюся часть хранят в укромном месте для благополучного возвращения со службы. В мечетях республики некоторые муллы «заговаривают» воду, сахар, чай и другие продукты питания. Считается, что магические свойства обретает соль, которая стояла перед священнослужителем во время чтения молитв. Высоко ценится вода из святых мест, святых источников.

Сохранилась вера в обережное значение ярких цветов. Исходя из того что в прошлом, по

представлениям башкир, взглянуть можно было не только людей, но и животных, и даже растения, разноцветные лоскутки тканей вплетались в гриву лошади, крепились на деревья, борти пчел [5, с. 278]. В наши дни, чтобы «отвлечь глаз» недоброжелателя, рекомендуется яркая одежда, аксессуары и украшения.

У населения произошло наложение слоев мировоззренческих представлений – языческих, исламских, заимствованных из иноэтнических культур – соседних и дальних. Еще С.И. Руденко приводил пример, когда на женскую деталь одежды *хэситэ* нашивались всевозможные молитвы, изречения из Корана, заклинания, талисманы и амулеты [5, с. 161]. Исследователи традиционной культуры отмечали наличие на детской колыбели закрепленных колец, стрел, монет, камней из священных мест, закатанных в шерсть; волос младенца, зашитых в тряпочку или кожу; изречений из Корана; мешочков с пуповиной или плацентой новорожденного; волчьих, медвежьих, барсучьих когтей или зубов; плодов рябины и можжевельника [6, с. 347].

Как и раньше, практикуются обережные меры. Помещение окуривают травами, с молитвами обходят жилище, иногда по примеру русских с горящей свечой, опрыскивают святой крещенской водой. Считается эффективным купание в иордани, святых источниках (рядом с санаторием «Красноусольск», «Танып» и многих других). Обережными мерами считаются посещение святых мест, мечетей, чтение или прослушивание молитв, в том числе аудио-записей Корана, произнесение слов «Алла бирһа» («Дай Бог»), но также «Тьфу-тьфу, как бы не взглянуть», запрет показывать новорожденного посторонним, посещать беременным женщинам кладбище и пр. Малышам ставят метку помадой на лбу, трижды проводят над изголовьем ладонью со словами «Бисмиллахир рахманир рахим». Те же слова говорят в начале мероприятий, закрытии дверей дома на ночь. К служителям культа обращаются также с целью обеспечения безопасности и хорошей службы автомобиля.

В современной квартире или доме башкира можно увидеть на стене выдержку из Корана, а в более укромном уголке – небольшую, в виде открытки православную иконку и пасхальное яйцо,

преподнесенное соседом-христианином. В качестве оберегов висят сувенирные лапти, дошедшие с языческих времен подковы и куклы-обереги. В последнее время обережный кластер дополнили лягушки фэн-шуя, черепахи («приносит счастье, гарантирует долгую жизнь и здоровье»), слоны («олицетворяют мудрость, доброту, терпение и интеллект»). В качестве подвески носят свой знак зодиака (телец, стрелец, водолей и пр.).

Этнокультурное заимствование имеет многовековую историю. Примером служат раковины каури, эти брюхоногие моллюски, называемые также ципреиды и фарфоровые улитки (лат. *cypraeidae*, англ. *cowry, cowrie*), родом из теплых тропических морей, много веков назад преодолевшие тысячи верст и вошедшие в культуру не только башкир, но и многих народов Урало-Поволжья, выполняя в разные времена функции обережные, магические, символические, эстетические, практические (мера обмена товаров, прообраз и функция монет в Новгороде и Пскове в XII–XIV вв.), ритуальные (шейное украшение чувашского жениха). Среди ученых идут споры о путях завоза каури в Урало-Поволжье – с Запада или Востока, усилиями арабских купцов [7]. Возможно, были поставки с обоих направлений. К носителям бахмутинской (мазунинской) культуры (III–VIII вв.) они проникли вместе с другими изделиями мастеров Ближнего Востока, Причерноморья, Кавказа, Индии и Ирана [8, с. 105]. Каури и ныне украшают национальный костюм башкир, хакасов, чувашей, марийцев и других народов. Как многофункциональный элемент культуры, они одновременно расцениваются как оберег, исходя из аналогии с человеческим глазом. (В чеченских деревнях до сих пор каури вешают на шеи коров и лошадей, в укромных уголках дома и даже к сепаратору, чтобы молоко не скисало.) В прошлом наряду с другими элементами (кораллы, бисер, монеты) каури был символом достатка, высокого социального статуса, постепенно заменяясь монетами, а затем их имитациями. Сегодня ему присваивается способность излечить бесплодие, обеспечить вынашивание и рождение здоровых детей. Интернет полон предложений о продаже каури оптом и поштучно. С их помощью гадают, делают массаж, предлагают уберечься от «дурного глаза».

Кроме каури, с незапамятных времен башкирские женщины при изготовлении национального костюма и украшений используют кораллы (морские колониальные кишечнополостные, главным образом из класса коралловых полипов) из Индо-Тихоокеанского региона. Как правило, используются кораллы красного и розового оттенка («благородный коралл»). Встречается природный янтарь.

Ислам в качестве амулета признает лишь *бетеу*, который представляет запись *аятов* (структурная единица Корана) на арабском языке, *дуа* (мусульманская молитва) на любом понятном языке, помещенный в кожаный мешочек и носимый на веревочке или цепочке на шее. Бетеу сейчас надевают в случае важного и неоднозначного события (у студентов экзамен, у женщин период беременности, у мужчин служба в армии); некоторые носят постоянно. И хотя амулет делают в фабричных условиях достаточно в изящных вариантах, его помещают под одежду. Современные башкирки любят носить на цепочке кулон в виде мусульманского полумесяца. Обережную функцию в доме выполняет книга Коран, суры из него, часто помещенные над дверями, каллиграфические записи слов молитв на тканевых картинах, изречения на кольце, браслете, настенных и ручных часах, появившихся в продаже чайных сервизах и других предметах, а также изображения мечетей.

Новым явлением стали «кошельковые» талисманы – не только аяты на бумаге, помещенные в бумажник, но и купюры (доллары и евро). Последнее, считается, «ограждают от материальных проблем» и «притягивают деньги». Некоторые женщины, пытающиеся зачать ребенка, в бумажнике носят скаченный из интернета оберег «новорожденник», молодожены – «свадебник». На вопрос о происхождении этих явлений не в башкирской (тюркской) культуре, информанты отвечают, что не видят в этом проблемы, ибо «Бог един», и «раз это помогает русским, то поможет и нам».

Традиционные виды оберегов башкир в начале XXI в. сохранились, но наблюдается смещение акцентов. Практически произошел отказ от оберегов животного происхождения (череп лошади на изгороди или когти и перья коршуна на стене кажутся экзотикой) и усиление роли обере-

гов природного происхождения. Как атавизм можно считать обычай современников привозить домой небольшие камни из священных мест (количество таких мест резко увеличилось по причине усиления мифологизации массового сознания). По народным воззрениям, камень является связующим звеном между мирами живых и мертвых, сакральным объектом, заместителем умершего человека в погребениях [9, с. 106], помощником знахарей и ясновидящих. С давних времен башкиры использовали не только декоративные, но и обережные свойства полудрагоценных камней, прикрепляя их к традиционной одежде, предметам быта и конского снаряжения, используя в украшениях женщин и мужчин. Богатые мужчины раньше носили кушаки *кэмэр* (*кэмэр билбау*), которые состояли из ряда серебряных пластинок, покрытых чеканным узором со вставками агатов и бирюзовой осыпью [5, с. 149]. Агат часто применяли женщины (в том числе в металлической оправе в виде пуговиц) на шейных, нагрудных украшениях, повязках через плечо и грудь, вплетаемых в волосы подвесках, перстнях [5, с. 158, 161, 165, 168]. Большинство современников расценивает процесс использования камней в народном костюме, носимый ныне лишь на сцене, как дань моде. Вместе с тем пользуются большой популярностью выставки-продажи полудрагоценных камней. Представители разных этносов живо интересуются обережно-лечебными свойствами камней, в том числе исходя из даты рождения по восточному гороскопу.

Таким образом, в системе оберегов современных башкир соседствуют традиционные и новые, заимствованные из других культур, сочетаются языческие, исламские, христианские и иные обычаи. В условиях нестабильной социально-экономической и морально-психологической ситуации через обереги люди пытаются добиться уверенности в завтрашнем дне. Появились «кошельковые» (носимые в бумажнике) обереги, в том числе в виде распечаток изображений из интернета. Из русской культуры некоторые башкиры заимствовали обычай с целью очистки от «нечисти» обхода помещения с помощью свечи, использования крещенской святой воды, хранения оберега иконки в виде открытки, сувенирных подков, кукол-оберегов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шахбан Хаджи Рамазанов. Что говорит ислам относительно талисманов? URL: <http://islamdag.ru/vse-ob-islame/25485> (дата обращения: 01.12.2015).
2. Салмин А.К. Традиционные обряды и верования чувашей. СПб.: Наука, 2010. 240 с.
3. Тер-Саркисянц А. Армяне. История и этнокультурные традиции. М.: Вост. лит.-ра РАН, 1998. 397 с.
4. ПМА. Информант Г.Г. Бердина (1986 г.р.), с. Старосубхангулово Бурзянского р-на Респ. Башкортостан.
5. Руденко С.И. Башкиры. Историко-этнографические очерки. Уфа: Китап, 2006. 376 с.
6. Башкиры / отв. ред. Р.Г. Кузеев, Е.С. Данилко. М.: Наука, 2015. 662 с.
7. Марина Подольская, Рудольф Буруковский. Заморские ракушки на старинных нарядах // Наш дом – Татарстан. 2010. Вып. №3 (011). URL: [/www.an-tat.ru/zhurnal-nash-dom-tatarstan/32/1908](http://www.an-tat.ru/zhurnal-nash-dom-tatarstan/32/1908) (дата обращения: 01.04.2016).
8. Русланова Р.Р. Бусы могильников Уфимско-Бельского междуречья III–VIII вв.: дис. ... канд. ист. наук: 07.00.06. Ижевск, 2015.
9. Бакшиев И.И. Камень – символ в погребальной практике культур срубно-андроновского круга // Этнические взаимодействия на Южном Урале. Челябинск, 2015. С. 106–112.

## References

1. Ramazanov, Shakhban Khadzhi. What does Islam say about mascots? Available at: [www.islamdag.ru/vse-ob-islame/25485](http://www.islamdag.ru/vse-ob-islame/25485) (accessed December 1, 2015).
2. Salmin A.K. Traditional rites and beliefs of the Chuvash people. St. Petersburg, Nauka, 2010. 240 p.
3. Ter-Sarkisyants A. Armenians. History and ethnocultural traditions. Moscow, Vostochnaya literatura, RAS, 1998. 397 p.
4. Author's field materials. Informant G.G. Berdina (born 1986), village of Starosubkhangulovo, Burzyansky District, Republic of Bashkortostan.
5. Rudenko S.I. Bashkirs. Historical and ethnographic essays. Ufa, Kitap, 2006. 376 p.
6. Bashkirs. R.G. Kuzeev, E.S. Danilko (eds.). Moscow, Nauka, 2015. 662 p.
7. Podolskaya M., Burukovskiy R. Seashells on vintage dresses. Nash dom – Tatarstan, 2010, no. 3 (011). Available at: [www.an-tat.ru/zhurnal-nash-dom-tatarstan/32/1908](http://www.an-tat.ru/zhurnal-nash-dom-tatarstan/32/1908) (accessed April 1, 2016).
8. Ruslanova R.R. Beads from burial grounds of the Kama-Belaya interfluvial area dating back to the period between the 3rd and 8th centuries. PhD Thesis in History. Izhevsk, 2015.
9. Bakshiev I.I. Stone as a symbol in the burial practice of the Srubna-Andronovo culture circle. *Etnicheskie vzaimodeystviya na Yuzhnom Urale*. Chelyabinsk, 2015, pp. 106–112.

## AMULETS AND TALISMANS OF MODERN-DAY BASHKIRS IN THE CONTEXT OF ETHNOCULTURAL INTERACTIONS

© F.G. Galieva

Kuzeev Institute for Ethnological Studies, Ufa Scientific Centre, RAS,  
6, ulitsa K. Marksa, 450077, Ufa, Russian Federation

The article aims to reveal the amulets being popular among the modern-day Bashkir people and also the ways in which traditions and innovations associated with ethnic and confessional interactions are combined, with this ethnocultural element taken as an example. The research is based primarily on the author's field materials collected in recent years. Previously published literature and Internet sources are used for comparative historical analysis. It has been concluded that the amuletic system of modern-day Bashkirs includes traditional and new objects borrowed from other cultures and combines Pagan, Muslim, Christian and other beliefs. Despite the fact that Islam recognizes only lockets in the form of verses from Muslim prayers and Bashkirs mostly consider themselves devout Muslims, they wear such amulets as the “eye of Fatima” and figurines of animals and mythical creatures. The baby crib may contain religious books together with mountain ash twigs and scissors. Beliefs still exist in magic stones (simple and semi-precious), productive and protective ability of wild animals (bears, wolves) and the effectiveness of traditional means against the “evil eye” (bright colours of the clothes, jewelry). In order to ensure protection they use metal items (needle or pin in a wedding dress), parts of various plants (juniper, mountain ash, thistle, birch tree mushroom) and food (cake for a conscript soldier). There are special amulets to be carried in a purse, among them printed images from the Internet. Protective measures include listening to audio recordings of Quran recitations, using such phrases as “Pah-pah, let the evil eye be not on me!” [Knock a wood], or “Allah birsa” [If God wills] and prohibiting from showing a newborn to strangers. From Russian culture some Bashkirs adopted the custom of removing negative energy with the aid of candles, holy water, Epiphany bathing and even religious icon postcards, souvenir horseshoes or talisman dolls. From Eastern cultures they adopted the belief in miraculous power of talisman frogs, turtles, elephants etc. People just try to gain confidence in the future through charms, amulets and talismans in the unstable socio-economic situation.

Key words: modern-day talismans of the Bashkirs, adoption of Russian customs, combination of Pagan, Muslim and Christian traditions, mythologizing the collective consciousness.