

## СОДЕРЖАНИЕ

---

---

2015. № 1

---

---

### МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

- A.A. Aganin, M.A. Ilgamov, R.T. Lahey Jr., R.I. Nigmatulin, R.P. Taleyarkhan, D.Yu. Toporkov*  
Evolution of sphericity distortions of a cavitation bubble during acoustic supercompression ..... 5
- М.А. Ильгамов*  
Выпучивание колеблющегося стержня при продольном ударе ..... 27
- 

### БИОЛОГИЯ, БИОХИМИЯ И ГЕНЕТИКА

- О.А. Сельдимирова, Н.Н. Круглова*  
Баланс эндогенных и экзогенных гормонов и пути морфогенеза  
в андроклинных каллусах пшеницы *in vitro* ..... 33
- Л.Ю. Кузьмина, Л.Б. Высоцкая, Н.Ф. Галимзянова,  
Е.А. Гильванова, А.С. Рябова, А.И. Мелентьев*  
Новые штаммы фосфатмобилизующих бактерий, продуцирующих ауксин,  
перспективные для сельскохозяйственной биотехнологии ..... 40
- Т.Ю. Коршунова, С.Г. Ковальская, О.Н. Логинов, А.И. Мелентьев*  
Состав жирных кислот клеточной стенки бактерии *Paenibacillus ehimensis* IB-739 ..... 47
- Р.Х. Гиниятуллин*  
Водный дефицит лиственницы Сукачева (*Larix Sukaczewii* Dyl.)  
в условиях промышленного загрязнения ..... 53
- Н.А. Рязанова, В.П. Путенихин*  
Плотность и размеры интродукционных популяций кленов ..... 60
- Л.Н. Миронова, А.А. Реут*  
Успехи отечественных селекционеров-пионоводов ..... 65
- 

### НАУКИ О ЗЕМЛЕ

- Р.Ф. Абдрахманов, В.Г. Попов*  
Геохимия и природа глубинных маломинерализованных вод Урала  
и Предуральяского прогиба ..... 72
-

---

## ИСТОРИЯ, АРХЕОЛОГИЯ, ЭТНОЛОГИЯ

*Р.Р. Садилов*

Финно-угорские народы в этнокультурной и конфессиональной структуре населения  
Республики Башкортостан ..... 83

*О.Г. Завьялова, И.В. Абросимова*

Системно-структурный пространственный анализ этнокультурного развития  
Южного Зауралья (на примере Курганской области) ..... 92

---

## ЭКОНОМИКА, СОЦИОЛОГИЯ, ФИЛОСОФИЯ

*Ю.В. Мигунова*

Понятие здоровья. Показатели оценки состояния здоровья населения ..... 99

*Р.М. Садылов*

Социальное положение детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей,  
в условиях социально-экономической неустойчивости ..... 106

---

## ПАМЯТИ УЧЕНОГО

*И.Г. Петров, Е.Е. Нечвалода*

Памяти Софии Александровны Авижанской ..... 113

---

## ОФИЦИАЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

*Н.В. Ахмадиева*

Урал-Алтай: через века в будущее ..... 115

---

# CONTENTS

---

---

2015. № 1

---

---

## MATHEMATICS AND MECHANICS

- A.A. Aganin, M.A. Ilgamov, R.T. Lahey Jr.,  
R.I. Nigmatulin, R.P. Taleyarkhan, D.Yu. Toporkov*  
Evolution of sphericity distortions of a cavitation bubble during acoustic supercompression ..... 5
- M.A. Ilgamov*  
Axial impact buckling in a vibrating thin rod ..... 27

---

## BIOLOGY, BIOCHEMISTRY AND GENETICS

- O.A. Seldimirova, N.N. Kruglova*  
Balance of endogenous and exogenous hormones and *in vitro* morphogenesis pathways  
in wheat androcylic calli ..... 33
- L.Yu. Kuzmina, L.B. Vysotskaya, N.F. Galimzyanova,  
E.A. Gilvanova, A.S. Ryabova, A.I. Melentyev*  
New strains of phosphate mobilizing auxin producing bacteria as promising microorganisms  
for agricultural biotechnology ..... 40
- T.Yu. Korshunova, S.G. Kovalskaya, O.N. Loginov, A.I. Melentyev*  
Cellular fatty acid composition of bacterium *Paenibacillus ehimensis* IB-739 ..... 47
- R.Kh. Giniatullin*  
Water deficiency in larch (*Larix Sukaczewii* Dyl.) under industrial pollution ..... 53
- N.A. Ryazanova, V.P. Putenikhin*  
Density and sizes of maple introduced populations ..... 60
- L.N. Mironova, A.A. Reut*  
Accomplishment of Russian peony breeders ..... 65

---

## EARTH SCIENCE

- R.F. Abdrakhmanov, V.G. Popov*  
Geochemistry and nature of deep-seated poorly-mineralized groundwaters  
in the Urals and the Cis-Ural Trough ..... 72
-

---

## HISTORY, ARCHEOLOGY, ETHNOLOGY

- R.R. Sadikov*  
Finno-Ugric peoples in ethno-cultural and confessional structure among the population  
of the Republic of Bashkortostan ..... 83
- O.G. Zavyalova, I.V. Abrosimova*  
System-structural spatial analysis of ethno-cultural development in the Southern Trans-Urals  
(with the Kurgan region used as an example) ..... 92

---

## ECONOMICS, SOCIOLOGY, PHILOSOPHY

- Yu.V. Migunova*  
Health concept. Indicators of public health assessment ..... 99
- R.M. Sadykov*  
Social status of orphans and children left without parental care under socio-economic instability ... 106

---

## IN MEMORIAM

- I.G. Petrov, E.E. Nechvaloda*  
In commemoration of Sofiya A. Avishanskaya ..... 113

---

## OFFICIAL SECTION

- N.V. Akhmadieva*  
Ural–Altay: through centuries to the future ..... 115
-

УДК 534.2.532

## EVOLUTION OF SPHERICITY DISTORTIONS OF A CAVITATION BUBBLE DURING ACOUSTIC SUPERCOMPRESSION

© **A.A. Aganin, M.A. Ilgamov, R.T. Lahey Jr., R.I. Nigmatulin,  
R.P. Taleyarkhan, D.Yu. Toporkov**

The paper describes theoretical results on the evolution of small deviations of a cavitation bubble from a spherical shape during a single expansion-compression cycle under experimental conditions required for nuclear emissions during acoustic cavitation. In the mathematical model used the bubble's interface is the sum of spherical harmonics (Legendre polynomials of degree  $n = 0, 2, 3, 4, \dots$ ), one of which ( $n = 0$ ) corresponds to the spherical shape while the others ( $n \geq 2$ ) to axially symmetric deviations from sphericity in the form of the corresponding harmonics. Motion of both the vapor in the bubble and the surrounding liquid is determined from a superposition of the spherical component with its small non-spherical perturbations. The spherical component includes effects of the unsteady heat conductivity of the vapor and the liquid, and the non-equilibrium evaporation-condensation on the interface. It is taken into account that in the course of expansion phase of the bubble as well as at the beginning of its compression, which are relatively slow processes, the vapor in the bubble behaves like an ideal gas with a nearly uniform spatial pressure distribution. Consideration is also given to the fact that at this slow stage of the bubble dynamics the viscosity of the liquid is important while its compressibility may be neglected. In contrast, during the rapid compression stage (i.e., implosion) shock waves may arise inside the bubble; in this case the effects of liquid compressibility may become significant and must be accounted for. Thus, during the stage of rapid compression these effects are taken into consideration, as well as realistic and comprehensive equations of state are used for capturing the physics of the phenomena occurred in the bubble and near it. The non-spherical component of the vapor and liquid motion allows for the effects of liquid viscosity, surface tension, density of the vapor in the bubble and the nonhomogeneity of its pressure. Estimates have been found for the maximum values of the amplitude (relative to the initial one) of small harmonic distortions (in the form of Legendre polynomials of degree  $n = 2, 3, \dots$ , with wave length  $\lambda_n = 2\pi R/n$ , where  $R$  is the bubble's radius) of the spherical shape of a bubble at the instant of its collapse, i.e., the moment of maximum compression of the bubble content. In this case, the initial distortions of the bubble's sphericity are assumed to arise at any moment during bubble expansion. Those estimates reveal the extent of variations of the amplitude of small initial distortions of the bubble sphericity by the time of bubble collapse. A number of simple analytical formulas are also presented for the radius of the bubble at the moment of maximum expansion and variation of both the radius of the bubble and the distortion from its spherical shape under compression.

Key words: bubble dynamics, spherical shape stability, cavitation bubble, acoustic cavitation, bubble collapse.

AGANIN Alexander A. – Dr. Sc., Institute of Mechanics and Engineering, Kazan Scientific Centre, RAS, e-mail: aganin@kfti.knc.ru

ILGAMOV Marat A. – Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Mavlyutov Institute of Mechanics, Ufa Scientific Centre, RAS, e-mail: ilgamov@anrb.ru

LAHEY Richard T. – PhD, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY 12180, USA, e-mail: lahey@rpi.edu

NIGMATULIN Robert I. – Academician of the Russian Academy of Sciences, P.P. Shirshov Institute of Oceanology, RAS, e-mail: nigmar@ocean.ru

TALEYARKHAN Rusi – PhD, Purdue University, West Lafayette, Indiana, IN 47907, USA, e-mail: rusi@purdue.edu

TOPORKOV Dmitrii Yu. – PhD, Institute of Mechanics and Engineering, Kazan Scientific Centre, RAS, e-mail: top.dmr@gmail.com

## 1. Introduction

Experimental evidence for the production of thermonuclear neutrons and tritium nuclei during ultrasound-induced (with a frequency of  $f = 2 \cdot 10^4 \text{ s}^{-1}$ ) acoustic cavitation of deuterated acetone ( $\text{C}_3\text{D}_6\text{O}$ ), have been reported by Taleyarkhan et al. (2002, 2004, 2006); Xu & Butt (2005). These findings have caused significant discussion in the scientific literature. According to the theoretical analysis presented by Nigmatulin, Taleyarkhan & Lahey (2002, 2004); Nigmatulin (2005); Nigmatulin et al. (2005); Lahey et al. (2006), in these experiments a spherical cluster, having a radius of  $R_{cl} \approx 1 \text{ cm}$ . and made up of very small bubbles with a size of several tens of nanometers, was formed in the pressure anti-node of an acoustic standing wave, which was in phase with the tensioned (negative) acoustic pressure. By the end of this growth phase, the individual bubbles increase in sizes to  $R^{\max} \approx 700 \mu\text{m}$ . Thereafter, in the subsequent phase of the standing wave having a compressive (positive) acoustic pressure, the bubbles are strongly compressed, particularly in the central zone of the cluster (i.e., to  $R^{\min} \approx 25 \mu\text{m}$ ). In the final highspeed stage of compression of the central bubbles, micro-spherical shock waves converging to their centers occur inside them. With convergence, the amplitude of these shock waves increases many times. As a consequence, in a small vicinity of the center of a bubble of radius (e.g.,  $\delta r \sim 10^2 \text{ nm}$ ) during a brief period of time,  $\delta t \sim 10^{-12} \text{ s}$  states of matter with the temperature of  $\sim 10^8 \text{ K}$  and density of  $\sim 10 \text{ g/cm}^3$  appear. For this very short period of time under such extreme conditions about 10 effective collisions of deuterium nuclei occur to produce helium nuclei and high energy D-D thermonuclear neutrons (2.45 MeV), and the simultaneous production of tritium nuclei and protons. In various sonofusion experiments (Taleyarkhan et al. 2002, 2004; Xu & Butt 2005) about  $2 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}$  focused collapses of bubble clusters were recorded. If one assumes that in the central zone of the cluster there are 10–20 bubbles, in which at the time of their implosion the thermonuclear parameters described above are achieved, then the production of D-D thermonuclear neutrons and tritium nuclei will be equal to about  $P = (2 \text{ to } 4) \cdot 10^5 \text{ s}^{-1}$ , which is consistent with the range of neutron-tritium emission rates as recorded in the above-mentioned experiments.

During numerous discussions of the results of Taleyarkhan et al. (2002) a number of critical comments were given by: Vazquez et al. (2001); Didenko & Suslick (2002); Camara, Putterman & Kirilov (2004). This led to additional experiments and an extension of the theoretical concepts previously proposed (Nigmatulin et al. 2002, 2004, 2005; Taleyarkhan et al. 2004; Nigmatulin 2005). In particular, new experiments were performed (Taleyarkhan et al. 2006) using a mixture of deuterated benzene ( $\text{C}_6\text{D}_6$ ), deuterated acetone ( $\text{C}_3\text{D}_6\text{O}$ ), and tetrachloroethylene ( $\text{C}_2\text{Cl}_4$ ), in which for triggering cavitation inception alpha recoils from dissolved uranyl nitrate were used instead of neutrons from an external source. In the process of spontaneous decay of the dissolved uranium ( $^{238}\text{U}$ ) nuclei, alpha particles are emitted, from which the recoiling highly-charged nuclei of  $^{234}\text{U}$  deposit their energy over a few nanometers and initiate the formation of the bubble nuclei when the liquid is in a tensioned metastable state. The frequency of formation of spherical clusters of cavitation bubbles in the experiments of Taleyarkhan et al. (2006) was 10 to  $10^2$  times less (i.e.,  $f' \sim (10\text{-}10^2) \text{ s}^{-1}$ ) than in the previous experiments in which an external neutron source was used. Consequently, production of D-D fast neutrons and tritium nuclei was also less (i.e.,  $P \sim 10^4 \text{ s}^{-1}$ ). These observations have been experimentally replicated (Forringer et al. 2006a,b; Bugg 2006). The pulse-height neutron emission spectra from all published successful experiments have been compared against theoretical simulations using validated state-of-the-art Monte-Carlo nuclear particle transport methods and the results have confirmed the experimental observations (Taleyarkhan et al. 2008). In all such experiments, spherical cluster implosions were found to be the key for attaining supercompression. As such, it is useful to theoretically assess the degree of deviation from sphericity for the conditions prevalent in the above-mentioned experimental studies.

The present paper is devoted to the study of the degree of distortion of the spherical shape of a bubble in conditions of the experiments on acoustic inertial confinement bubble fusion. This investigation was furthermore brought about by the fact that the current theoretical results of the above-mentioned process of supercompression of the interior

cavitation bubbles in the central zone of a bubble cluster were based on the hypothesis of spherically symmetric (one-dimensional) flow of the liquid near these bubbles and the vapor inside them, which requires preservation of the shape of bubbles very close to spherical during their compression. In discussions in the literature this hypothesis was also questioned, and not without a reason, as, for example, instability of a spherical target at its laser ablation is well known to be one of the causes of failure in attempts to achieve high rates of compression of a substance required for thermonuclear synthesis (Ilkaev & Garanin 2006; Lebo & Tishkin 2006). Moreover, a study of the stability of the spherical shape of a bubble during conditions of periodic single bubble sonoluminescence (SBSL) shows (Hilgenfeldt, Lohse & Brenner 1996) that for liquid pressure variation amplitude higher than 1.5 to 2 bar, the spherical shape of a bubble will be unstable. For conditions of the experiments on bubble fusion based nuclear emissions (Taleyarkhan et al. 2002) the amplitude of the pressure wave during bubble implosion is as much as 15 bar, or even larger due to the effect of bubble cluster dynamics (Nigmatulin et al. 2005).

When choosing the appropriate analytical method to investigate this phenomenon, we have used the experience gained in the literature related to stability of the spherical shape of a bubble during SBSL conditions (Putterman & Weninger 2000). A brief analysis of the spherical bubble stability in those conditions is given in the review of Hilgenfeldt et al. (1998). The investigation of the effect of small deformations of the bubble's interface during SBSL phenomenon can be found in the work of Putterman & Weninger (2000). Three types of instability are usually distinguished for SBSL conditions as: parametric instability and those of Rayleigh-Taylor and Faraday (Kull 1991; Augsdorfer, Evans & Oxley 2000; Yuan, Chu & Leung 2001; Lin, Storey & Szeri 2002b; Kwak, Karng & Lee 2005). It is also worth noting the works on instability of Birkhoff-Plesset, which is caused by decrease in the bubble radius (Plesset 1954; Plesset & Mitchell 1956; Birkhoff 1956; Eller & Crum 1970; Kull 1991; Ilgamov 2005, 2006, 2010, 2011).

With regard to results of studies of the stability of bubble oscillations during SBSL conditions

(Hilgenfeldt et al. 1996), one might expect that periodic oscillations of the bubbles within a cluster in sonofusion experiments (Taleyarkhan et al. 2002) are impossible due to the high acoustic pressure used (e.g., 15 bar). Nevertheless, the scenario of neutron emissions described previously (Taleyarkhan et al. 2002, 2004; Nigmatulin et al. 2002, 2004, 2005; Nigmatulin 2005; Lahey et al. 2006) assumes that in one acoustic cycle the production of neutrons is a result of single expansion-compression process of one group of interior bubbles while in the other cycles it results from a similar expansion-compression of another group. This means that the dynamics of the bubbles producing neutrons in the cluster is almost the same in every acoustic cycle. Therefore, it is sufficient that the evolution of distortions of the spherical shape of a bubble be studied during the course of a single expansion-compression. As a consequence, among the four above-mentioned types of possible instability generating mechanisms for deviations from the spherical shape only the influence of Birkhoff-Plesset and Rayleigh-Taylor modes need be considered.

A linear approximation was used in this work to describe deviations of the bubble shape from the baseline spherical shape. In doing so, the bubble's interface was presented as a sum of spherical harmonics (Lamb 1945; Plesset 1954; Birkhoff 1954, 1956; Plesset & Mitchell 1956; Eller & Crum 1970; Plesset & Prosperetti 1977; Ilgamov 2005, 2006). Similarly, the movement of the bubble's interface is presented as the superposition of the radial (spherical) component and its small nonspherical disturbance.

The radial component of the movement of the bubble's interface is often described by the Rayleigh-Plesset model, in which the liquid is assumed to be weakly compressible, the pressure in the gas is homogeneous (Flynn 1975; Keller & Miksis 1980; Prosperetti, Crum & Commander 1986; Nigmatulin, Akhatov & Vakhitova 1996), or the full hydrodynamic model (Wu & Roberts 1993, 1994; Moss et al. 1994; Moss, Clarke & Young 1997; Aganin & Ilgamov 1999a,b; Aganin et al. 1999; Aganin 2000; Nigmatulin et al. 2000, 2005, 2006; Aganin & Ilgamov 2001, 2002). Comparison shows (Aganin 2000) that the Rayleigh-Plesset model becomes inadequate compared to the full

hydrodynamic model only in the final high-speed stage of the bubble implosion process. Therefore, in the present work we utilize the approach (Aganin 2000; Nigmatulin 2005; Nigmatulin et al. 2005) in which the process of the bubble expansion-compression is divided into two stages. In the first, low-speed stage, which covers the entire expansion phase and a significant portion of the compression phase, the liquid near the bubble is assumed to be viscous and incompressible while the vapor/gas in the bubble follows the ideal gas law and with a uniform pressure. In the second, relatively short stage including the final compression process, where the compression velocities become comparable to the speed of sound in liquid, the approximations used in the first stage are inadequate and the full hydrodynamic model must be used for both the vapor/gas in the bubble and the liquid around it. In each stage, the unsteady heat conduction in the vapor and the liquid along with the nonequilibrium evaporation/condensation on the bubble's interface are taken into account. Realistic equations of state based on experimental data (Nigmatulin et al. 2005) are also needed during the second stage. Evaluations of the hydrodynamic equations were done using Godunov's method (Godunov et al. 1976) with the use of a moving grid which was uniform in the vapor and nonuniform in the liquid (the size of cells in the liquid increases exponentially in the outward direction from the bubble's interface). The computed variation of the bubble's radius serves as input for evaluating the evolution of distortions of the bubble's shape. Such a method was previously applied to examine the stability of the bubble's sphericity during SBSL conditions (Lin et al. 2002b).

When describing the nonspherical component of the bubble's surface movement, the liquid in this work, as in some others (Eller & Crum 1970; Prosperetti 1977; Hilgenfeldt et al. 1996, 1998; Hao & Prosperetti 1999; Ilgamov 2005; Kwak et al. 2005), was assumed to be incompressible and the density of the bubble content was uniform throughout the vapor volume. The effect of liquid viscosity on the deviation of the bubble shape from spherical was taken into account using the method of Prosperetti (1977). There are also some other similar methods by: Lamb (1945); Hilgenfeldt et al. (1996); Ilgamov (2005, 2006); Aganin, Ilgamov & Toporkov (2006),

but that of Prosperetti (1977) is known to be more accurate because it takes into account the unsteady nature of the diffusion of liquid vorticity. Moreover, most of the other methods, for example, that of Hilgenfeldt et al. (1996) can be derived from the method of Prosperetti (1977) with the help of a number of additional simplifying assumptions. In the method developed by Prosperetti (1977) evolution of the deviation of a bubble shape is governed by an ordinary differential equation of second order, in the right hand side of which there are a few integrals of a function characterizing the liquid vorticity. That vorticity function is determined from partial differential equations with an integral boundary condition. Unlike in other works (Wu & Roberts 1998; Hao & Prosperetti 1999), the vorticity diffusion was computed in the present paper using a finite-difference method (Aganin & Khismatullina 2005). Solution to the ordinary differential equations is found numerically by the Runge-Kutta method of high order of accuracy (Hairer, Norsett & Wanner 1987), with a variable time step.

The influence of the gas density on evolution of the radial (spherical) component of the bubble surface is usually taken into account. However, in describing bubble distortion it is often neglected because the density of the bubble content is significant only in a short temporal interval around the time of maximum compression of the bubble when the density of the vapor/gas can be very large (Nigmatulin et al. 2005). Some methods of allowing for the influence of the gas density on the nonspherical movement of the bubble's interface can be found in the work of Augsdorfer et al. (2000); Yuan et al. (2001); Lin, Storey & Szeri (2002a,b); Kwak et al. (2005) for investigating bubble distortions during SBSL conditions. The method of Lin et al. (2002a) seems to be preferable for it approximately takes into account not only the gas density but also the gas pressure gradients in the radial motion. It should be noted that if the dynamic gas density is included in the model, the effect of the Rayleigh-Taylor instability, as a rule, decreases. Anyway, in this paper the effect of the vapor density was taken into account using the approach of Lin et al. (2002a).

The estimates obtained in this work, concerning the modest growth of a deflection from the original spherical shape of a cavitation bubble to the time



of extreme compression of the vapor/gas inside it during sonofusion conditions (Taleyarkhan et al. 2002), are consistent with the theoretical justification given by Taleyarkhan et al. (2002, 2004, 2006); Nigmatulin et al. (2002, 2004, 2005); Nigmatulin (2005); Lahey et al. (2006), concerning the thermonuclear nature of the D-D neutron and tritium nuclei production observed in those experiments. To refine these estimates, further investigation is needed with more accurate nonlinear models, such the direct numerical simulation (DNS) approaches reported by Nagrath, Jansen & Lahey (2005) and Aganin, Khalitova & Khismatullina (2010).

## 2. Mathematical model

### 2.1. Bubble surface

The axially symmetric distortions of the bubble's sphericity are only considered in the present work. In this case the equation of the bubble's surface (i.e., interface) in the spherical coordinates  $r, \theta, \varphi$  is written as

$$r = R(t) + \sum_{n=2}^{\infty} a_n(t) P_n(\cos \theta).$$

Here  $t$  is the time,  $R(t)$  is the radius of the spherical component of the bubble's shape (i.e., the bubble's mean radius),  $P_n$  the Legendre polynomial of degree  $n$ , and  $a_n(t)$  the corresponding amplitude. It is assumed that for any  $n$  the spherical distortions are small,

$$|a_n(t)/R(t)| = |\varepsilon_n| \ll 1.$$

Taking this into account, the flow of the liquid near the bubble and the vapor inside it is presented as the superposition of the spherical (radial) flow and its nonspherical disturbance. Since the distortions are small, their study is conducted separately for each  $\varepsilon_n$ , so that the equation of the bubble's surface is of the form:

$$r = R(t)[1 + \varepsilon_n(t) P_n(\cos \theta)].$$

### 2.2. Radial dynamics

To describe the radial component of the vapor and liquid flow, we use the following hydrodynamic model (Nigmatulin 1990; Nigmatulin et al. 2005):

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho r^2) + \frac{\partial}{\partial r}(\rho w r^2) &= 0, \\ \frac{\partial}{\partial t}(\rho w r^2) + \frac{\partial}{\partial r}(\rho w^2 r^2 + p r^2) &= 2pr \quad (2.1) \\ \frac{\partial}{\partial t}(\rho e r^2) + \frac{\partial}{\partial r}[w r^2(\rho e + p)] &= \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \kappa \frac{\partial T}{\partial r} \right). \end{aligned}$$

Here  $\rho$  is the density,  $w$  the radial component of the fluid velocity,  $p$  the pressure,  $e$  the specific total energy,  $T$  the temperature, and  $\kappa$  the heat conductivity.

The equations of liquid and vapor states are taken in the form of a sum of the potential ( $p^{(p)}, U^{(p)}$ ) and thermal ( $p^{(T)}, U^{(T)}$ ) components of the pressure and the internal energy (Nigmatulin 1990) respectively:

$$\begin{aligned} p(\rho, T) &= p^{(p)}(\rho) + p^{(T)}(\rho, T), \\ U(\rho, T) &= U^{(p)}(\rho) + U^{(T)}(T). \quad (2.2) \end{aligned}$$

The processes of ionization and dissociation of the media are not taken into consideration as their effect on variation of the bubble radius is negligible because the duration of its manifestation is very small.

To describe the potential components  $p^{(p)}(\rho)$ ,  $U^{(p)}(\rho)$ , we use the generalized potential of Born-Mayer (Nigmatulin 1990):

$$\begin{aligned} p^{(p)}(\rho) &= A \bar{\rho}^{-2/3} \exp \left[ b \left( 1 - \bar{\rho}^{-1/3} \right) \right] + \\ &+ C \bar{\rho}^\alpha - K \bar{\rho}^\beta + A' (\bar{\rho} - 1)^3, \\ U^{(p)}(\rho) &= \frac{3A}{\rho_0 b} \exp \left[ b \left( 1 - \bar{\rho}^{-1/3} \right) \right] + \\ &+ \frac{C}{(\alpha - 1) \rho_0} \bar{\rho}^{\alpha-1} - \frac{K}{(\beta - 1) \rho_0} \bar{\rho}^{\beta-1} + \\ &+ \frac{A'}{\rho'} \left[ \frac{\tilde{\rho}^2}{2} - 3\tilde{\rho} + 3 \ln \tilde{\rho} + \frac{1}{\tilde{\rho}} + \frac{3}{2} \right] + B'. \end{aligned}$$

Here  $\bar{\rho} \equiv \rho/\rho_0$ ,  $\tilde{\rho} \equiv \rho/\rho'$ ,  $p^{(p)} = \rho^2 (dU^{(p)}/d\rho)$ .

The thermal components  $p^{(T)}$ ,  $U^{(T)}$  are taken in the form:

$$p^{(T)} = \rho \Gamma(\rho) U^{(T)}, \quad U^{(T)} = c_v T.$$

Heat capacities  $c_v$  of liquid and vapor are set constant.

Boundary conditions in the center of the bubble ( $r = 0$ ), far from it ( $r = r_\infty \gg R$ ) and on the interfacial boundary ( $r = R(t)$ ) have the form (Nigmatulin 1990; Nigmatulin et al. 2005)

$$\begin{aligned} r = 0: \quad w &= 0, \quad \frac{\partial T}{\partial r} = 0; \quad r = r_\infty: \quad p = p_\infty(t), \quad T = T_0; \\ r = R(t): \quad \dot{R} &= w_l + \frac{j}{\rho_l} = w_g + \frac{j}{\rho_g}, \\ p_l &= p_g - \frac{4\mu_l w_l}{R} - \frac{2\sigma}{R}, \\ \kappa_l \left( \frac{\partial T}{\partial r} \right)_l &- \kappa_g \left( \frac{\partial T}{\partial r} \right)_g = j l(p_g), \quad T_l = T_g, \end{aligned} \quad (2.3)$$

where  $p_\infty(t)$  is the liquid pressure far from the bubble,  $\mu_l$  the liquid viscosity,  $\sigma$  the surface tension,  $l$  the latent heat of evaporation, and  $j$  is the intensity of phase transformations (evaporation or condensation). The subscripts  $l$  and  $g$  refer to the parameters of the liquid and gas (and/or vapor), respectively. The intensity of phase transformations,  $j$ , is determined by (Nigmatulin 1990; Nigmatulin et al. 2005):

$$j = \frac{\alpha'}{\sqrt{2\pi R_g}} \left( \frac{p_s(T)}{\sqrt{T}} - \frac{\chi p_g}{\sqrt{T}} \right), \quad (2.4)$$

$$\chi = \exp(-\Omega^2) - \Omega \sqrt{\pi} \left( 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^\Omega \exp(-x^2) dx \right),$$

$$\Omega = \frac{j \sqrt{R_g T}}{\sqrt{2} p_g}.$$

Here  $\alpha'$  is the effective accommodation coefficient,  $R_g$  the gas constant for the vapor, and  $p_s$  is the saturation pressure.

According to (2.1), (2.3), the effect of vapor viscosity during spherical movement is fully ignored while the effect of liquid viscosity is taken into account assuming that the liquid is incompressible and the influence of the liquid viscosity on the energy change is negligible. These simplifications are suitable everywhere except the final stage of supercompression.

The equations of state of the deuterated acetone fluid (i.e., vapor and liquid) (2.2) and the dependences of the fluid's physical parameters  $\mu_l$ ,  $\sigma$ ,  $\kappa_l$ ,  $\kappa_g$ ,  $p_s$ ,  $l$  on the temperature,  $T$ , were determined from experimental data (Nigmatulin et al. 2005). For the effective accommodation coefficient,  $\alpha'$ , we take  $\alpha' = 1$  (which is typical of a hydrocarbon). To determine the radial dynamics of the bubble, we use an effective mathematical model, in which the process of expansion and compression of the bubble is divided into two stages (Aganin 2000; Nigmatulin 2005; Nigmatulin et al. 2005). In the first, and most prolonged, low-speed stage, which includes the entire expansion phase and the beginning of the compression phase, instead of (2.1)–(2.3) their simpler approximations are employed. According to those approximations, the liquid near the bubble is considered as viscous and incompressible and the vapor in the bubble is supposed to be ideal with a homogeneous distribution of pressure. During the

second, high-speed stage of compression, where those approximations are no longer valid, use is made of the full hydrodynamic model (2.1)–(2.3) taking into account the liquid's compressibility and non-ideal nature of the vapor due to intermolecular interactions, including the so-called cold pressure effects (Nigmatulin 1990; Nigmatulin et al. 2005).

### 2.3. Deformation of the bubble

The evolution of the amplitude  $a_n$  of the deviation of the bubble shape from a spherical one has been described by Prosperetti (1977), in which the influence of the vapor density can be taken into account as discussed by Lin et al. (2002a)

$$(1 + q_n) \ddot{a}_n + \left[ 3 \frac{\dot{R}}{R} + 2(n+1)(n+2) \frac{v_l}{R^2} \right] \dot{a}_n + \left[ \omega_n^2 + \frac{4v_l(n^2-1)\dot{R}}{R^3} - (n-1)(1-q_n) \frac{\ddot{R}}{R} \right] a_n + \frac{n(n+1)}{R} \left[ \frac{v_l Q_n(R, t)}{R} + \frac{2v_l(2n+1)}{R^{2-n}} \alpha_n + \frac{\dot{R}}{R} \beta_n \right] = 0, \quad (2.5)$$

$$\alpha_n = -\frac{n+1}{2n+1} \int_R^\infty \frac{Q_n}{r^n} dr, \quad \beta_n = \int_R^\infty \left[ \left( \frac{R}{r} \right)^3 - 1 \right] \left( \frac{R}{r} \right)^n Q_n dr,$$

$$q_n = \frac{(n+1)\bar{\rho}_g}{n\rho_{l0}}, \quad \omega_n^2 = \frac{\sigma(n^2-1)(n+2)}{\rho_{l0}R^3}.$$

Here  $\bar{\rho}_g$  is the averaged (over the bubble volume) density of vapor derived from computing the spherical motion of the bubble,  $\rho_{l0}$  the unperturbed value of the liquid density,  $v_l = \mu_l/\rho_{l0}$  the kinematic viscosity. In this model the vapor/gas is assumed homobaric, the liquid is viscous and incompressible, and the rotational motion of the liquid is taken into account. In describing a nonspherical disturbance, the density  $\rho_l$  is assumed equal to  $\rho_{l0}$  throughout the expansion-compression. Function  $Q_n(r, t)$  is given as (Prosperetti 1977):

$$\nabla \times \mathbf{w} = \nabla \times \left( \sum_{n=2}^{\infty} Q_n(r, t) P_n(\cos \theta) \right) \mathbf{e}_r,$$

where  $\mathbf{e}_r$  is the unit vector in the radial coordinate  $r$ . Function  $Q_n(r, t)$  is determined from,

$$\frac{\partial Q_n}{\partial t} + \dot{R} R^2 \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{Q_n}{r^2} \right) + v_l \left[ \frac{n(n+1)Q_n}{r^2} - \frac{\partial^2 Q_n}{\partial r^2} \right] = 0 \quad (2.6)$$

and the boundary conditions

$$Q_n(R, t) = \frac{2}{n+1} \left[ (n+2)\dot{a}_n - (n-1)\frac{\dot{R}}{R}a_n + (2n+1)R^{n-1}\alpha_n \right], \quad (2.7)$$

$$Q_n(\infty, t) = 0.$$

The model for the evolution of  $a_n$  without regard to the vapor density and nonuniformity of its pressure, which was used by Nigmatulin et al. (2006), may be obtained from (2.5)–(2.7) by setting  $q_n = 0$ .

#### 2.4. Pressure of liquid

The ultrasonically-forced liquid pressure far from the bubble,  $p_\infty$ , is assumed to be:

$$p_\infty = p_0 - p_a \sin(\omega t + \varphi_0), \quad (2.8)$$

where  $p_a$  and  $\omega$  are the amplitude and the frequency of the impressed pressure variation,  $p_0$  is the static liquid pressure,  $\varphi_0$  the phase of pressure variation at the moment of generation of the bubble cluster in, for example, the experiment of Taleyarkhan et al. (2002), (i.e., the instant of initiating the external neutron source). In the present study, as in the experiments of Taleyarkhan et al. (2002), it is taken that  $\omega = 2\pi \times 19.3 \text{ kHz}$ ,  $p_a = 15 \text{ bar}$ .

It should be noted that more complex expressions for the liquid pressure oscillations have also been used in literature to study dynamics of a bubble within a cluster (e.g., Nigmatulin et al. 2005). In this way one can appraise the influence of the other bubbles in the cluster on the bubble under consideration. Our computations show that replacement of (2.8) by other expressions previously used by Nigmatulin et al. (2005) does not lead to significant changes in the level of bubble sphericity distortion. Therefore, the results of other expressions for the impressed liquid pressure variation are not presented herein.

#### 2.5. Parameters of the equation of state

Values of the parameters in the equation of state (2.2) are taken to be in accordance with the experimental conditions of Taleyarkhan et al. (2002). In particular, for the liquid state:

$$\begin{aligned} A &= 9.747 \cdot 10^7, \quad b = 19.07, \quad \alpha \neq 1, \\ C &= 0, \quad K = 4.535 \cdot 10^8, \\ \beta &= 2, \quad A' = 0, \quad B = 6.048 \cdot 10^5, \\ c_v &= 1516.8 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Gamma(\rho) &= g_1 [g_2 - g_3 \exp[-\bar{\rho}/g_4] - \\ &- g_5 \exp[-\bar{\rho}^3/g_6] - g_7 \exp[-\bar{\rho}^3/g_8] + \\ &+ g_9 \exp[-\bar{\rho}^2/g_{10}] - g_{11} \exp[-\bar{\rho}^2/g_{12}]], \\ g_1 &= 1.175, \quad g_2 = 0.67, \quad g_3 = 0.075, \quad g_4 = 0.205, \\ g_5 &= 0.11, \quad g_6 = 0.125, \\ g_7 &= 0.39, \quad g_8 = 1.15, \quad g_9 = 3, \quad g_{10} = 0.36, \\ g_{11} &= 0.045, \quad g_{12} = 0.061, \end{aligned}$$

and for the vapor state:

$$R_g = 129.9 \text{ m}^2/(\text{s}^2 \text{ K}), \quad A = 4 \cdot 10^7,$$

$$\begin{aligned} b &= 24.028, \quad \alpha = 1.9394, \\ C &= 1.7435 \cdot 10^9, \quad K = 1.7840 \cdot 10^9, \quad \beta = 1.9, \\ A' &= 10^{14} \text{ by } \tilde{\rho} \geq 1, \quad A' = 0 \text{ by } \tilde{\rho} < 1, \\ B' &= 6.554 \cdot 10^5, \\ \rho' &= 2000 \text{ kg/m}^3, \quad c_v = 1148.029 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}, \\ \Gamma(\rho) &= 0.113. \end{aligned}$$

#### 2.6. Initial data

The initial instant of time,  $t = 0$ , in our computations is taken to be the time of initiation of the microbubble nuclei in the experiments of Taleyarkhan et al. (2002, 2004, 2006); Nigmatulin et al. (2002, 2004); Nigmatulin (2005). This occurs about 0 to 4  $\mu\text{s}$  prior to when the acoustic pressure in (2.8) reaches its minimum value. The latter corresponds to  $\varphi_0 = \pi/2$  when  $p_\infty = p_0 - p_a = -14 \text{ bar}$ . In these experiments, due to large negative stresses in the liquid, the microbubble nuclei first increase in size to a radius of about  $R = 200$  to  $800 \mu\text{m}$ , after which they are compressed. A condition for implementation of this scenario is ability of the microbubbles to overcome the critical size  $R_{cr} \approx 0.04 \mu\text{m}$ , at which, from the rest state, they do not expand because of the surface tension. In this paper, the initial radius of the bubble,  $R_0$ , is equal to the critical one,  $R_{cr}$ , but with the initial velocity of expansion  $\dot{R}_0$  is nonzero. The diversity of the bubble nuclei emerging in experiments, which overcome the critical size in the process of their growth, is described by the variation of the initial velocity  $\dot{R}_0$  in the range  $0 < \dot{R}_0 \leq 30 \text{ m/s}$ . The right boundary of this range is approximately equal to the velocity of the bubble expansion during the lengthy portion of the bubble growth with  $\ddot{R} \approx 0$ .

It is assumed that at the initial time ( $t = 0$ ):

$$\begin{aligned} R &= R_0, \quad \dot{R} = \dot{R}_0, \\ 0 \leq r \leq R_0: & T(r, t) = T_0, \quad p(r, t) = p_s(T_0), \\ R_0 \leq r \leq \infty: & T(r, t) = T_0, \quad (r, t) = \rho_{10} \end{aligned}$$

where  $R_0, \dot{R}_0, T_0 = 273 \text{ K}$  (Taleyarkhan, R. P., et al 2002), respectively are the initial values of the bubble radius, the radial velocity and the temperature of the liquid and the vapor,  $\rho_{l0} = 858 \text{ kg/m}^3$  is the initial density of the liquid (these values of the liquid temperature and density correspond to the liquid state at the pressure  $p_0 = 1 \text{ bar}$ ).

We take the distortion of the spherical shape of the bubble to occur, by virtue of one or another cause, in the stage of the bubble expansion at the time  $t = t^0$  ( $t^0 \geq 0$ ). Before this moment the bubble is supposed to be purely spherical. At the time of the occurrence of the distortion of the spherical shape (at  $t = t^0$ ) we have:

$$a_n(t^0) = a_n^0, \quad \dot{a}_n(t^0) = 0, \\ R(t^0) \leq r \leq \infty: Q_n(r, t^0) = 0.$$

For (2.5)–(2.7), which describe the evolution of the bubble's sphericity distortion, the moment  $t = t^0$  is the initial time, so that the corresponding distortion will also be called the initial distortion.

The main objective of this work is to study the influence of the most important parameters of the problem under consideration (for example, the liquid viscosity) on the evolution of disturbances of the sphericity of a bubble during its expansion and subsequent compression and, to get estimates of the maximum distortions that may arise at the time of extreme compression of the bubble for conditions in the experiments of Taleyarkhan et al. (2002). Careful attention was paid to the final stage of the bubble compression process in which the values of density, pressure and temperature of the vapor/gas in the bubble become extremely large. At first glance it may seem that an examination of the evolution of the distortions with only zero values of initial velocity,  $\dot{a}_n$ , and vorticity,  $Q_n$ , is insufficient to obtain estimates of the maximum distortions arising in experiments. However, this is not the case since those estimates may be found by varying not only the velocity  $\dot{a}_n$  and the vorticity  $Q_n$  but also by changing some other parameters. In particular, in the present work we varied, over a fairly wide range, such parameters as the time-instant of occurrence of the initial distortion,  $t^0$  (it was varied within the entire stage of the bubble's expansion) and the wavelength of the disturbance,  $\lambda_n$  (the wavelength  $\lambda_n = 2\pi R/n$  is determined by the number,  $n$ , of the spherical harmonic which is varied from 2 to 10000). The spherical distortion mainly changes during the course of the

expansion-compression of the bubble in the form of oscillations about its zero value. This leads to quite a large number of local extrema in dependences of the distortions on the instant,  $t^0$ , and the number,  $n$ . The estimates of the maximum distortions, in particular, at a specified instant of time, were determined by utilizing the envelopes of such local extrema.

### 3. Results

#### 3.1. Radial movement

Figure 1 shows the time-dependences  $p_\infty(t)$  and  $R(t)$  obtained during the expansion-compression of the bubble. At the moments of maximum expansion ( $t^{max}$ ) and collapse ( $t^{col}$ ) of the bubble its radii respectively are  $R^{max} = R(t^{max}) \approx 457 \mu\text{m}$  and  $R^{col} = R(t^{col}) \approx 14 \mu\text{m}$ . By the moment of collapse  $t^{col}$  we mean the instant of the extreme compression of the vapor inside the bubble, which corresponds to the time of focusing the shock wave at the center of the bubble. The radial dynamics of the bubble is nearly independent from the initial velocity of the radial expansion  $\dot{R}_0$  in the range  $0 < \dot{R}_0 \leq 30 \text{ m/s}$  considered. This is due the fact that the radial velocity  $\dot{R}_0$ , even being initially close to zero, very quickly (after  $\sim 2 \text{ ns}$ ) becomes equal to  $\sim 30 \text{ m/s}$ , which results from the large negative stresses in the liquid ( $p_\infty \approx -14 \text{ bar}$ ). As a consequence, variation of the bubble radius with  $\dot{R}_0 = 0.01$  and  $30 \text{ m/s}$  differs by only about 0.1% in terms of  $R^{max}$  (corresponding curves in figure 1 are graphically coincident).

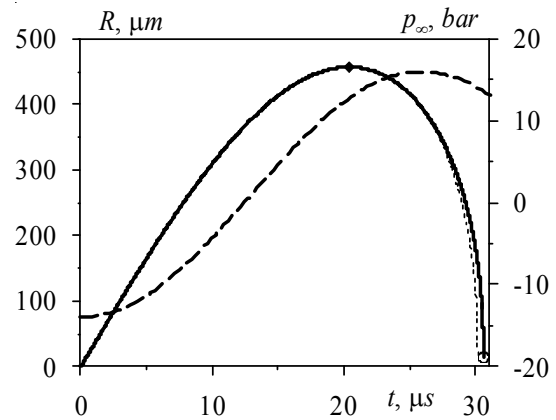


Figure 1. Time-dependences of the bubble radius  $R$  (solid line) and the liquid pressure  $p_\infty$  (dashed line) and approximate function  $R(t)$  derived by equation (3.1) (dotted line) in the phase of compression. The radii of the bubble at the moments of its maximum expansion ( $R^{max} \approx 457 \mu\text{m}$ ) and collapse ( $R^{col} \approx 14 \mu\text{m}$ ) are shown by symbols «♦» and «○».

It is clear that the most laborious part in numerically evaluating (2.1)–(2.8) is computation of the radial dynamics of the bubble during its compression. A simplified description of the variation of the bubble radius at the stage of the bubble compression can be given by the following approximate formulas (Ilgamov 2006):

$$\begin{aligned} R &= R^{max} \left(1 - \frac{t^2}{t_c^2}\right)^{1/3}, \quad 0 \leq t \leq t^h; \\ R &= R^h \left(1 - \frac{t - t^h}{t_c^h}\right)^{2/5}, \quad t^h \leq t \leq t^h + t_c^h, \end{aligned} \quad (3.1)$$

where,

$$\begin{aligned} t^h &= t_c \left[1 - \left(\frac{R^h}{R^{max}}\right)^3\right]^{1/2}, \quad t_c = R^{max} \left(\frac{2\rho_{l0}}{3p_\infty}\right)^{1/2}, \\ t_c^h &= \frac{2}{5} \left[\frac{3\rho_{l0}(R^h)^5}{2p_\infty(R^{max})^3}\right]^{1/2}. \end{aligned}$$

Here and below in other approximate formulas the liquid pressure  $p_\infty$  is assumed constant ( $p_\infty = \text{const}$ ). Expressions (3.1) are approximate solutions to the problem of collapse of an empty cavity in inviscid incompressible liquid without regard to the surface tension. While deriving them, the exact expression

$\dot{R} = \dot{R}_{ex}$ ,  $\dot{R}_{ex} = -(2p_\infty/3\rho_{l0})^{1/2} \left[(R^{max}/R)^3 - 1\right]^{1/2}$ , was approximated by:

$$\dot{R} \approx \dot{R}_{ex} (R^{max}/R)^{1/2} \quad (\text{for } 0 \leq t \leq t^h),$$

$$\dot{R} \approx -(2p_\infty/3\rho_{l0})^{1/2} (R^{max}/R)^{3/2} \quad (\text{for } t^h \leq t \leq t^h + t_c^h).$$

To ensure continuity of the radial velocity  $\dot{R}$  it was taken that  $R(t^h) = 0.68 R^{max}$ . The solution to equation (3.1) at  $p_\infty = 14 \text{ bar}$ , which roughly corresponds to an average pressure of the liquid in the stage of the cavitation bubble compression, is presented in figure 1 by the dotted curve. One can see that for simplified estimates the approximation given in (3.1) may be satisfactory.

The approximate value of the maximum radius  $R^{max}$  may be evaluated by the following expression:

$$\begin{aligned} R^{max} &\approx R_0 + \frac{2\pi}{3\omega} \left(1 - \frac{3p_0}{4\pi p_a}\right) \times \\ &\times \left[\frac{2}{3\rho_{l0}} \left(\frac{2p_a}{\pi - 2p_0/p_a} - p_0\right)\right]^{1/2}, \end{aligned}$$

which is derived from a more general formula presented in Ilgamov (2006) by setting  $\phi_0 = \pi/2$ . In

the case under consideration this expression gives  $R^{max} = 450 \mu\text{m}$  (instead of  $457 \mu\text{m}$  obtained in computations using (2.1)–(2.8)).

The final stage of the bubble compression is characterized by the large radial velocities of the liquid and vapor flow. This makes a converging spherical shock wave arise inside the bubble. Figure 2 shows its formation, propagation and focusing into the center of the bubble leading to appearance of a diverging shock wave. The level of deflection of the bubble shape from the spherical one at the moment of the bubble collapse strongly depends on various features of the bubble compression (for example, its duration). That is why estimates to the level of the deflection require a quite accurate computation of the final stage of the bubble compression, including the value of the bubble radius at the time of collapse  $R^{col}$ . For example, if one takes the bubble content to be homobaric during compression, then  $R^{col}$  will be about 4 times less. As a result, the amplitude of the ellipsoidal distortion at  $t = t^{col}$  will be  $10^2$  times more.

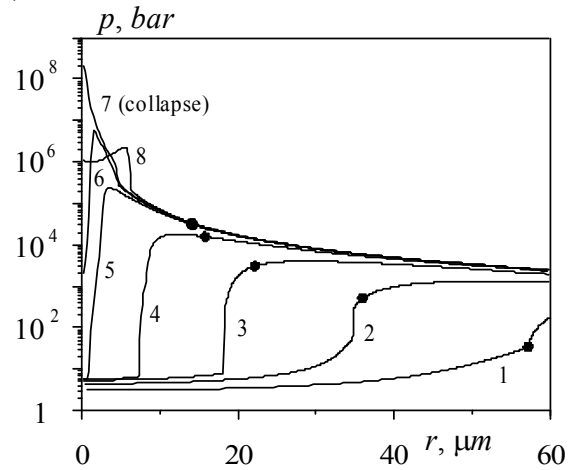


Figure 2. Spatial distribution of the pressure in the vapor and the liquid at the end of the bubble compression: 1–6 – formation and propagation of the converging shock wave; 7 – extreme compression of the vapor (it defines the instant of the bubble collapse  $t^{col}$ ); 8 – propagation of the diverging shock wave. Position of the bubble surface is shown by dots «•».

It should be noted that we are not interested in the evolution of the bubble's interface after the bubble content reaches its extreme values of pressure and temperature (i.e. after  $t = t^{col}$ ), although the process of bubble compression is still going on for some short time. The bubble is compressed until the diverging

shock wave comes to the bubble surface and turns its motion. The difference between the radii of the bubble at the instants of extreme compression of the vapor ( $R^{col}$ ) and extreme compression of the bubble ( $R^{min}$ ) is insignificant (less than 5%).

Dissociation and ionization (Nigmatulin et al. 2005) only manifest themselves in a small vicinity of the bubble center over a very short time interval ( $\sim 0.1$  ns). As a result, their influence on evolution of the bubble shape is insignificant, so that they are not taken into account.

The final stage of the bubble compression, including propagation of shock waves in its cavity, is to a large extent determined by the mass of vapor generated during the stage of bubble growth and partly condensed on the bubble's interface at the beginning of compression, when the temperature of the bubble's interface is lower than the thermodynamic critical temperature. If the evaporation and condensation were not taken into account, the bubble would remain empty, and its radius  $R$  at collapse would tend to zero ( $R \rightarrow 0$ ) with the radial velocity  $\dot{R} \rightarrow \infty$ , which would lead to destruction of the bubble, even though the initial distortion of its sphericity is very small, because of the rapid growth of the distortion amplitude.

### 3.2. Evolution of distortion of bubble sphericity during expansion

Distortions of the sphericity of bubbles in a cluster may result from the bubble interaction and coagulation, thermal fluctuations, action of the gravity forces, etc. The distortion of the bubble sphericity is described by the parameter  $\varepsilon_n / \varepsilon_n^\circ$ . Variation of  $\varepsilon_n / \varepsilon_n^\circ$  during the course of bubble expansion for three values of  $R^\circ = R(t^\circ)$ , the radius of the bubble in the stage of its expansion at which the initial disturbance of the spherical shape  $\varepsilon_n^\circ$  appears, is shown in figure 3 for  $n = 2$  and 10.

It follows from figure 3 that during bubble expansion the distortions of the bubble's sphericity quite strongly decrease. Figure 3 also shows that the distortions with earlier appearance and with less wavelength  $\lambda_n$  (i.e. with greater  $n$ ) decrease faster. For example, in the case of  $R^\circ = 0.04 \mu m$  the relative amplitude of the ellipsoidal distortion  $|\varepsilon_2 / \varepsilon_2^\circ|$  falls to the end of expansion by  $\sim 10^6$  times, and when  $R^\circ \approx 100 \mu m$  it falls by 7 times. For  $n = 10$  similar

reduction amounts to  $\sim 10^{20}$  and 20 times, respectively.

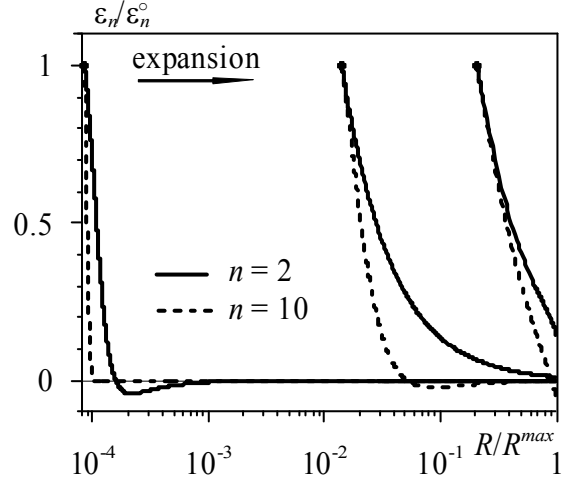


Figure 3. Evolution of the relative distortion  $\varepsilon_n / \varepsilon_n^\circ$  during the course of the bubble expansion for  $n = 2, 10$  and three values of the bubble radius  $R^\circ = 0.04, 6, 100 \mu m$  (marked by dots «•») at which the initial disturbance  $\varepsilon_n^\circ$  of the spherical shape of the bubble appears.

It follows from the expression  $|\varepsilon_n / \varepsilon_n^\circ| = |a_n / a_n^\circ| R^\circ / R$  that the increase of  $R$  plays an important role in reduction of the distortions arising at small values of  $R^\circ$ . For instance, in the case of  $R^\circ = 0.04 \mu m$  the value of  $|\varepsilon_2 / \varepsilon_2^\circ|$  decreases during expansion by  $10^4$  times due to the growth of  $R$  and by  $10^2$  times because of reduction of the amplitude of deviation  $|a_2|$ . For  $R^\circ \approx 100 \mu m$  the value of  $|\varepsilon_2 / \varepsilon_2^\circ|$  falls by 4.5 due to variation of  $R$  and 1.5 times because of the change of  $|a_2|$ .

Evolution of distortions may be strongly dependent on the liquid viscosity and the surface tension. According to (2.5), their influence may be analyzed using the following Reynolds and Weber numbers:

$$Re = \frac{\rho_{l0} R U}{(n+1)(n+2)\mu_l}, \quad We = \frac{\rho_{l0} R U^2}{\sigma(n+1)(n+2)}, \quad (3.2)$$

where  $U$  is the characteristic speed. At the stage of expansion it is convenient to take  $U$  in the form  $U = \sqrt{2(p_a - p_0)/3\rho_{l0}}$ . This expression corresponds to the maximum velocity attained during the course of expansion of an adiabatic bubble under constant liquid pressure equal to  $p_0 - p_a < 0$ . In the case of the cavitation bubble under consideration  $\dot{R} \approx \sqrt{2(p_a - p_0)/3\rho_{l0}}$  for most of the bubble

expansion process, except for its final stage where the speed of expansion drops to zero. During expansion the influence of the liquid viscosity and the surface tension increases proportional to  $n^2$  and decreases inversely proportional to  $R$ .

Computations show that if during expansion the Reynolds number,  $Re$ , is greater than  $Re_{cr} \approx 10$  and the Weber number,  $We$ , is greater than  $We_{cr} \approx 10$ , where  $Re_{cr}$ ,  $We_{cr}$  are the critical numbers, then the influence of the liquid viscosity and the surface tension is slight (i.e., the distortion's amplitude changes by no more than 15%). The critical Reynolds number,  $Re_{cr}$ , for the cases of  $n = 2, 10, 50$  is achieved at  $R^0/R^{max} = 0.0045, 0.05, 1$ , respectively. During expansion the value of  $Re$  turns out to be approximately twice the value of  $We$  so that the critical number  $We_{cr}$  is achieved for twice the radius,  $R^0$ , corresponding to  $Re_{cr}$ . For example, in the case of  $R^0 = 0.04 \mu m$  ( $R^0/R^{max} = 8.6 \cdot 10^{-5}$ ) disregard for the liquid viscosity and the surface tension overestimates the value of  $|a_n|$  by 35 times while in the case of  $R^0 \approx 6 \mu m$  ( $R^0/R^{max} = 0.013$ ) the overestimate is only  $\approx 1\%$  (the similar overestimate for  $n = 10$  amount to  $10^{17}$  and 7 times, respectively). Similarly, neglecting the liquid viscosity and the surface tension at  $R^0 \approx 100 \mu m$  leads to overestimating  $|a_n|$  for  $n = 10$  by only 5%.

It is interesting to note that the liquid vorticity generated by its viscosity does not contribute to the reduction of distortion, but, on the contrary, hinders it. For example, in the case of  $R^0 = 0.04 \mu m$ , neglect of the liquid vorticity reduces the level of distortion by 10 times for  $n = 2$  and by more than 10 times for  $n > 2$ . Significantly, with increasing  $R^0$  the influence of the vortex motion of the liquid rapidly decreases.

It was shown in Plesset & Mitchell (1956) that in the case of a bubble uniformly expanding in an incompressible liquid without regard to the surface tension the amplitude  $a_n$  of deflection of the bubble from the spherical one decreases, tending to a constant. This implies that in such an expansion  $|\epsilon_n| \leq |\epsilon_n^0| R^0/R$ . For the case of the expansion of the cavitation bubble under consideration this situation is observed for low-frequency disturbances for most part of the expansion process (except for the initial and final stages) because of the influence of the liquid viscosity, since the effect of surface tension and the radial acceleration are negligible. In addition, for the initial and final stages

of the expansion process the distortion does not increase since these stages differ from the main stage of the expansion due to the presence of the damping influence of liquid viscosity during the first stage and the stabilizing influence of the negative radial acceleration during the second stage. Therefore, the estimate  $|\epsilon_n| \leq |\epsilon_n^0| R^0/R$  for the amplitude of the low-frequency distortions is valid during the entire expansion. It follows that it is also true for high-frequency distortions, as with growth of  $n$  the damping effect of the liquid viscosity increases.

Influence of the initial velocity  $\dot{R}_0$  on evolution of distortion is noticeable only for small  $R^0$  and rapidly decreases with the growth of  $R^0$ : when  $R^0 = 6 \mu m$  the difference between the values of distortion at the time of maximum expansion of the bubble for the cases of  $\dot{R}_0 = 0.01 m/s$  and  $30 m/s$  turns out to be less than 8% when  $2 \leq n \leq 10$ . Therefore, in what follows evolution of distortion will be considered only for the case of  $\dot{R}_0 = 30 m/s$ .

### 3.3. Evolution of distortion of bubble sphericity during the compression stage

Figure 4 shows features of the evolution of distortions of the bubble's sphericity during the compression stage. One can see that during compression the bubble's shape changes in the form of oscillations about the spherical shape. When  $n < 50$ , which is equivalent to the bubble's sphericity disturbance with the wavelength  $\lambda_n > R/8$ , the effect of the liquid viscosity for the entire stage of bubble compression is insignificant (no more than 15% in the amplitude of the distortion oscillations). The influence

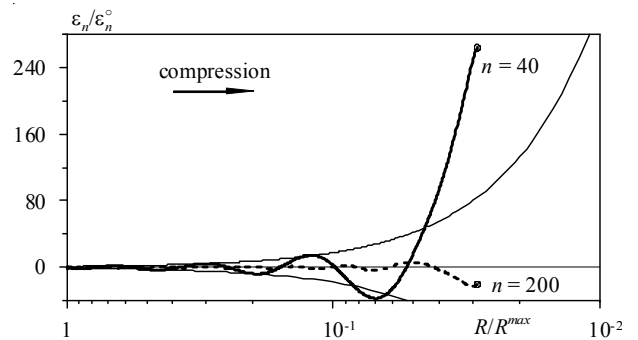


Figure 4. Evolution of the relative distortion  $\epsilon_n / \epsilon_n^0$  during the compression stage,  $R^0 = R^{max}$  (thick solid and dashed lines). Thin solid lines correspond to the amplitude of increasing oscillations of  $\epsilon_n / \epsilon_n^0$ , independent of  $n$ , in approximate solution (3.5) for the problem of the collapse of a vapor bubble in a nonviscous liquid without surface tension. The moment of collapse is marked by a circle, «0».

of the surface tension is also small. Neglect of this factor leads to overestimating the period of oscillations by less than 10% (this results in overestimating the amplitude of the distortion oscillations by the time of the collapse by no more than 20%). The influence of the radial acceleration  $\ddot{R}$  is much greater. For example, when  $n = 50$ , neglect of the effect of  $\ddot{R}$  makes the frequency of increasing distortion oscillations go down by about 10 times.

The amplitude of fluctuations of long-wave disturbances ( $n < 50$ ) increases nearly as  $R^{-5/4}$ , which corresponds to the case of nonviscous liquid. At that, the increase of  $n$  from 2 to 40 causes some nonmonotonic (due to the change in the oscillation phase) increase of the distortion amplitude at the time of the bubble collapse.

Viscous damping rapidly increases with decrease of the wavelength  $\lambda_n$  of the sphericity disturbances in the range  $n > 50$ , which leads to reduction in the amplitude of distortion at the compression stage and, as a consequence, at the time of collapse. For example, for  $n = 200$  the viscous damping turns out to be approximately 10 times less than it is for  $n = 40$ .

### 3.3.1. Evolution of long-wave distortions when the effect of the liquid viscosity is small

During the lengthy initial low-speed stage of bubble compression the effect of liquid compressibility is small, the vapor pressure in the bubble is much less than the pressure of the surrounding liquid (i.e., the dynamics of the cavitation bubble is like that of an empty cavity). Therefore, in the case of the long-wave distortions ( $n < 50$ ) for description of evolution of  $\varepsilon_n / \varepsilon_n^\circ$ , one can use the solution of the problem of the growth of small distortions of sphericity for an empty bubble during its radial collapse in inviscid incompressible liquid without regard to the surface tension. The exact solution to this problem has the form (Plesset & Mitchell 1956):

$$\begin{aligned} a_n &= \frac{a_n^\circ}{\eta^{\xi_n}} F\left(\xi_n, \xi_n + \frac{2}{3}, \frac{1}{2}; 1 - \frac{1}{\eta}\right) + \\ &+ \frac{\dot{a}_n^\circ R^\circ}{\eta^{\xi_n}} \left(\frac{2\rho_{l0}}{3p_\infty}\right)^{1/2} \left(1 - \frac{1}{\eta}\right)^{1/2} \times \\ &\times F\left(\frac{1}{3} - \zeta_n, 1 - \zeta_n, \frac{3}{2}; 1 - \frac{1}{\eta}\right) \end{aligned} \quad (3.3)$$

where  $R^\circ = R^{max}$ ,  $\eta = (R^\circ/R)^3$ ,  $F$  – is the hypergeometric function,

$$\begin{aligned} \xi_n &= -\frac{1}{12} + i\delta_n, \quad \zeta_n = -\frac{1}{12} - i\delta_n, \\ \delta_n &= \frac{1}{12}(24n - 25)^{1/2}, \quad i = \sqrt{-1}. \end{aligned}$$

In Plesset & Mitchell (1956), the following asymptotic solution for  $R \rightarrow 0$  was also obtained:

$$\varepsilon_n \approx \left(\frac{R^\circ}{R}\right)^{5/4} (C_n \cos y_n + D_n \sin y_n),$$

where  $y_n = 3\delta_n \ln(R/R^\circ)$ ,  $C_n, D_n$  are constants.

In Ilgamov (2006) an approximate solution was found:

$$\begin{aligned} \varepsilon_n &\approx \left(\frac{R^\circ}{R}\right)^{5/4} \left[ \varepsilon_n^\circ \cos y_n + \frac{5}{12\delta_n} (\varepsilon_n^\circ - 2t_c \dot{\varepsilon}_n^\circ) \sin y_n \right], \\ t_c &= \frac{2R^\circ}{5} \left(\frac{3\rho_{l0}}{2p_\infty}\right)^{1/2}. \end{aligned} \quad (3.4)$$

It follows from (3.4) that for large  $n$ ,

$$\varepsilon_n \approx \varepsilon_n^\circ \left(\frac{R^\circ}{R}\right)^{5/4} \cos y_n. \quad (3.5)$$

According to (3.5), evolution of any distortion does not depend on its initial velocity,  $\dot{\varepsilon}_n^\circ$ .

Figure 5 gives a comparison of the solutions given in (3.3) and (3.4) for an empty bubble with numerical solutions to (2.1)–(2.8) for a bubble filled with vapor for  $n = 40$ . One can see that for nearly the entire stage of compression of the bubble the

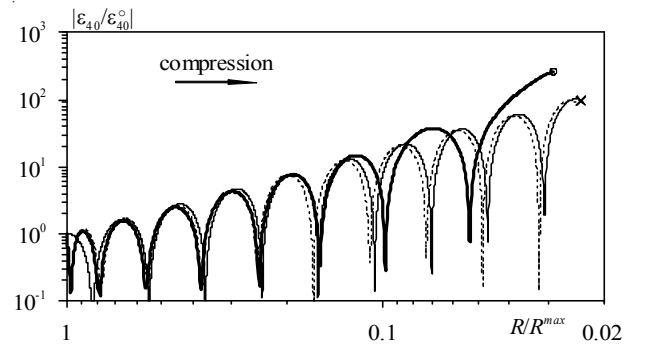


Figure 5. Comparison of the exact solution (3.3) (dotted line) and the approximate solution (3.4) (thin solid line) for an empty bubble with the numerical solution to (2.1)–(2.8) for a bubble filled with vapor (thick solid line). The circle stands for the instant of bubble collapse, and the cross for its approximate value given by (3.6). The spikes directed downward in the regions where the distortion passes through its zero values are due to the use of the logarithmic scale for the axis of  $|\varepsilon_{40} / \varepsilon_{40}^\circ|$ .



distortion of its sphericity increases in the form of growing oscillations due to a Birkhoff-Plesset instability (Plesset 1954; Birkhoff 1956; Plesset & Mitchell 1956; Eller & Crum 1970; Ilgamov 2005). The exact solution (3.3) for an empty bubble is in good agreement with the numerical solution for a cavitation bubble up to the time the bubble radius decreases by about 10 times. Furthermore, due to the presence of the vapor in the bubble the frequency of growing oscillations of the shape distortion decreases in the numerical solution while the amplitude increases. The solution given by (3.4) is consistent with the exact solution for the empty cavity (3.3) except for a short initial part of the compression process where there is significant divergence of the periods of oscillations.

It can be noted in figure 5 that for  $n \leq 50$  variation of the amplitude of the distortion oscillations up to  $R/R^{max} \approx 0.1$  and change of their frequency in  $0.7 > R/R^{max} > 0.1$  are quite well described by (3.5).

Solutions of (3.3)–(3.5) describe the collapse of an empty cavity to zero while a bubble filled with vapor compresses only to  $R \approx R^{col}$ . To get approximate value of  $R^{col}$  one can use the following expression (valid for a homobaric adiabatic compression):

$$R^{col} \approx R^{max} \left[ \frac{p_b}{(\gamma - 1)p_\infty} \right]^{\frac{1}{3(\gamma - 1)}}, \quad (3.6)$$

where  $p_b$  is the gas pressure in the bubble at the beginning of compression. Assuming the liquid pressure is  $p_\infty = 14 \text{ bar}$ ,  $\gamma = 1.4$  and taking into account that  $p_b = 0.063 \text{ bar}$ , one can derive from (3.6) that  $R^{col}/R^{max} \approx 0.0238$  (which is marked in figure 5 by the cross). It follows from figures 4, 5 that the rapid increase of distortion of the bubble sphericity starts when the bubble radius becomes equal to 1/10 to 1/20 of  $R^{max}$  (Ilgamov 2005, 2006).

### 3.3.2. Evolution of short-wave distortions when the effect of the liquid viscosity is significant

When  $n$  increases in the range  $n > 50$  then the effects of the viscous damping and the surface tension on the sphericity distortion during compression grow. For their analysis in comparison with the effect of inertia of the radial flow of the liquid one can use the Reynolds and Weber numbers introduced previously in (3.2). However, during compression it is more

appropriate to take the characteristic velocity  $U$  in the form  $U = \sqrt{2p_a(R^{max})^3/3\rho_{l0}R^3}$ , which is derived from the expression of the total energy of free undamped radial oscillations of a spherical adiabatic bubble in the range from  $R^{col}$  to  $R^{max}$ , when  $p_a \gg p_0$ . It should be noted that during bubble compression (unlike expansion) the change (i.e., the increase) of the numbers  $Re$  and  $We$  may also be due to the fact that parameters  $\mu$ , and  $\sigma$  dependent on the increasing temperature on the interfacial surface.

During the stage of bubble compression, as well as during its expansion, the effects of liquid viscosity and surface tension increase with  $n$  as  $n^2$ . At the same time, during the course of compression, unlike expansion, the effect of the liquid viscosity is reduced as  $R^{1/2}$ , while the effect of the surface tension decreases as  $R^2$ . Computations show that within those portions of the bubble compression process the effect of the liquid viscosity is insignificant when  $Re > Re_{cr} \approx 10$  and the effect of the surface tension is small when  $We > We_{cr} \approx 10$ .

In that portion of the bubble compression process where  $Re > Re_{cr}$  the amplitude of the sphericity distortions increases during oscillations. For example, in the abovementioned case of  $n < 50$ , the region with  $Re > Re_{cr}$  (and with  $We > We_{cr}$ ) includes the entire compression, while for the case of  $n > 50$  it covers only a part of it. With reduction of the number  $Re$  from  $Re_{cr}$  to  $Re \approx 1$ , the rate

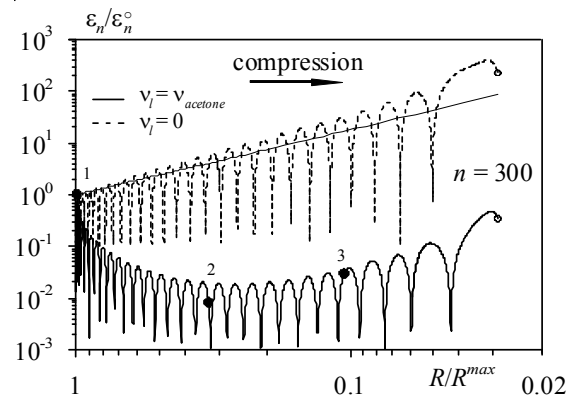


Figure 6. Evolution of the relative distortion amplitude during compression of a cavitation bubble with (solid curve) and without (dashed curve) regard to the liquid viscosity ( $R^0 = R^{max}$ ). The thin solid straight line corresponds to  $(R/R^{max})^{-5/4}$ . The circle stands for the instant of bubble collapse. Dots 1-3 show the moments when  $Re = 0.326$  (dot 1),  $Re = 1$  (dot 2),  $Re = Re_{cr} \approx 10$  (dot 3).

of growth of the oscillation amplitudes drops to zero, and for  $Re < 1$  the oscillations become damped. In particular, during bubble compression, the amplitude of oscillations of the distortion for  $n = 300$  (figure 6) first (in the range  $0.33 \leq R/R^{max} \leq 1$  where  $Re < 1$ ) decreases then (in the range  $R/R^{max} < 0.33$  where  $Re > 1$ ) it gradually grows so that after some time (in the range  $R/R^{max} < 0.1$  where  $Re > Re_{cr}$ ) it becomes increasing as in the non-viscous case.

It should be noted that, without regard to the liquid viscosity, the amplitude of oscillation of the distortion with  $n = 300$  grows as a power law, however, slightly faster than dependence  $(R/R^{max})^{-5/4}$ , which is explained in subsection 3.3.4.

With reduction of  $We$  in the range  $We < We_{cr}$ , the effect of the surface tension increases. First of all it leads to decreasing the oscillation period while its influence on their amplitude is small. In particular, with neglecting the surface tension, the oscillation period becomes overestimated by 30% for  $We \approx 1$  and by about 3 times for  $We \approx 0.1$ .

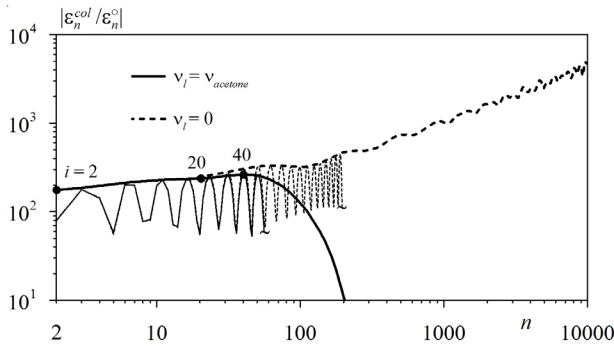


Figure 7. Envelopes of the dependence of  $|\varepsilon_n^{col} / \varepsilon_n^o|$  on  $n$  obtained with (thick solid line) and without (thick dotted line) regard to the liquid viscosity, for  $R^o/R^{max}$  (fragments of those dependences are shown by thin solid and dotted lines, respectively). At the beginning of compression ( $R = R^{max}$ ) for  $n = 2, 20, 40$  (marked by dots) the numbers  $Re$  and  $We$  respectively are  $Re = 2470, 64, 17$  and  $We = 1312, 34, 9$ .

The effect of the liquid viscosity during the bubble compression on the amplitude of the sphericity distortions at the time of the bubble collapse  $|\varepsilon_n^{col}|$  in the range of the distortion wavelengths corresponding to  $2 \leq n \leq 10000$  is characterized by figure 7. This figure presents dependences of  $|\varepsilon_n^{col} / \varepsilon_n^o|$  on the number  $n$  with and without regard to the liquid viscosity in the case of  $R^o/R^{max} = 1$ . Here,  $\varepsilon_n^{col}$  means the maximum sphericity distortion within the entire

bubble compression, which is usually attained either at the instant of collapse or shortly prior to it. Due to oscillations of  $\varepsilon_n$  during the course of compression, the dependences of  $|\varepsilon_n^{col} / \varepsilon_n^o|$  on  $n$  appear to also be oscillating.

In this paper the initial velocity of variation of the deflection amplitude  $\dot{a}_n^o$  is always zero ( $\dot{a}_n^o = 0$ ). Clearly it can be non-zero in reality and this fact must be taken into account. Variations of the initial velocity  $\dot{a}_n^o$  would lead to alteration in the distortion amplitude at the instant of collapse  $|\varepsilon_n^{col}|$ . Computations have shown that the dependences of  $\max |\varepsilon_n^{col} / \varepsilon_n^o|$  (of maximum values of  $|\varepsilon_n^{col} / \varepsilon_n^o|$  derived by variation of  $\dot{a}_n^o$ ) on  $n$  can be approximated by the envelopes of functions  $|\varepsilon_n^{col} / \varepsilon_n^o|$  of  $n$  obtained with  $\dot{a}_n^o = 0$ . Such envelopes and the method of their derivation are given in figure 7.

With regard to the liquid viscosity the distortion amplitude at the moment of the bubble collapse  $|\varepsilon_n^{col}|$ , with the increase of  $n$  first slightly grows and then, after  $n \approx 40$ , rapidly falls. If liquid viscosity is not taken into account, then  $|\varepsilon_n^{col} / \varepsilon_n^o|$  grows without limit. This implies that with growth of  $n$  the unit value of  $|\varepsilon_n^{col}|$  ( $|\varepsilon_n^{col}| = 1$ ), which is critical for the bubble integrity (in the linear analysis it is usually assumed that at  $|\varepsilon_n^{col}| \geq 1$  the bubble is destroyed (Hilgenfeldt et al. 1996)), will be achieved with more and more small initial disturbances,  $|\varepsilon_n^o|$  (i.e. with  $|\varepsilon_n^o| \rightarrow 0$ ).

Thus, during the bubble compression liquid viscosity is of primary importance in preservation of the bubble shape close to the spherical one.

In subsection 3.3.3, it will be shown that the growth of  $|\varepsilon_n^{col} / \varepsilon_n^o|$  with  $n$  in a nonviscous liquid does not result from the Rayleigh-Taylor instability. The reasons for this growth will be given in subsection 3.3.4.

### 3.3.3. Effect of vapor density

As can be seen from (2.5), in describing the evolution of deviation of the bubble shape from the spherical one, the effect of the vapor density on the bubble sphericity distortion is governed by parameter  $q_n = (n+1)\bar{\rho}_g / (n\rho_{l0})$  (to be more exact, by its value in comparison with unity). During the bubble expansion the vapor density is significantly less than the liquid density ( $q_n \ll 1$ ). Therefore, during expansion its effect is negligible.

The effect of the vapor density during the course of bubble compression is illustrated in figure 8. This

figure presents solution with ( $q_n \neq 0$ ) and without ( $q_n = 0$ ) regard to the vapor density ( $n = 100$ ,  $R^0 = R^{max}$ ). During compression the evolution of the bubble sphericity distortion largely depends on the radial acceleration  $\ddot{R}$  (its variation is shown in the upper part of the figure). The influence of the radial acceleration  $\ddot{R}$ , as seen in (2.5), is governed by the multiplier  $(1 - q_n)$  of  $\ddot{R}$ . When  $(1 - q_n)\ddot{R} < 0$ , the radial acceleration restricts the growth of the distortion (like the surface tension), and when  $(1 - q_n)\ddot{R} > 0$  it contributes to its increase.

At the beginning of compression the liquid density is significantly larger than the vapor density ( $q_n \ll 1$ ). Therefore, the influence of the vapor density can be neglected. In the final stage of compression the vapor density greatly increases, and, as a result, the sign of the difference  $(1 - q_n)$  changes. However, this change takes place nearly simultaneously with the change in the sign of the acceleration  $\ddot{R}$ . Hence, the sign of the product  $(1 - q_n)\ddot{R}$  remains the same which means that even at the end of compression a Rayleigh-Taylor instability does not occur. Therefore, in this case the influence of the positive radial acceleration  $\ddot{R}$  on the bubble sphericity turns out to be stabilizing.

If however the effect of the vapor density is not taken into account ( $q_n = 0$ ), then at the end of compression, where  $\ddot{R} > 0$ , a Rayleigh-Taylor instability occurs. This explains the fast growth of distortion near collapse in the case of  $q_n = 0$  (figure 8). With an increase of  $n$  this growth increases. This leads to the increase of the distortion amplitude at the time of collapse  $|\varepsilon_n^{col}|$  with an

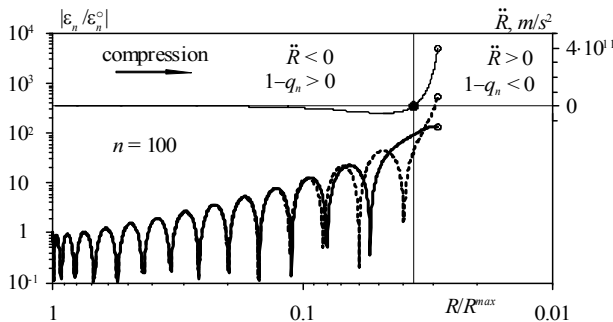


Figure 8. Evolution of  $|\varepsilon_n / \varepsilon_n^0|$  during compression ( $n = 100$ ,  $R^0 = R^{max}$ ) with (thick solid line) and without (dotted line) regard to the vapor density and variation of the radial acceleration  $\ddot{R}$  (thin solid line). Symbols show the instant of change in the sign of the difference  $1 - q_n$  ( $\bullet$ ) and the instant of collapse ( $\circ$ ).

increase of  $n$  from 2 to 100, despite the fact that for  $n > 50$  the damping effect of the liquid viscosity becomes more significant. With the increase of  $n$  from 100, the value of  $|\varepsilon_n^{col}|$  goes down since the effect of the viscous damping in the course of expansion-compression turns out to be more significant than the influence of the Rayleigh-Taylor instability. The neglect of the vapor density effect leads to a shift of the maximum in the dependence of  $|\varepsilon_n^{col} / \varepsilon_n^0|$  on  $n$  towards the short-wave disturbances: from  $n = 40$  (see figure 7) to  $n \approx 100$ .

### 3.3.4. Reasons for growth of the distortion amplitude at the moment of collapse with reduction of the wavelength $\lambda_n$ without regard to the liquid viscosity

Without allowing for the liquid viscosity, the value of  $|\varepsilon_n^{col} / \varepsilon_n^0|$  increases with an increase of  $n$  without limit (see figure 7). In this case the equation for  $a_n$  has the form:

$$(1 + q_n)\ddot{a}_n + 3\frac{\dot{R}}{R}\dot{a}_n + \left[ \frac{\sigma(n^2 - 1)(n + 2)}{\rho_{l0}R^3} - (n - 1)(1 - q_n)\frac{\ddot{R}}{R} \right] a_n = 0. \quad (3.7)$$

It follows from (3.7) that during a rather prolonged initial part of compression, where  $q_n \approx 0$  and  $R/R^{max} \ll 1$ , the shape distortion in the case of  $\sigma = 0$  will increase as growing oscillations with the amplitude proportional to  $R^{-5/4}$  (Plesset & Mitchell 1956), and in the case of  $\sigma = \text{const} > 0$  and  $\ddot{R} = 0$ , computations show the amplitude is proportional  $R^{-7/4}$ . According to (3.7), the effect of the surface tension is proportional to  $n^3$  (the term with  $\sigma$ ), and that of the radial inertia is proportional to  $n$  (the term with  $\ddot{R}$ ). As a result, with the increase of  $n$ , the stabilizing effects on the bubble shape of the surface tension and the inertia of radial flow change. As seen in figure 9, when  $n \leq 100$  the inertia forces prevail so that during the relatively long initial part of the bubble compression process, where  $q_n \approx 0$ , the amplitude of oscillation of  $|\varepsilon_n / \varepsilon_n^0|$  varies according to the law close to  $(R/R^{max})^{-5/4}$ . When  $n \geq 1000$ , the effect of surface tension turns out to be significantly greater so that during that part of the bubble compression where  $q_n \approx 0$  and  $\sigma \approx \text{const}$  the amplitude of oscillation of  $|\varepsilon_n / \varepsilon_n^0|$  changes by a law close to  $(R/R^{max})^{-7/4}$ .

In the course of compression the temperature on the bubble's interface significantly increases. As a result, the surface tension  $\sigma(T)$  drops toward zero. When  $n > 1000$ , the growth of the amplitude of oscillation of  $|\varepsilon_n / \varepsilon_n^\circ|$  at the beginning of compression is limited by the surface tension. If in this case the surface tension  $\sigma$  during compression were constant, then, as was noted, the amplitude of oscillation of  $|\varepsilon_n / \varepsilon_n^\circ|$  throughout the compression would vary by the law close to  $(R/R^{max})^{-7/4}$ , and, as computations show, the value of  $|\varepsilon_n / \varepsilon_n^\circ|$  would be no more than 500. Because  $\sigma$  drops to essentially zero due to its dependence on the temperature, the amplitude of oscillation of  $|\varepsilon_n / \varepsilon_n^\circ|$  increases at the beginning of compression slightly faster than  $(R/R^{max})^{-7/4}$  (see figure 9,  $n = 10000$ ). When  $R/R^{max} \approx 0.11$  the temperature on the interfacial boundary reaches the critical value, after which the surface tension disappears. Then the bubble shape is only stabilized by the inertia forces.

Moreover, in transition from a long-term part of compression with negative acceleration  $\ddot{R}$  to a very short final part with the positive  $\ddot{R}$ , the forces of inertia of radial flow restricting the growth of the distortion become very small (since  $\ddot{R} \approx 0$ ). As a result, at large values of  $n$  the value of  $|\varepsilon_n / \varepsilon_n^\circ|$  near  $R/R^{max} = 0.033$  significantly increases (see figure 9,  $n = 10000$ ), and this increase grows as  $n$  increases.

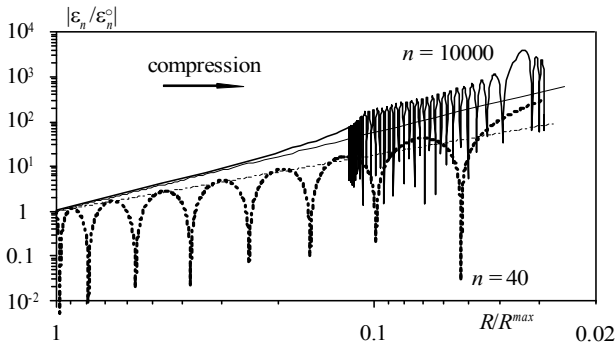


Figure 9. Evolution of  $|\varepsilon_n / \varepsilon_n^\circ|$  for  $n = 40$  (dotted nonstraight line), 10000 (solid nonstraight line) during the bubble collapse in the case without liquid viscosity ( $v_l = 0$ ). For  $n = 10000$  at  $R/R^{max} \geq 0.12$ , the amplitude of growing oscillations of  $|\varepsilon_n / \varepsilon_n^\circ|$  is shown, rather than its evolution. The straight dotted and solid lines present approximations of variation of the amplitude of growing oscillations of  $|\varepsilon_n / \varepsilon_n^\circ|$  by laws  $(R/R^{max})^{-5/4}$  and  $(R/R^{max})^{-7/4}$ , respectively.

Thus, without taking into account the effect of the liquid viscosity, the value of  $|\varepsilon_n^{col} / \varepsilon_n^\circ|$  increases with an increase of  $n$  due to three reasons. First, with an increase of  $n$  the rate of distortion growth at the beginning of bubble compression becomes controlled (after some value of  $n$ ) by the surface tension rather than the inertia of radial flow. Second, during compression the surface tension can drop to zero. Third, the inertia of radial flow, restricting the growth of the distortion amplitude, greatly decreases in the transition of the bubble compression from its long-term part with the negative radial acceleration to its very short final part with the positive radial acceleration.

### 3.4. Dependence of growth of the amplitude of the distortions at the moment of bubble collapse on the instant of their appearance during bubble expansion

Figure 10 presents a curve  $ABC$  which characterizes the dependence of  $|\varepsilon_n^{col} / \varepsilon_n^\circ|$  on  $R^\circ$ . This curve was obtained using the dependences of  $|\varepsilon_n^{col}|$ , the distortion amplitude of the bubble sphericity at the instant of collapse, on  $t^\circ$ , the instant of appearance of the initial nonsphericity  $\varepsilon_n^\circ$  at the stage of the bubble expansion ( $t^\circ \leq t^{max}$ ), for various  $n$  and the envelopes of those dependences. In figure 10 the dependences of  $|\varepsilon_n^{col}|$  on  $t^\circ$  are presented as functions  $|\varepsilon_n^{col} / \varepsilon_n^\circ|$  of  $R^\circ/R^{max}$ . For every  $n$  these functions are to a large extent nonmonotonic (with spikes directed downward where  $|\varepsilon_n^{col}|$  is close to zero; as  $n$  varies, the zero value of  $|\varepsilon_n^{col}|$  appears with some frequency

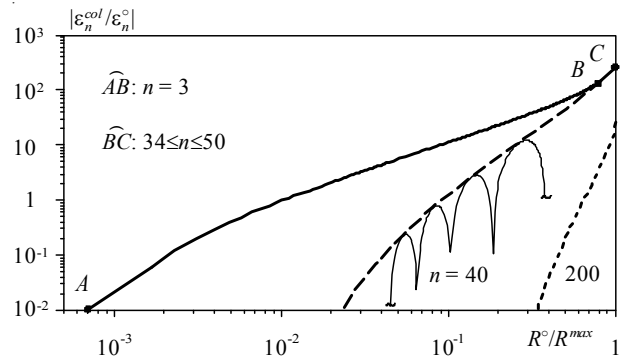


Figure 10. Envelopes of the dependences of the relative distortion amplitude at the instant of bubble collapse,  $|\varepsilon_n^{col} / \varepsilon_n^\circ|$ , on relative radius,  $R^\circ/R^{max}$ , during expansion at which the distortions occurs, for  $n = 40$  (dashed line),  $n = 200$  (dotted line) and  $n \geq 2$  (thick solid line). A fragment of the dependence of  $|\varepsilon_n^{col} / \varepsilon_n^\circ|$  on  $R^\circ/R^{max}$  for  $n = 40$  is shown by the thin solid line.

because of nonmonotonic change of the distortion  $\varepsilon_n$  in the course of the bubble expansion-compression). A fragment of such a nonmonotonic function is presented in figure 10 for  $n = 40$  (thin solid line). At the same time, the envelope of this function (the dashed line) is a significantly simpler monotonically-increasing dependence. That is why it is more convenient to use the envelopes rather than those functions themselves. The method of derivation of the envelopes is clear from the case of the distortion with  $n = 40$ .

The curve  $ABC$  is, in fact, the envelope of the envelopes corresponding to all values of  $n$  ( $n \geq 2$ ). For a particular value of  $R^0/R^{max}$  it characterizes the maximum distortion amplitude (over all  $n$ ) which can take place at the instant of the bubble collapse. The piece  $AB$  of the curve  $ABC$  is produced by a segment of the envelope for  $n = 3$ , the piece  $BC$  is produced by segments of the envelopes for  $n$  from 34 to 50 (the point  $C$  corresponding to  $R^0 = R^{max}$  results from  $n = 40$ ).

One can conclude from the curve  $ABC$  that whenever (at any moment  $t^0$  and any radius  $R^0$ ) at the stage of the bubble expansion the initial disturbance of the bubble sphericity,  $\varepsilon_n^0$ , occurs and whatever the form that disturbance has (i.e. for any number  $n$ ), the amplitude of that disturbance at the time of the bubble collapse will not exceed its initial value  $\varepsilon_n^0$  by more than 300 times. As in the course of expansion the amplitude of the disturbance decreases, the amplitude of those disturbances that appear at  $R^0 \leq R^{max}$  at the instant of bubble collapse turn out to decrease with decreasing  $R^0$  to give a maximum at  $R^0 = R^{max}$ . It follows that if the initial disturbance  $\varepsilon_n^0$  occurs at  $R^0 \ll R^{max}$  ( $R^0/R^{max} < 10^{-2}$ ), then the disturbance at the instant of collapse  $\varepsilon_n^{col}$  will be even less than the initial one ( $|\varepsilon_n^{col}/\varepsilon_n^0| < 1$ ), as in this case, the decrease of disturbance during the stage of expansion exceeds its growth during the stage of compression. If the initial disturbance occurs at  $R^0$  close to the critical radius for liquid rupture (i.e. when  $R^0 \approx R_{cr}$ ), the distortion amplitude at the instant of collapse will be  $10^3$  times less than the amplitude of the initial disturbance.

It should be noted that one of a number of reasons for the significant reserve of stability of the bubble to the sphericity distortions in the case of  $R^0 \approx R_{cr}$  is that the ratio  $R^0/R^{col}$  is quite small

( $R^0/R^{col} \approx 0.03$ ). These results from the excess of the mass of the liquid evaporated during the slow stage of bubble expansion compared to the mass of vapor condensed during the more rapid stage of the bubble compression.

When decreasing the length of the sphericity disturbance wave (i.e., when increasing  $n$ ) the amplitude of the disturbance at the time of the bubble collapse usually reduces due to the damping effect of the liquid viscosity. For small values of  $R^0/R^{max}$  this feature is typical of disturbances with any  $n$ . With increase of  $R^0/R^{max}$  the damping effect of the liquid viscosity weakens so that this feature manifests itself only from some number of  $n > 2$ . When  $R^0/R^{max}$  grows to unity such a number increases to 40.

As was mentioned above, the condition  $|\varepsilon_n| < 1$  is usually taken as the criterion for bubble integrity. It follows from the results presented in figure 10 that according to this criterion, the integrity of the bubble will not be destroyed by the disturbance of its shape in the form of any harmonic if the disturbance with the amplitude  $|\varepsilon_n^0| \leq 10^{-2}$  appears at the bubble radius  $R^0$  not exceeding  $R^{max}/2$ .

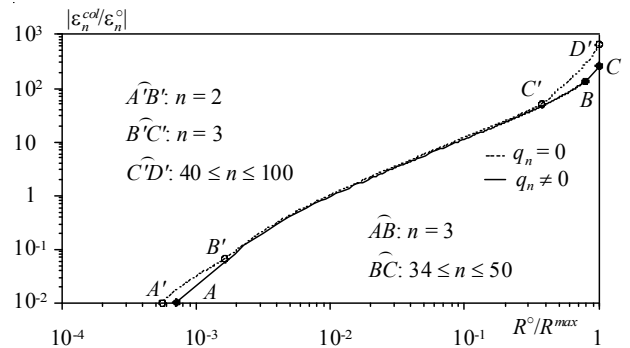


Figure 11. Envelopes of dependences of  $|\varepsilon_n^{col}/\varepsilon_n^0|$  on  $R^0/R^{max}$  for  $n \geq 2$  with (solid line) and without (dotted line) regard to the influence of the vapor density.

Figure 11 shows a comparison of the envelopes of dependences of  $|\varepsilon_n^{col}/\varepsilon_n^0|$ , the amplitude of the relative distortion at the moment of the bubble collapse, on the relative radius  $R^0/R^{max}$ , for  $n \geq 2$  with ( $q_n \neq 0$ , the curve is same as in figure 10) and without ( $q_n = 0$ ) regard to the vapor density effect. One can see that the influence of the vapor density is small. Without regard to its influence the amplitudes of the relative distortions maximal over  $n$  for  $n \geq 2$  at the moment of the bubble collapse turn out to be somewhat overestimated for small and large values

of  $R^0$ . In particular, when  $R^0 \approx R^{max}$  they appear to be 2.5 times greater. Nevertheless, even without regard to the vapor density effect the maximum (over  $n$ ) value of the ratio  $|\varepsilon_n^{col} / \varepsilon_n^0|$  does not exceed  $10^3$  for any  $R^0$ .

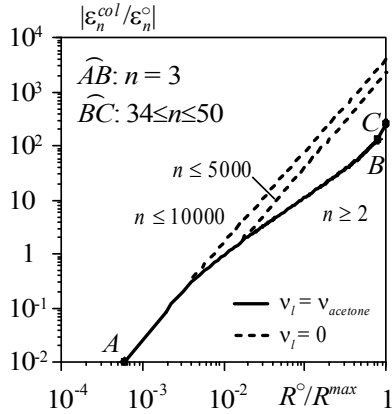


Figure 12. Envelopes of dependences of  $|\varepsilon_n^{col} / \varepsilon_n^0|$  on  $R^0 / R^{max}$  obtained with (solid line) and without (dashed lines) regard to the liquid viscosity for  $n$  in the ranges specified in the figure.

Note that if the influence of the vapor density is taken into account in other ways: Prosperetti (1977); Augsdorfer et al. (2000); Yuan et al. (2001), then the level of the distortions in the segment  $AB$  will be slightly higher (within 5%), while in the segment  $BC$  it will remain unchanged.

The change of influence of the liquid viscosity on the value of the bubble's sphericity distortion amplitude maxima over  $n \geq 2$  at the moment of the bubble collapse with variation of the phase of the bubble's expansion in which the initial distortion  $\varepsilon_n^0$  appears, is characterized in figure 12. This figure shows a comparison of the envelopes of the dependences of  $|\varepsilon_n^{col} / \varepsilon_n^0|$  on  $R^0 / R^{max}$  obtained with (for  $n \geq 2$ , the curve is the same as in figure 10) and without (for  $n \leq 5000$  and  $n \leq 10000$ ) liquid viscosity effect. One can see that in the case without liquid viscosity, the amplitude of the maximum distortion in a specified range at the moment of the bubble collapse is increasingly overestimated with growth of  $n$ , and the largest overestimate takes place in the case of  $R^0 \approx R^{max}$ . At that, the range of  $R^0$  corresponding to the overestimated values of  $|\varepsilon_n^{col} / \varepsilon_n^0|$  increasingly grows towards the lower values of  $R^0$ .

#### 4. Conclusions

1. During expansion of a bubble, the disturbances of its spherical shape decrease. The

earlier the shape distortions appear, the greater is the decrement of their amplitudes by the end of the bubble expansion process. This is a consequence of the decrease of the bubble radius at the moment at which the disturbance appears as well as by the increase of the damping influence of liquid viscosity. Due to the increase of the damping influence of the liquid viscosity, the extent to which the amplitude of a disturbance decreases, also increases with reduction in the disturbance wavelength  $\lambda_n = 2\pi R/n$  (where  $R$  is the bubble radius,  $n$  is the number of the spherical harmonic).

2. Significant growth of the amplitude of the disturbances of the spherical shape of a bubble is possible only during its compression. The factors of primary importance in limiting their growth are:

(i) The vapor inside the bubble, which appears in it at the stage of its expansion and then partly condenses on the bubble's interface at the beginning of bubble compression, during the period when the temperature of the vapor on the bubble surface is below the thermodynamic critical temperature.

(ii) The liquid viscosity.

3. Effect of the vapor in the bubble is associated with the fact that at the final high-speed stage of bubble compression the pressure of the vapor in it greatly increases (i.e., in the shock-wave mode). As a result, the radius of the bubble during its compression drops to a small finite value rather than to zero. For the conditions under consideration the radius of the bubble decreases at the stage of compression by about 30 times, from 450 to 14  $\mu m$ . This feature "saves" the bubble from destruction, because otherwise, due to its collapse to the zero radius ( $R = 0$ ) it would be destroyed even though the initial distortions of its sphericity are arbitrarily small.

4. Due to the growth of the vapor density, a Rayleigh-Taylor instability of the bubble shape during the final stage of the bubble compression is not observed. This results from the fact that at the end of the bubble compression, when the radial acceleration of the bubble surface is directed outward (from the vapor to the liquid), the vapor and the liquid at the interfacial boundary are at or close to critical conditions with nearly equal densities. If the influence of the vapor density is not taken into account, the amplitude of the distortions during

compression may grow by about 2.5 times larger. At that, the maximum growth will be attained by the amplitude of the higher-frequency distortions (with  $n \approx 100$ ).

5. Without taking into account the liquid viscosity, the extent to which the amplitude of the harmonic distortions of the bubble sphericity grows at stage of the bubble compression, increases without limit on decreasing the disturbance wavelength  $\lambda_n$  (i.e., with increasing  $n$ ), while with regard to the liquid viscosity, it rapidly drops after  $n = 40$ .

6. During compression the damping effect of the liquid viscosity is characterized by the Reynolds number  $Re = \rho_{10}RU / (n+1)(n+2)\mu_l$  (where  $U = \sqrt{2p_a(R^{max})^3 / 3\rho_{10}R^3}$ ). This number ( $Re$ ) increases with  $n$  as  $n^2$  and decreases with  $R$  as  $R^{1/2}$ . When  $Re > Re_{cr} \approx 10$ , which takes place throughout the compression stage for  $n < 50$ , the effect of the liquid viscosity is insignificant. It rapidly increases with the decrease of  $Re$  from  $Re_{cr}$  to  $Re \approx 1$ , so that when  $Re < 1$  the amplitude of the disturbances during compression does just not grow, but it actually falls. As a result, for the supershort-wave disturbances, starting from  $n = 250$ , for which the value of  $Re$  remains less than unity until the bubble radius decreases to  $0.5 R^{max}$ , the distortion at the end of the bubble compression becomes not more but less than at its beginning.

7. Throughout the compression stage for the long-wave disturbances ( $n < 50$ ), for which the liquid viscosity effect is insignificant, the influence of the surface tension is much less than the influence of inertia of the radial flow. In this case,  $We > We_{cr} \approx 10$  and the sphericity distortion growth is determined by inertia forces. For short-wave disturbances ( $n > 50$ ) the influence of the surface tension and the inertia of the radial flow is negligible in comparison with the liquid viscosity effect. If the liquid viscosity effect is not taken into account, then for sufficiently large  $n$  ( $> 500$ ) the surface tension will be of primary importance in limiting the rate of growth of the distortion amplitude at the beginning of the bubble compression.

8. For the conditions associated with sonofusion experiments (Taleyarkhan et al. 2002, 2004; Nigmatulin et al. 2002, 2004; Nigmatulin 2005; Lahey et al. 2006) the amplitude of

disturbances of the shape of the spherical bubble at the end of the bubble compression,  $|\varepsilon_n^{col}|$ , cannot be greater than at its beginning  $|\varepsilon_n^{max}|$  by more than 300 times. Maximum value of the ratio  $|\varepsilon_n^{col} / \varepsilon_n^{max}|$  is reached at  $n \approx 40$  (at which  $Re \approx 17$  at the beginning of the bubble compression). The value of the ratio  $|\varepsilon_n^{col} / \varepsilon_n^{max}|$  falls to 200 with the decrease of  $n$  from 40 to 2 and rapidly drops to zero with the increase of  $n$  from 40.

9. We assume that in the experiments of (Taleyarkhan et al. 2002) the amplitude of the deviation of the bubble shape from spherical during the early stage of the bubble expansion (where  $R_n = 10 \mu m$ ), is equal to  $|a_n| = 10^{-2}R$  (which seems to be quite plausible). According to our analysis, it will then decrease to  $|a_n| \leq 10^{-4}R$  by the start of bubble compression ( $R = R^{max}$ ) due to the bubble expansion. After that, during bubble compression, it may grow, but only so that for any  $n$  at the end of compression it may exceed the initial amplitude ( $10^{-2}R$ ) by no more than 3%. This means that from the point of view of stability of a spherical shape, the possibility of thermonuclear neutron and tritium nuclei production seen in experiments (Taleyarkhan et al. 2002) is reasonable and within the range of possibility from a physics viewpoint. At the same time, it should be noted that this idea is to a large extent based on the assumption of a spherical shock wave generating inside the bubble and converging to its center in the final high-speed stage of its compression. Of course, in reality such a shock wave may not be purely spherical. In the course of its convergence the amplitude of its nonsphericity could increase, exerting some influence on the position and configuration of the region with highly compressed and heated matter (i.e., plasma) in the central part of the bubble, on the rate of compression and heating, etc. This is supported by the first DNS results by Aganin et al. (2010) obtained using a two-dimensional extension of the one-dimensional model of Nigmatulin et al. (2005) which was utilized here in describing the spherical part of the fluid flow. Therefore, to estimate the influence of nonsphericity of the shock wave inside the bubble, a special study of the dynamics of the medium inside a slightly nonspherical bubble during supercompression is recommended to consider for the future.

## References

1. Aganin A.A. Dynamics of a small bubble in a compressible fluid. *Int. J. Numer. Meth. Fluids*, 2000, vol. 33, pp. 157–174.
2. Aganin A.A., Ilgamov M.A. Oscillations of a spherical gas bubble in a fluid with shock wave formation. *Fluid Dynamics*, 1999a, vol. 34, pp. 879–884.
3. Aganin A.A., Ilgamov M.A. Chislennoe modelirovanie dinamiki gaza v puzyrke pri skhlopyvanii s obrazovaniem udarnykh voln [Numerical simulation of gas dynamics in a bubble during its collapse with the formation of shock waves]. *Prikladnaya mekhanika i tekhnicheskaya fizika – Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, 1999b, vol. 40, pp. 276–284. (In Russian).
4. Aganin A.A., Ilgamov M.A. Dinamika puzyrka gaza v tsentre sfericheskogo obema zhidkosti [Gas bubble dynamics in the center of spherical liquid volume]. *Matematicheskoe Modelirovanie – Mathematical Modeling*, 2001, vol. 13, no. 1, pp. 26–40. (In Russian).
5. Aganin A.A., Ilgamov M.A. Gas-bubble dynamics under excitation by compression and rarefaction pulses in a liquid. *Doklady Physics*, 2002, vol. 47, no. 2, pp. 29–33.
6. Aganin A.A., Ilgamov M.A., Toporkov D.Yu. Vliyanie vyazkosti zhidkosti na zatukhanie malykh iskazheniy sfericheskoy formy gazovogo puzyrka [Effect of fluid viscosity on the decay of small distortions of a gas bubble from a spherical shape]. *Prikladnaya mekhanika i tekhnicheskaya fizika – Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, 2006, vol. 47, no. 2, pp. 175–182. (In Russian).
7. Aganin A.A., Khalitova T.F., Khismatullina N.A. Metod chislennogo resheniya zadach silnogo szhatiya nesfericheskogo kavitatsionnogo puzyrka [A numerical method to solve problems of strong collapse of a nonspherical cavitation bubble]. *Vychislitelnye tekhnologii – Computational Technologies*, 2010, vol. 15, no. 1, pp. 14–33. (In Russian).
8. Aganin A.A., Khismatullina N.A. Liquid vorticity computation in non-spherical bubble dynamics. *Int. J. Numer. Meth. Fluids*, 2005, vol. 48, no. 2, pp. 115–133.
9. Aganin A.A., Nigmatulin R.I., Ilgamov M.A., Akhatov I.Sh. Dynamics of a gas bubble situated in the center of spherical liquid volume]. *Doklady Physics*, 1999, vol. 44, pp. 734–738.
10. Augsdorfer U.H., Evans A.K., Oxley D.P. Thermal noise and the stability of single sonoluminescing bubbles. *Phys. Review E*, 2000, vol. 61, pp. 5278–5286.
11. Birkhoff G. Note on Taylor instability. *Quart. Appl. Math.*, 1954, vol. 12, pp. 306–309.
12. Birkhoff, G. Stability of spherical bubbles. *Quart. Appl. Math.*, 1956, vol. 13, pp. 451–453.
13. Bugg W. Report of bubble fusion confirmation experiment. Report on Activities on June 2006. Visit. Purdue University. 2006.
14. Camara C., Putterman S., Kirilov E. Sonoluminescence from a single bubble driven at one megahertz. *Phys. Rev. Lett.*, 2004, vol. 92, pp. 124–301.
15. Didenko Y.T., Suslick K.S. The energy efficiency of formation of photons, radicals and ions during single-bubble cavitation. *Nature*, 2002, vol. 418, pp. 394–397.
16. Eller A.I., Crum L.A. Instability of the motion of a pulsating bubble in a sound field. *J. Acoust. Soc. Am. Suppl.*, 1970, vol. 47, pp. 762–767.
17. Forringer E.R., Robbins D., Martin J. Confirmation of neutron production during self-nucleated acoustic cavitation. *Trans. Amer. Nucl. Soc.*, 2006a, vol. 95, pp. 736–737.
18. Forringer E.R., Robbins D., Martin J. In: Proc. Amer. Nucl. Soc. Int. Conf. (Albuquerque, NM, November, 2006), 2006b.
19. Flynn H.G. Cavitation dynamics I. A mathematical formulation. *J. Acoust. Soc. Am. Suppl.*, 1975, vol. 57, pp. 1379–1396.
20. Godunov S.K., Zabrodin A.V., Ivanov M.Ya., Krayko A.N., Prokopov G.P. Chislennoe reshenie mnogomernykh zadach gazovoy dinamiki [Numerical solving of many-dimensional problems of gas dynamics]. Moscow, Nauka, 1976. 402 p. (In Russian).
21. Hairer E., Norsett S.P., Wanner G. Solving ordinary differential equations I. Nonstiff problems. Berlin, New York, Heidelberg, Springer-Verlag, 1987. 297 p.
22. Hao Y., Prosperetti A. The effect of viscosity on the spherical stability of oscillating gas bubbles. *Phys. Fluids*, 1999, vol. 11, pp. 1309–1317.
23. Hilgenfeldt S., Brenner M., Grossmann S., Lohse D. Analysis of Rayleigh-Plesset dynamics for sonoluminescing bubbles. *J. Fluid Mech.*, 1998, vol. 365, pp. 171–204.
24. Hilgenfeldt S., Lohse D., Brenner M. Phase diagrams for sonoluminescing bubbles. *Phys. Fluids*, 1996, vol. 8, pp. 2808–2826.
25. Ilgamov M.A. Qualitative analysis of the evolution of deviations from the spherical shape during the collapse of a cavity in a liquid. *Doklady Physics*, 2005, vol. 50, no. 9, pp. 444–447.
26. Ilgamov M.A. Kachestvennaya teoriya ustoychivosti sfericheskoy formy polosti pri szhatii v zhidkosti [Qualitative theory of stability of a spherical cavity under compression in a liquid]. Aktualnye problemy mekhaniki splushnoy sredy – Topical problems of continuum mechanics, Kazan, Kazan University Publ., 2006, pp. 8–35. (In Russian).
27. Ilgamov M.A. Expansion, compression and stability of a cavity in fluid under strong acoustic



forcing. Doklady Physics, 2010, vol. 55, no. 7, pp. 317–320.

28. Ilgamov M.A. Deviation from sphericity of a vapor cavity of the time of collapse. Doklady Physics, 2011, vol. 56, no. 9, pp. 455–458.

29. Ilgamov M.A. Strong expansion – contraction of a cavity in a fluid under acoustic action. J. Applied Mathematics and Mechanics, 2014, vol. 78, no. 3, pp. 298–304.

30. Ilkaev R.I., Garanin S.G. Issledovanie problem termoyadernogo sinteza na moshchnykh lazernykh ustanovkakh [Powerful Laser Facilities Probe into Thermonuclear Fusion Problems]. Vestnik Rossiyskoy Akademii nauk – Herald of the Russian Academy of Sciences, 2006, vol. 76, no. 6, pp. 503–513. (In Russian).

31. Keller J. B., Miksis. M. Bubble oscillations of large amplitude. J. Acoust. Soc. Am., 1980, vol. 68, pp. 628–633.

32. Kull H.J. Theory of the Rayleigh-Taylor instability. Phys. Rep., 1991, vol. 206, pp. 197–325.

33. Kwak H.-Y., Karng S.W., Lee Y.P. Rayleigh-Taylor instability on a sonoluminescing gas bubbles. J. Korean Phys. Soc., 2005, vol. 45, pp. 951–962.

34. Lebo I.G., Tishkin V.F. Issledovanie gidrodinamicheskoy neustoychivosti v zadachakh lazernogo termoyadernogo sinteza metodami matematicheskogo modelirovaniya [Investigation of hydrodynamic instability in the problems of laser fusion by methods of mathematical modeling]. Moscow, Fizmatlit, 2006. 304 p. (In Russian).

35. Lahey R.T. (Jr), Taleyarkhan R.P., Nigmatulin R.I., Akhatov I.Sh. Sonoluminescence and the search for sonofusion. Advances in Heat Transfer, 2006, vol. 39, pp. 1–168.

36. Lamb H. Hydrodynamics. 6th edition. London, Cambridge University Press, 1932; New York, Dover Publications, 1945.

37. Lin H., Storey B.D., Szeri A.J. Inertially driven inhomogeneities in violently collapsing bubbles: The validity of the Rayleigh-Plesset equation. J. Fluid Mech., 2002a, vol. 452, pp. 145–162.

38. Lin H., Storey B.D., Szeri A.J. Rayleigh-Taylor instability in violently collapsing bubbles. Phys. Fluids, 2002b, vol. 14, pp. 2925–2928.

39. Moss W.C., Clarke D.B., White J.W., Young D.A. Hydrodynamic simulations of bubble collapse and picosecond sonoluminescence. Phys. Fluids, 1994, vol. 6, pp. 2979–2985.

40. Moss W.C., Clarke D.B., Young D.A. Calculated pulse widths and spectra of a single sonoluminescing bubble. Science, 1997, vol. 276, pp. 1398–1401.

41. Nagrath S., Jansen K., Lahey R.T. (Jr). Computation of incompressible bubble dynamics with a stabilized finite element level set method. Comput.

Methods Appl. Mech. Engineering, 2005, vol. 194, pp. 4565–4587.

42. Nigmatulin R.I. Dynamics of Multiphase Media. Vol. 1, 2. New York, Hemisphere, 1990.

43. Nigmatulin R.I., Akhatov I.Sh., Vakhitova N.K., Bolotnova R.Kh., Topolnikov A.S., Nasibullaeva E.Sh., Kalyakina O.L., Zakirov K.R. Mathematical modeling of a single bubble and multi bubble dynamics in a liquid. Mezhdunarodnaya konferentsiya po mnogofaznym sistemam [Int. Conf. on Multiphase Systems]. Ufa, 2000. pp. 294–301.

44. Nigmatulin R.I., Taleyarkhan R.P., Lahey R.T. (Jr). Termoyadernyy sintez na osnove deyeriya pri akusticheskoy kavitatsii [The evidence of thermonuclear fusion D+D during acoustic cavitation]. Vestnik ANRB – Herald of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, 2002, vol. 7, no. 4, pp. 3–25. (In Russian).

45. Nigmatulin R.I., Taleyarkhan, R.P., Lahey R.T. (Jr). The evidence for nuclear emissions during acoustic cavitation revisited. J. Power Energy, 2004, vol. 218-A, pp. 345–364.

46. Nigmatulin R.I. Nano-scale thermonuclear fusion in imploding vapor bubbles. Nuclear Engineering and Design, 2005, vol. 235, pp. 1079–1091.

47. Nigmatulin R.I., Akhatov I.Sh., Topolnikov A.S., Bolotnova R.Kh., Vakhitova N.K., Lahey R.T. (Jr), Taleyarkhan R. P. The theory of supercompression of vapor bubbles and nano-scale thermonuclear fusion. Phys. Fluids, vol. 17, 107106, pp. 1–31.

48. Nigmatulin R. I., Akhatov I.Sh., Vakhitova N.K. The effect of fluid compressibility on the dynamics of a gas bubble. Doklady Physics, 1996, vol. 41, pp. 276–279.

49. Nigmatulin R.I., Aganin A.A., Ilgamov M.A., Toporkov D.Yu. Distortion of the spherical shape of a vapor cavity in deuterated acetone. Doklady Physics, 2006, vol. 51, pp. 334–338.

50. Plesset M.S. On the stability of fluid flows with spherical symmetry. J. Appl. Phys., 1954, vol. 25, pp. 96–98.

51. Plesset M.S., Mitchell T.P. On the stability of the spherical shape of a vapor cavity in a liquid. Quart. Appl. Math., 1956, vol. 13, pp. 419–430.

52. Plesset M., Prosperetti A. Bubble dynamics and cavitation. Ann. Rev. Fluid Mech., 1977, vol. 9, pp. 145–185.

53. Prosperetti A. Viscous effects on perturbed spherical flows. Quart. Appl. Math., 1977, vol. 34, pp. 339–352.

54. Prosperetti A., Crum L.A., Commander K.W. Nonlinear bubble dynamics. J. Acoust. Soc. Am., 1986, vol. 83, pp. 502–514.

55. Putterman S.J., Weninger K.P. Sonoluminescence: how bubbles turn sound into light. Ann. Rev. Fluid Mech., 2000, vol. 32, pp. 445–476.

56. Taleyarkhan R.P., Lapinskas J., Xu Y., Cho J.S., Block R.C., Lahey R.T. (Jr), Nigmatulin R.I. Modeling, analysis and prediction of neutron emission spectra from acoustic cavitation bubble fusion experiments. Nuclear Engineering and Design, 2008, vol. 238, no. 10, pp. 2779–2791.

57. Taleyarkhan R.P., West C.D., Cho J.S., Lahey R.T. (Jr), Nigmatulin R.I., Block R.C. Evidence for nuclear emissions during acoustic cavitation. Science, 2002, vol. 295, pp. 1868–1873.

58. Taleyarkhan R.P., West C.D., Cho J.S., Lahey R.T. (Jr), Nigmatulin R.I., Block R.C. Additional evidence of nuclear emissions during acoustic cavitation. Phys. Rev. E, 2004, vol. 69, 036109.

59. Taleyarkhan R.P., West C.D., Lahey R.T. (Jr), Nigmatulin R.I., Block R.C., Xu Y. Nuclear emissions during self-nucleated acoustic cavitation. Phys. Rev. Lett., 2006, vol. 96, 034301.

60. Vazquez G., Camara C., Putterman S., Weninger K. Sonoluminescence: Nature's smallest

blackbody. Optics Letters, 2001, vol. 26, pp. 575–577.

61. Wu C.C., Roberts P.H. Shock wave propagation in a sonoluminescing gas bubble. Phys. Rev. Lett., 1993, vol. 70, pp. 3424–3427.

62. Wu C.C., Roberts P.H. A model of sonoluminescence. Proc. R. Soc. Lond. A, 1994, vol. 445, pp. 323–349.

63. Wu C.C., Roberts P.H. Bubble shape instability and sonoluminescence. Phys. Lett. A, 1998 vol. 250, pp. 131–136.

64. Xu Y., Butt A. Confirmatory experiments for nuclear emissions during acoustic cavitation. Festschrift Edition Celebrating the 65th Birthday of Prof. Richard T. Lahey, Jr. 20–24 September 2004. R.P. Taleyarkan, P. Di' Marco, G. Lohnert, eds. 2005, vol. 235, pp. 1317–1324.

65. Yuan L., Ho C.Y., Chu M.-C., Leung P.T. Role of gas density in the stability of single-bubble sonoluminescence. Phys. Review E, 2001, vol. 64, 016317.

## ЭВОЛЮЦИЯ ИСКАЖЕНИЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ КАВИТАЦИОННОГО ПУЗЫРЬКА ПРИ АКУСТИЧЕСКОМ СВЕРХСЖАТИИ

© А.А. Аганин<sup>1</sup>, М.А. Ильгамов<sup>2</sup>, Р.Т. Лэхи мл.<sup>3</sup>,  
Р.И. Нигматулин<sup>4</sup>, Р.П. Талейархан<sup>5</sup>, Д.Ю. Топорков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт механики и машиностроения Казанского научного центра РАН, Россия, 420111, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Лобачевского, 2/31.

<sup>2</sup>Институт механики им. Р.Р. Мавлютова Уфимского научного центра РАН, Россия, 450054, Республика Башкортостан, г. Уфа, пр. Октября, 71.

<sup>3</sup>Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY 12180, USA.

<sup>4</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Россия, 117997, Москва, Нахимовский проспект, 36.

<sup>5</sup>Purdue University, West Lafayette, Indiana, IN 47907, USA.

Рассмотрена эволюция малых отклонений от сферической формы кавитационного пузырька в ходе его многократного расширения-сжатия в условиях экспериментов по ядерному излучению при акустической кавитации. В используемой математической модели поверхность пузырька представляется в виде суммы сферических гармоник (полиномов Лежандра степени  $n = 0, 2, 3, 4, \dots$ ), одна из которых ( $n = 0$ ) соответствует сферической форме, а другие ( $n \geq 2$ ) – осесимметричным отклонениям от нее в виде соответствующей гармоники. Движение пара в пузырьке и окружающей жидкости определяется как суперпозиция сферической составляющей и ее несферического возмущения. При описании сферической составляющей движения учитываются нестационарная теплопроводность пара и жидкости, неравновесность испарения-конденсации на межфазной поверхности. Учитывается, что в ходе медленного расширения и начала сжатия пузырька пар в его полости ведет себя как идеальный с давлением, близким к однородному. При этом принимается во внимание, что вязкость жидкости весьма существенна, а ее сжимаемостью можно пренебречь. На стадии быстрого сжатия в пузырьке могут возникать ударные волны, становится существенной сжимаемость жидкости. Все это учитывается в используемой модели. На стадии быстрого сжатия применяются реалистичные широкодиапазонные уравнения состояния для пара в пузырьке и окружающей жидкости. При описании несферической составляющей движения учитывается влияние вязкости жидкости, поверхностного натяжения, плотности пара в пузырьке и неоднородности его давления. Получены оценки максимально возможных значений относительной амплитуды (отнесенной к начальной) малых гармонических (в виде полиномов Лежандра степени  $n = 2, 3, \dots$  с длиной волны  $\lambda_n = 2\pi R/n$ , где  $R$  – радиус пузырька) искажений сферической формы пузырька в момент коллапса (момент экстремального сжатия содержимого пузырька). При этом рассматривается возможность возникновения начальных искажений сферичности пузырька в произвольный момент стадии расширения. Полученные оценки показывают, во сколько раз максимально может увеличиться амплитуда малых начальных искажений сферичности пузырька к моменту коллапса. Приведен ряд простых аналитических формул, описывающих величину радиуса пузырька в момент максимального расширения, его изменение на стадии сжатия, эволюцию искажения сферичности пузырька при сжатии.

Ключевые слова: динамика пузырька, устойчивость сферической формы, кавитационный пузырек, акустическая кавитация, коллапс пузырька.

УДК 534

## ВЫПУЧИВАНИЕ КОЛЕБЛЮЩЕГОСЯ СТЕРЖНЯ ПРИ ПРОДОЛЬНОМ УДАРЕ

© М.А. Ильгамов

Рассматривается динамика тонкого стержня при действии сжимающей силы. Эта сила возрастает скачком и далее остается постоянной. Изучено движение стержня в зависимости от величины и момента времени приложения силы, который определяется фазой начальных свободных колебаний стержня. Показана существенная зависимость динамики стержня от начальных условий.

Ключевые слова: тонкий стержень, изгибные колебания, сжимающая сила, фаза, выпучивание.

**1. Введение.** Выпучивание стержня при быстром приложении сжимающей нагрузки рассматривалось во многих работах. Возможно, наиболее ранняя из них – это работа [1]. В ней принимается, что нагрузка возрастает ступенчато и остается постоянной в течение некоторого времени, после чего также ступенчато обращается в нуль. До приложения нагрузки стержень имеет начальный прогиб и свободен от напряжений. Основное внимание было уделено случаю динамической силы, по величине, близкой к статическому критическому значению сжимающей силы, когда существенную роль играет только первая собственная форма. Было изучено влияние величины и длительности сжимающей нагрузки на динамическое выпучивание стержня, а также его поперечные колебания после снятия нагрузки. Одним из основных допущений является внезапное установление сжимающей силы по всей длине стержня. Дано сравнение результатов в динамике и статике. В последующей работе [2] дается более ограниченная постановка задачи. Полученные результаты не внесли нового в исследование процесса динамического выпучивания стержня, содержащееся в [1].

Эксперименты с подводными взрывами показали, что трубка в воде теряет устойчивость с образованием тем большего количества волн по окружности, чем больше динамическое давление на нее по сравнению со

значением статического критического давления [3]. Эксперимент по продольному динамическому сжатию стержня также указывает на зависимость числа полуволн изгиба от отношения сжимающей силы  $P$  к статической критической силе  $P_E$ . Исходя из этих данных в [3] была построена теория динамического выпучивания стержня при ступенчатой сжимающей силе, которая далее остается постоянной (по-видимому, авторам [3] не были известны исследования [1, 2]). При этом были приняты следующие допущения: стержень является тонким, сжатие охватывает стержень по всей длине мгновенно, гармоники начального прогиба по амплитуде имеют одинаковый порядок. В работе [3] теоретически и экспериментально раскрыта основная особенность динамического выпучивания – зависимость волнообразования от отношения  $P/P_E$ .

В этих работах задача рассматривалась в линейной постановке. В том случае, когда задается не сила, а перемещение конца стержня, задача становится нелинейной, даже если прогибы сравнительно малы и деформации остаются в пределах упругости. Такое положение реализуется при сжатии стержня на испытательной машине [4]. Обзор соответствующих исследований приведен в [5]. Здесь мы рассматриваем лишь случай задания силы сжатия и выпучивания стержней.

В последующих работах в этом направлении в различных приближениях изучалось

поведение тонких стержней, в частности, осуществляется учет сдвига и инерции вращения поперечного сечения, распространения продольной волны по стержню [6, 7]. В [8] изучено влияние на процесс массы и скорости удара тела на торец стержня. Показаны сложная динамика стержня, трансформация формы выпучивания, особенно в начале процесса. В [8] приведен также частичный обзор исследований. Дан анализ параметрического резонанса при учете продольных волн, больших перемещений стержня [9]. В [10, 11] рассматривается зависимость решения от разных начальных условий, а также производится ранжирование начального прогиба по гармоникам, что обеспечивает перестройку гармоник в ходе выпучивания.

**2. Постановка задачи.** Здесь дается анализ картины выпучивания стержня, совершающего свободные изгибные колебания, при действии ступенчатой сжимающей силы, что, насколько известно, не рассматривалось. Чтобы четче выделить особенности поведения стержня, задача ставится в приближении [1 – 3]. Стержень считается тонким, время возрастания сжимающей силы и продольного обжатия его намного меньше, чем время заметного возрастания прогиба. Так как наибольший период продольных колебаний равен  $2L/c$ , а поперечных колебаний  $(2\sqrt{12}/\pi)(L^2/hc)$ , где  $h$  и  $L$  – толщина и длина полосы прямоугольного сечения,  $c$  – скорость волны, то их отношение имеет порядок  $h/L$ . Поэтому для тонких тел можно приближенно принять, что сила  $P$  устанавливается мгновенно по всей длине стержня.

Линейное уравнение динамического изгиба имеет вид

$$D \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + P \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \rho F \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0. \quad (1)$$

Здесь  $\rho$ ,  $F$ ,  $D$  – плотность, площадь поперечного сечения, жесткость на изгиб стержня,  $x$ ,  $t$  – координата вдоль стержня и время. Сжимающая сила  $P$  прикладывается в момент  $t = 0$  и далее остается постоянной. Принима-

ются условия свободного опирания концов стержня  $w = \partial^2 w / \partial x^2 = 0$  ( $x = 0, L$ ). Тогда решение (1) при  $P = 0$  имеет вид

$$w = W_{0n} \sin(\omega_n t + \varphi) \sin n\beta x,$$

$$\omega_n^2 = n^4 \beta^4 D / (\rho F), \quad \beta = \pi/L,$$

где  $\omega_n$  ( $n = 1, 2, \dots$ ) – собственные частоты изгибных колебаний,  $\varphi$  – фаза, которая меняется в пределах  $0 \leq \varphi \leq \pi$ . Поэтому начальными условиями для задачи удара силой  $P$  являются

$$\begin{aligned} w &= W_{0n} \sin \varphi \sin n\beta x, & (t = 0) \\ \partial w / \partial t &= W_{0n} \omega_n \cos \varphi \sin n\beta x \end{aligned} \quad (2)$$

Принимая решение задачи (1), (2) в виде

$w = W_n \sin n\beta x$ , для амплитуд  $W_n$  имеем

$$\begin{aligned} W_n &= W_{0n} \left( \sin \varphi \cos \mu_n \tau + \frac{n^2}{\mu_n} \cos \varphi \sin \mu_n \tau \right) \quad (\eta < n), \\ W_n &= W_{0n} (\sin \varphi + \tau n^2 \cos \varphi) \quad (\eta = n), \\ W_n &= W_{0n} \left( \sin \varphi \cosh \mu_n \tau + \frac{n^2}{\mu_n} \cos \varphi \sinh \mu_n \tau \right) \quad (\eta > n), \end{aligned} \quad (3)$$

где приняты обозначения

$$P_E = D\beta^2, \quad \tau^2 = t^2 P_E \beta^2 / (\rho F), \quad \eta^2 = P/P_E,$$

$$\mu_n^2 = n^2 (\eta^2 - n^2),$$

причем в первом выражении (3)  $\mu_n^2 = n^2 (n^2 - \eta^2)$ .

**3. Изгибные колебания стержня.** Если отношение действующей динамической силы  $P$  к статической критической силе  $P_E$  меньше числа полуволн  $n$  ( $\eta < n$ ), заданного начальными условиями (2), то происходят колебания стержня с частотами, равными  $\sqrt{1 - (\eta/n)^2} \omega_n$ . Наибольшее отличие их от частот  $\omega_n$  начальных колебаний имеет место при  $n = 1$  и большом отношении  $P/P_E < 1$ . На рис. 1 дается зависимость колебаний от параметров  $\eta$  и  $\varphi$  по первому выражению (3). Принято  $\eta^2 = 0.84$ ,  $n = 1$  и  $\varphi = 0; \pi/4, \pi/2, 3\pi/4$ . Цифрами 1, 2, 3, 4 обозначены кривые, соответствующие этим значениям  $\varphi$ . При  $\varphi = \pi$  процесс совпадает с тем, что при фазе  $\varphi = 0$  (с противоположным

знаком). Частота колебаний равна  $0.4\omega_1$ , а амплитуды значительно отличаются от амплитуды свободных колебаний до удара, когда  $W_n/W_{01}=1$ . Наибольшая амплитуда колебаний имеет место при фазе  $\varphi=0$ , т.е. когда удар происходит в момент прямолинейной формы стержня и наибольшей скорости его поперечного движения.

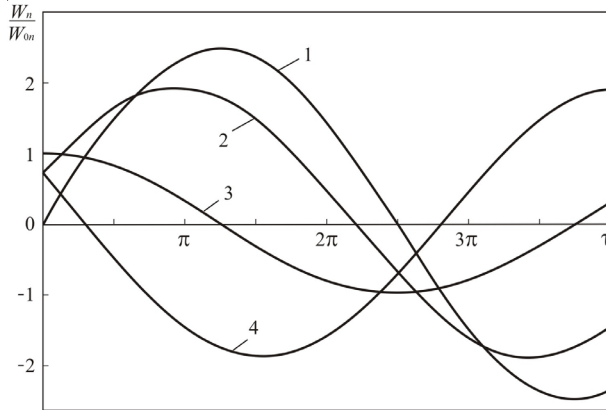


Рис. 1

Колебания прогибов при  $\varphi=\pi/4$  и  $\varphi=3\pi/4$  с одинаковыми прогибами в начале удара (но при этом с равными, но противоположными скоростями), происходят почти в противофазе (кривые 2 и 4). При  $\varphi=3\pi/4$  стержень сразу прогибается в противоположную сторону под действием инерционной силы.

При  $\eta=n$  частота колебаний обращается в нуль. Как видно из второго выражения (3), тогда в линейной постановке задачи прогиб возрастает неограниченно по линейному закону. Интенсивность этого возрастания тем больше, чем больше число полувольт начальных изгибных колебаний стержня. При фазе  $\pi/2$  возрастания не происходят, реализуется статический прогиб стержня, который в средней его точке равен  $W_1=W_{01}$ .

#### 4. Выпучивание стержня при $\varphi=0$ .

Более подробно рассмотрим случай экспоненциального возрастания прогиба ( $\eta > n$ ), описываемый третьим решением (3). При  $\varphi=0$ , что соответствует случаю удара силой  $P$  по прямому стержню, имеющему амплитуду скорости  $W_{0n}\omega_n$  свободных колебаний, движение средней точки описывается выражением

$$W_n = W_{0n} \frac{n^2}{\mu_n} \sinh \mu_n \tau. \quad (4)$$

Гармоника с числом  $n$ , при которой происходит наиболее быстрое возрастание прогибов, определяется из условия  $\partial W_n / \partial n = 0$  или

$$\eta^2 \tanh \mu_n \tau = (2n^2 - \eta^2) \mu_n \tau. \quad (5)$$

При  $\mu_n \tau < 1$ , принимая разложение функции  $\tanh \mu_n \tau = \mu_n \tau - (\mu_n \tau)^3/3$ , получаем из (5)

$$n_l = \eta. \quad (6)$$

Это равенство противоречит условию, при котором справедливо третье решение (3), поэтому округление значения  $\eta = \sqrt{P/P_E}$  до целого числа необходимо делать в меньшую сторону. Если, например,  $\eta^2=26$ , то  $n=5$ .

При  $\mu_n \tau > 3$ , полагая в (5)  $\tanh \mu_n \tau \approx 1$ , находим

$$n_l^2 = \frac{\eta^2}{2} \left( 1 + \frac{1}{n\tau} (\eta^2 - n^2)^{-\frac{1}{2}} \right).$$

Второе слагаемое в больших скобках представляет собой поправочный член. Принимая в первом приближении  $n_l^2 = \eta^2/2$  и подставляя это значение  $n_l$  во второй член, получаем

$$n_l \approx \sqrt{\frac{\eta^2}{2} \left( 1 + \frac{1}{\eta^2 \tau} \right)}. \quad (7)$$

В (7) необходимо делать округление до ближайшего целого числа. Наиболее быстро возрастают по времени гармоники с целыми числами, находящимися ниже и выше значения (7). В примере с  $\eta^2=26$  в соответствии с (6) и (7) в начальный период после приложения сжимающей нагрузки быстрее растет гармоника с  $n=5$ , а затем пара гармоник с числами  $n=4$  и  $n=3$ . Таким образом, в процессе динамического выпучивания может происходить перестройка гармоник. Эти особенности выпучивания видны на рис. 2, построенном по (4).

#### 5. Выпучивание стержня при $\varphi=\pi/2$ .

При фазе  $\varphi=\pi/2$ , соответствующей случаю продольного удара по стержню в момент его максимального отклонения от прямой линии при свободных колебаниях, из третьего вы-

ражения (3) амплитуда выпучивания равна  $W_{0n} \cosh \mu_n \tau$ .

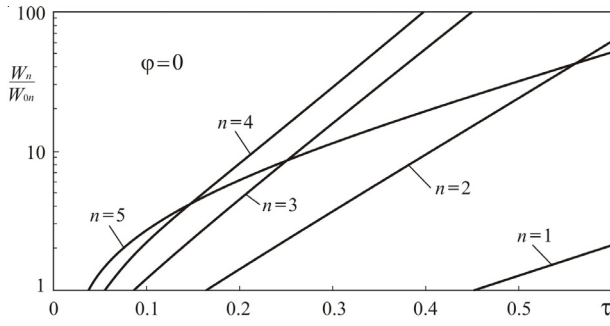


Рис. 2

Представляет интерес сравнение этого значения прогиба со значением для случая удара силой по предварительно ненапряженному стержню с той же амплитудой  $W_{0n}$ . Последнее решение известно [1, 2, 8]

$$W_n = \frac{W_{0n} \eta^2}{\eta^2 - n^2} (\cosh \mu_n \tau - 1).$$

Для значений  $\mu_n \tau > 3$  отношение прогибов предварительно ненапряженного стержня с амплитудой  $W_{0n}$  и стержня, совершающего свободные колебания с той же амплитудой  $W_{0n}$  (следовательно, имеющего ненулевые напряжения в момент удара), приближенно равно  $\eta^2 (\eta^2 - n^2)^{-1}$ . Если  $\eta^2 = 26$ , то для  $n = 1, 2$  оно мало превышает единицу, но для  $n = 3, 4, 5$  равно соответственно 1.5, 2.6, 26. Столь большая разница в результатах при одних и тех же значениях  $P$  и  $W_{0n}$  (следовательно, изгибающего момента от силы  $P$ ) объясняется тормозящим влиянием напряжений изгиба и отрицательного ускорения в момент  $\tau = 0$ . Ввиду этого происходит замедление выпучивания предварительно колеблющегося стержня, особенно в начале процесса. Кроме того, при  $\varphi = \pi/2$  наиболее интенсивное выпучивание происходит с числом полуволн

$$n_l = \eta / \sqrt{2}, \quad (8)$$

нет зависимости от времени и, следовательно, перестройки гармоник. Эти эффекты подобны тем, которые установлены в [3] и последующих работах, хотя в них не ставится задача, рассматриваемая здесь. Указанные особенности видны из рис. 3, построенного

по (3) при  $\varphi = \pi/2$ . Для  $\eta^2 = 26$  ближайшее к значению  $n_l = 3.6$  гармоники  $n = 4$  и  $n = 3$ , которые возрастают наиболее быстро.

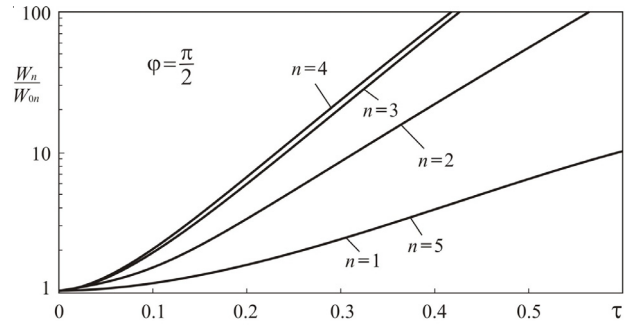


Рис. 3

Отношение прогибов при  $\varphi = 0$  и  $\varphi = \pi/2$  равно

$$n (\eta^2 - n^2)^{-\frac{1}{2}} \operatorname{th} \mu_n \tau.$$

В начале процесса это отношение имеет порядок  $n^2 \tau$ , что объясняется наличием ненулевой начальной скорости при  $\varphi = 0$ . Для  $\mu_n \tau > 3$  оба сравниваемых процесса развиваются одинаково по времени ( $\operatorname{th} \mu_n \tau \rightarrow 1$ ), но с постоянной разницей.

Интенсивность выпучивания сильно зависит от значения  $\eta^2$  и номера гармоники.

При  $\eta^2 = 26$  множитель  $n (\eta^2 - n^2)^{-\frac{1}{2}}$  изменяется от 0.2 для  $n = 1$  до 5 для  $n = 5$ . Таким образом, когда продольный удар происходит в момент прохождения стержнем среднего прямолинейного положения, наибольший уровень прогибов реализуется с большим числом полуолн, а наименьший – с малым числом  $n$  (при условии одинаковости  $W_{0n}$  по  $n$ ).

**6. Выпучивание стержня при  $\varphi = \pi/2$  и  $\varphi = 3\pi/4$ .** На рис. 4 показано сравнение зависимостей прогибов от времени для случаев фаз  $\varphi = \pi/4$  и  $\varphi = 3\pi/4$ . Числа полуолн  $n = 3$  и  $n = 4$  взяты ввиду того, что при этом имеются максимальные прогибы (для  $\eta^2 = 26$ ).

При  $\varphi = \pi/4$  сжимающий удар происходит в момент движения стержня от его прямого положения, а при  $\varphi = 3\pi/4$  – движения в направлении к прямому положению. Этим обстоятельством объясняется разница между двумя рассматриваемыми случаями.

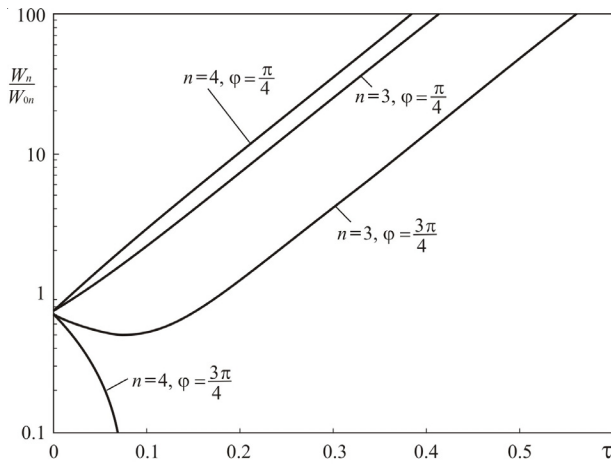


Рис. 4

Первый из них близок к случаям  $\varphi = 0$  и  $\varphi = \pi/2$ . Характер зависимости  $W_n/W_{0n}$  от безразмерного времени  $\tau$  при  $\varphi = 3\pi/4$  другой. В начале движения после удара прогиб по гармонике  $n = 3$  уменьшается и только после  $\tau \approx 0.1$  начинает возрастать, а по  $n = 4$  происходит быстрое уменьшение и затем изменение знака прогиба. Такой характер движения обусловлен превышением сил инерции над тормозящими упругими силами и изгибающим моментом от силы удара. Это соотношение сил проявляется по-разному для разных гармоник. Для определения этих различий приведен рис. 5 с равномерной шкалой ( $\eta^2 = 26$ ). Как видно, выпучивание по гармоникам  $n = 1, 2, 3$  происходит в ту же сторону, что начальный прогиб при  $\tau = 0$ , а по  $n = 4$  и  $5$  – в противоположную сторону. До  $\tau \approx 0.35$  преобладает гармоника  $n = 5$ , затем  $n = 4$ .

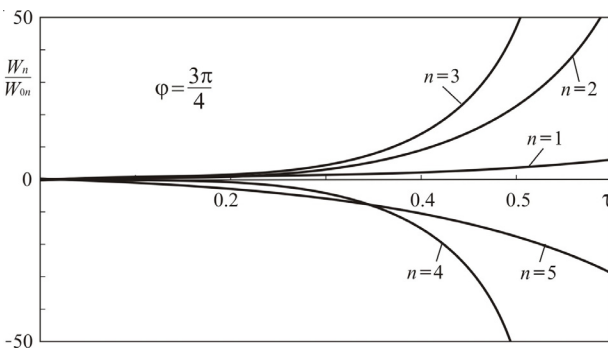


Рис. 5

**7. Характерные значения фазы.** Для того чтобы определить те значения фазы  $\pi/2 < \varphi < \pi$ , когда отдельные гармоники меня-

ют знак, из условия  $W_n = 0$  в (3) получаем соотношение

$$\tan \varphi = -\frac{n^2}{\mu_n} \tanh \mu_n \tau$$

Критическое значение фазы обозначим через  $\varphi_c$ . Если  $\varphi > \varphi_c$  где

$$\varphi_c = \frac{\pi}{2} + \arctan \left( \frac{\mu_n}{n^2} \cotanh \mu_n \tau \right), \quad (9)$$

то происходит переход в другую сторону от положения при  $\tau = 0$ . Результат по (9) и данные из рис. 5 находятся в согласии.

Представляет интерес также то значение фазы  $\varphi$  начальных колебаний, когда выпучивание при ударе происходит наиболее быстро. Приравняв нулю производную от последнего выражения (3) по  $\varphi$ , находим

$$\tan \varphi = \frac{\mu_n}{n^2} \cotanh \mu_n \tau \quad (10)$$

Видно, что в начале выпучивания это значение фазы зависит и от времени, а далее (когда  $\cotanh \mu_n \tau \rightarrow 1$ ) – только от  $\eta^2$  и числа образующихся волн. Если  $\eta^2 = 26$ , то при  $\mu_n \tau > 3$  и  $n = 1, 2, 3, 4, 5$  из (10) получаем соответственно  $\varphi \approx 79^\circ, 66^\circ, 54^\circ, 39^\circ, 11^\circ$ .

Следовательно, наиболее быстрое выпучивание при  $\mu_n \tau > 3$  происходит не в случае, когда начало действия силы  $P$  совпадает с моментом нахождения колеблющегося стержня в прямом положении ( $\varphi = 0$ ), и не в его крайнем положении ( $\varphi = \pi/2$ ), а в некотором промежуточном положении. Причем это положение разное для разных гармоник.

Таким образом, процесс выпучивания колеблющегося стержня вследствие действия ступенчатой по времени продольной сжимающей силы существенно зависит от характера начальных условий относительно прогиба и его скорости. Последние определяются моментом времени (или фазой), когда происходит продольный удар по колеблющемуся стержню. Функция прогиба после удара состоит из суммы разных гармоник, зависящих от свойств материала стержня, его размеров, прикладываемых нагрузок, распределения по гармоникам начальных отклонений.

## Литература

1. Koning C., Taub J. Stossartige Knickbeanspruchung schlanker Stäbe im elastischen Bereich bei beidderseits gelänkiger Lagerung // Luftfahrtforschung. 1933. Bd. 10 (2). S. 17.
2. Meier J.H. On the dynamics of elastic buckling // Journal of the Aeronautical Sciences. 1945. Vol. 12, No 4. P. 433.
3. Лаврентьев М. А., Ишлинский А. Ю. Динамические формы потери устойчивости упругих систем // ДАН СССР. 1949. Т. LXIV, № 6. С. 779–782.
4. Hoff N.J. The dynamics of the buckling of elastic columns // Journal of Applied Mechanics. 1951. Vol. 18, No 1. P. 68.
5. Hoff N.J. Buckling and stability // Journal of the Royal Aeronautical Society. 1954. Vol. 58, No 1. P. 3–52.
6. Huffington N. Response of elastic columns to axial pulse loading // AIAA J. 1963. Vol. 1, No 9. P. 2099–2104.
7. Lindberg H.E. Impact buckling of a thin bar // Journal of Applied Mechanics. 1965. Vol. 32, No 2. P. 315–322.
8. Вольмир А.С. Устойчивость деформируемых систем. М.: Наука, 1967. 984 с.
9. Морозов Н.Ф., Товстик П.Е. Поперечные колебания стержня, вызванные кратковременным продольным ударом // ДАН. 2013. Т. 452, № 1. С. 37–41.
10. Ильгамов М. А. Перестройка гармоник при динамической потере устойчивости в механических системах // ДАН. 2010. Т. 432, № 5. С. 624–628.
11. Ильгамов М. А. Зависимость динамического выпучивания стержня от начальных условий // ДАН. 2014. Т. 457, № 6. С. 656–659.

## References

1. Koning C., Taub J. Stossartige Knickbeanspruchung schlanker Stäbe im elastischen

Bereich bei beidderseits gelänkiger Lagerung. Luftfahrtforschung, 1933, Bd. 10 (2), S. 17.

2. Meier J.H. On the dynamics of elastic buckling. Journal of the Aeronautical Sciences, 1945, vol. 12, no. 4, pp. 433.

3. Lavrentyev M.A., Ishlinskiy A.Yu. Dinamicheskie formy poteri ustoychivosti uprugikh sistem [Dynamic forms of loss of stability of elastic systems]. Doklady AN SSSR – Transactions of the Academy of Sciences of the USSR, 1949, vol. 64, no. 6, pp. 779–782. (In Russian).

4. Hoff N.J. The dynamics of the buckling of elastic columns. Journal of Applied Mechanics, 1951, vol. 18, no. 1, pp. 68.

6. Hoff N.J. Buckling and stability. Journal of the Royal Aeronautical Society, 1954, vol. 58, no. 1, pp. 3–52.

6. Huffington N. Response of elastic columns to axial pulse loading. AIAA J, 1963, vol. 1, no. 9, pp. 2099–2104.

7. Lindberg H.E. Impact buckling of a thin bar. Journal of Applied Mechanics, 1965, vol. 32, no. 2, pp. 315–322.

8. Volmir A.S. Ustoychivost deformiruemykh sistem [Stability of deformed systems]. Moscow, Nauka, 1967. 984 p. (In Russian).

9. Morozov N.F., Tovstik P.E. Poperechnye kolebaniya sterzhnya, vyzvannye kratkovremennym prodolnym udarom [Transverse rod vibrations under a short-term longitudinal impact]. Doklady Physics, 2013, vol. 452, no. 1, pp. 37–41. (In Russian).

10. Ilgamov M.A. Perestroyka garmonik pri dinamicheskoy potere ustoychivosti v mekhanicheskikh sistemakh [Reconstruction of harmonics during the dynamic loss of stability in mechanical systems]. Doklady Physics, 2010, vol. 432, no. 5, pp. 624–628. (In Russian).

11. Ilgamov M.A. Zavisimost dinamicheskogo vypuchivaniya sterzhnya ot nachalnykh usloviy [Dependence of dynamic buckling of a rod on the initial conditions]. Doklady Physics, 2014, vol. 457, no. 6, pp. 656–659. (In Russian).

---

## AXIAL IMPACT BUCKLING IN A VIBRATING THIN ROD

© М.А. Ilgamov

Mavlyutov Institute of Mechanics, Ufa Scientific Centre, RAS,  
71, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia

Consideration is given to the dynamics of a thin rod under the effect of compression force. This force increases jumpwise and then remains constant. The motion of the rod has been studied depending on the magnitude and time of force application determined by the initial free vibration phase of the rod. An essential dependence is shown to exist between the dynamics of the rod and the initial conditions.

Key words: thin rod, flexural vibrations, compression force, phase, buckling.



**БАЛАНС ЭНДОГЕННЫХ И ЭКЗОГЕННЫХ ГОРМОНОВ И ПУТИ  
МОРФОГЕНЕЗА В АНДРОКЛИННЫХ КАЛЛУСАХ ПШЕНИЦЫ *IN VITRO***

© О.А. Сельдиминова, Н.Н. Круглова

Практическая значимость биотехнологических методов культуры *in vitro*, в том числе регенерация растений в каллусах, определяется образованием на конечном этапе полноценных фертильных растений-регенерантов. Решение этой задачи связано с выявлением путей морфогенеза *in vitro* каллусов и возможностью регуляции этих путей в нужном биотехнологу направлении в контролируемых экспериментальных условиях *in vitro*. Исследование посвящено разработке способа регуляции путей морфогенеза каллусов, полученных в культуре *in vitro* изолированных пыльников ряда генотипов яровой мягкой пшеницы. Проанализировано содержание ИУК в каллусах изучаемых генотипов яровой мягкой пшеницы перед инокуляцией на питательную среду. Выявлены и изучены пути морфогенеза *in vitro* каллусов: эмбриоидогенез, гемморизогенез, геммогенез, ризогенез и гистогенез. Установлено, что индукция определенного пути морфогенеза *in vitro* определяется главным образом балансом между содержанием эндогенного (в каллусах перед инокуляцией на питательную среду) и концентрацией экзогенного (в составе питательной среды) ауксина ИУК. Показана принципиальная возможность регуляции путей морфогенеза *in vitro* каллусов путем подбора для каждого генотипа адекватного для индукции конкретного пути баланса эндогенного и экзогенного ауксинов.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., культура пыльников *in vitro*, каллус, пути морфогенеза, ИУК.

Современные биотехнологии кардинально меняют процесс генетико-селекционной работы по выведению новых высокопродуктивных сортов основного хлебного злака России – яровой мягкой пшеницы, устойчивых к неблагоприятным факторам конкретного региона (для Южного Урала это – засухоустойчивость, скороспелость, короткостебельность, устойчивость к болезням). Для решения прикладных задач коммерческой селекции хозяйственно ценных злаков, в том числе яровой мягкой пшеницы, разрабатываются и используются различные биотехнологические методы культуры *in vitro* и, в частности, регенерация растений в каллусах, полученных в культуре *in vitro* изолированных пыльников на основе биологического феномена андроклиной гаплоидии [1–8].

Практическую значимость биотехнологических методов культуры *in vitro*, в том числе

на основе андроклиной гаплоидии, определяет образование на конечном этапе полноценных фертильных растений-регенерантов. Основная проблема, связанная с разработкой эффективной биотехнологии массового стабильного получения фертильных андроклиных растений-регенерантов в каллусной культуре, состоит в их низком выходе. Решение этой проблемы напрямую связано с выявлением путей морфогенеза *in vitro* каллусов и возможностью регуляции этих путей в нужном биотехнологу направлении в контролируемых экспериментальных условиях *in vitro*.

Пшеница, как и все злаки, относится к группе гормонозависимых объектов культивирования *in vitro* [2]. Подбор оптимальной концентрации определенных гормонов, вводимых в состав питательной среды – один из ключевых этапов в работе с культурой *in vitro* [9]. Однако такой подбор, как правило, носит

СЕЛЬДИМИРОВА Оксана Александровна – к.б.н., Институт биологии Уфимского научного центра РАН, e-mail: seldimirova@anrb.ru

КРУГЛОВА Наталья Николаевна – д.б.н., Институт биологии Уфимского научного центра РАН, e-mail: Kruglova@anrb.ru

достаточно случайный характер: исследователь проводит перебор довольно широкого диапазона концентраций различных гормонов и их сочетаний друг с другом. В результате подбор оптимальной концентрации гормонов оказывается достаточно трудоемким и дорогостоящим процессом. Необходим поиск надежного подхода к прогнозированию этого параметра на основе определенных физиологических показателей инокулированных *in vitro* эксплантов.

Фитогормоны играют роль основных регуляторов морфогенеза как в естественных условиях, так и в условиях культуры *in vitro*. Учитывая большое значение баланса эндогенных фитогормонов в определении тотипотентности [10–12], естественно предположить, что компетентность клеток каллуса к регенерации растений в значительной степени обусловлена количеством в нем эндогенных фитогормонов.

В литературе вопрос о соотношении эндогенных фитогормонов (в составе экспланта) и экзогенных фитогормонов (в составе питательной среды) в регуляции путей морфогенеза *in vitro* поставлен достаточно давно [13–18], однако изучен недостаточно. Основные причины этого – сложность и трудоемкость традиционных методов определения содержания эндогенных фитогормонов в растениях. Избежать этих трудностей способствует применение метода твердофазного иммуноферментного анализа (ИФА) растительных образцов, разработанного в Институте биологии Уфимского научного центра РАН проф. Г.Р. Кудояровой с соавт. [19].

Хорошо установлено, что обязательными участниками координации процессов морфогенеза являются ауксины, в частности индолил-3-уксусная кислота (ИУК), оказывающая влияние на деление, растяжение и дифференциацию клеток, т.е. процессов, которые лежат в основе морфогенеза [12]. Экспериментально хорошо обоснован тот факт, что генотип донорного растения – один из основных факторов, детерминирующих переключение программы развития микроспоры с гаметофитной *in vivo* на спорофитную *in vitro*, в том числе через этап формирования андро-

клинного морфогенного каллуса (такого рода данные на примере яровой мягкой пшеницы обобщены в монографиях [2, 8]). Однако исследователи зачастую ограничиваются лишь констатацией этого факта, сообщая о генотипических вариациях отзывчивости экспланта на условия культивирования *in vitro*.

В связи с этим цель исследования состояла в экспериментальной разработке способа регуляции путей морфогенеза в культуре *in vitro* андроклинных каллусов ряда генотипов яровой мягкой пшеницы на основании выявления баланса концентраций эндогенной (в составе каллуса) и экзогенной (в составе питательной среды) ИУК. Следует отметить, что впервые этот методический подход разработан на примере инокулированных пыльников пшеницы и доказан В.Ю. Горбуновой [13, 20].

#### **Материал и методы исследования.**

Материалом для исследования послужили сорта яровой мягкой пшеницы (Скала, Жница, Московская 35, Башкирская 26, Салават Юлаев и Экада 70) и гибридные линии (Л42938 × Салават Юлаев, Дуэт × Башкирская 26, Э43018 × Тулайковская золотистая, Л42809 × Л42866, Л42875 × Экада 70, Башкирская 26 × Экада 70, Л42875 × 76/98а, Воронежская 16 × Л42833, Боевчанка × Башкирская 26), используемые в селекционно-генетических программах Башкирского НИИ сельского хозяйства РАСХН (г. Уфа) как перспективные для климатической зоны Южного Урала. Семена переданы авторам согласно договору о сотрудничестве между Институтом биологии Уфимского научного центра РАН и Башкирским НИИ сельского хозяйства РАСХН на 2011–2015 гг. Донорные растения выращивали в полевых условиях научного стационара Института биологии Уфимского НЦ РАН (Уфимский район).

Согласно фенотипическим критериям отбирали донорные растения, находящиеся на VII этапе органогенеза (по периодизации Ф.М. Куперман [21]), первые (нижние) цветки которых в средней трети колоса содержали пыльники с микроспорами в сильновакуолизированной фазе (по разработанной нами пе-

Содержание эндогенного ауксина ИУК в андроклинных морфогенных каллусах исследованных сортов и гибридных линий яровой мягкой пшеницы

Сорт/линия	Содержание эндогенной ИУК, нг/г сухой массы
Скала	424.6 ± 54.2
Жница	72.4 ± 13.5
Московская 35	87.9 ± 9.3
Башкирская 26	301.2 ± 7.6
Салават Юлаев	84.5 ± 10.3
Экада 70	395.8 ± 19.2
Л42938 × Салават Юлаев	105.7 ± 8.5
Дуэт × Башкирская 26	79.6 ± 6.9
Э43018 × Тулайковская золотистая	286.6 ± 12.7
Л42809 × Л42866	354.8 ± 11.6
Л42875 × Экада 70	58.3 ± 7.9
Башкирская 26 × Экада 70	88.2 ± 8.5
Л42875 × 76/98а	130.4 ± 11.3
Боевчанка × Башкирская 26	75.8 ± 9.6

Примечание. Все показатели значимы на 5%-м уровне.

риодизации [22]). Ранее было показано, что именно такие микроспоры, находящиеся в критической фазе развития, морфогенетически компетентны к индукции андроклинии [2, 20, 23].

Пыльники культивировали согласно методу культуры *in vitro* пыльников яровой мягкой пшеницы, основанному на применении данных эмбриологии растений [24]. Получали каллусы, способные к дальнейшему морфогенезу *in vitro* и регенерации растений. Такие каллусы, названные морфогенными, переносили на питательную среду, составленную по прописи Блейдза [25], гормональный компонент которой был представлен ИУК в различных концентрациях. До переноса на питательную среду часть каллусов исследовали методом твердофазного иммуоферментного анализа для выявления содержания эндогенной ИУК (в нг/г сухой массы) согласно [26].

Все эксперименты проводили в трех повторностях. Статистическую обработку полученных результатов вели с применением программы Microsoft Office Excel 2010.

**Результаты и обсуждение.** Морфогенные каллусы появлялись на поверхности пыльников, культивируемых *in vitro* на индукционной питательной среде, на 26–28-е сутки от момента инокуляции пыльников.

Часть морфогенных каллусов исследовали методом твердофазного иммуоферментного анализа. Полученные данные, отраженные в таблице, свидетельствуют о значительных различиях изученных сортов и гибридных линий яровой мягкой пшеницы по содержанию эндогенного ауксина ИУК в каллусах. Так, генотипы Скала, Башкирская 26, Экада 70, Э43018 × Тулайковская золотистая, Л42809 × Л42866 характеризуются как высокоауксиновые, генотипы Жница, Московская 35, Салават Юлаев, Дуэт × Башкирская 26, Л42875 × Экада 70, Башкирская 26 × Экада 70, Л42875 × 76/98а, Боевчанка × Башкирская 26 – как низкоауксиновые.

Оставшиеся каллусы переносили на питательную среду, подготовленную по прописи Блейдза [25], гормональный компонент которой был представлен ИУК. Использовали несколько вариантов концентрации экзогенной ИУК в составе среды: 0.1, 0.25, 0.5, 1.5 и 2.0 мг/л. В ходе культивирования на питательной среде в андроклинных морфогенных каллусах исследованных сортов и гибридных линий яровой мягкой пшеницы было выявлено несколько путей морфогенеза *in vitro* (рис.).

Эмбриодогенез *in vitro* состоял в формировании и развитии зародышеподобных струк-

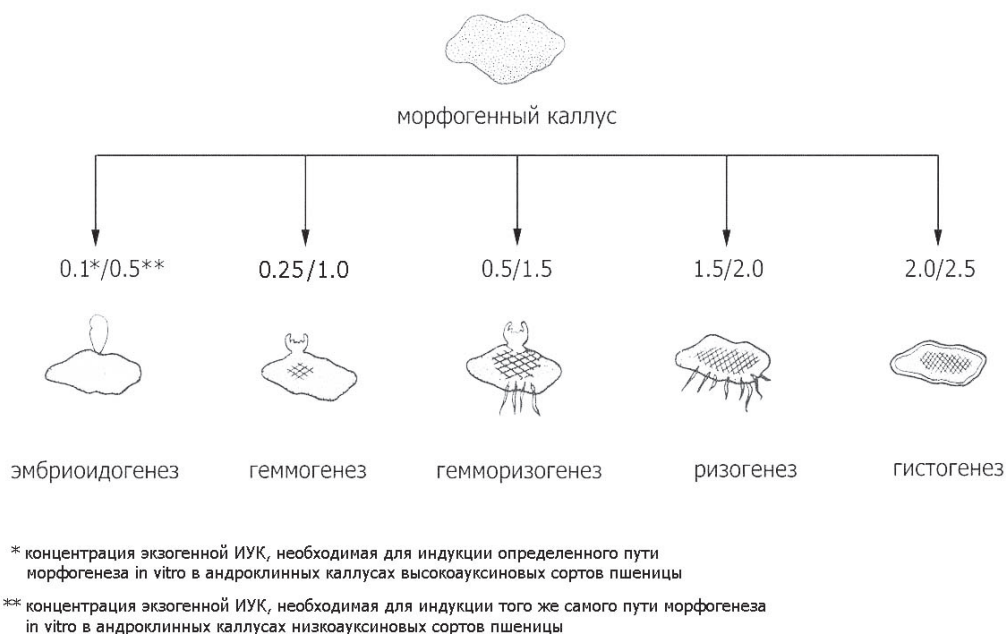


Рис. Схема путей морфогенеза *in vitro* в андроклинных морфогенных каллусах высоко- и низкоауксиновых генотипов пшеницы

тур – эмбриоидов. Эмбриоидогенез в каллусах высокоауксиновых генотипов пшеницы индуцируется при концентрации экзогенной ИУК в 0.1 мг/л, а в каллусах низкоауксиновых генотипов пшеницы – при концентрации экзогенной ИУК в 0.5 мг/л. Геммогенез *in vitro* состоял в формировании почек. Геммогенез в каллусах высокоауксиновых генотипов пшеницы индуцируется при концентрации экзогенной ИУК в 0.25 мг/л, а в каллусах низкоауксиновых генотипов пшеницы – при концентрации экзогенной ИУК в 1.0 мг/л. Ризогенез *in vitro* состоял в формировании корней. Ризогенез в каллусах высокоауксиновых генотипов пшеницы индуцируется при концентрации экзогенной ИУК в 1.5 мг/л, а в каллусах низкоауксиновых генотипов пшеницы – при концентрации экзогенной ИУК в 2.0 мг/л. Гемморизогенез *in vitro* состоял в одновременном формировании почек и корней. Гемморизогенез в каллусах высокоауксиновых генотипов пшеницы индуцируется при концентрации экзогенной ИУК в 0.5 мг/л, а в каллусах низкоауксиновых генотипов пшеницы – при концентрации экзогенной ИУК в 1.5 мг/л. Гистогенез *in vitro* состоял в формировании в массе каллуса элементов проводящей ткани. Гистогенез в каллусах высокоауксиновых генотипов пшени-

цы индуцируется при концентрации экзогенной ИУК в 2.0 мг/л, а в каллусах низкоауксиновых генотипов пшеницы – при концентрации экзогенной ИУК в 2.5 мг/л.

Полученные нами экспериментальные данные свидетельствуют о том, что концентрация экзогенного ауксина ИУК, необходимая для индукции того или иного пути морфогенеза *in vitro* андроклинных каллусов, была различна у изученных сортов/гибридных линий пшеницы. Установлено, что для индукции одного и того же пути морфогенеза в андроклинных каллусах пшеницы высокоауксиновых генотипов требуется более низкая, чем в андроклинных каллусах пшеницы низкоауксиновых генотипов, концентрация экзогенного ауксина ИУК. Такие особенности гормональной индукции путей морфогенеза *in vitro* мы объясняем различным содержанием эндогенной ИУК в андроклинных каллусах во время их инокуляции.

Исследования взаимосвязи эндогенных и экзогенных гормонов в индукции и регуляции путей морфогенеза растений *in vitro* привлекают внимание исследователей, при этом используются различные методические приемы (например, [27, 28]). В то же время именно предварительный анализ эксплантов методом

ИФА позволяет, на наш взгляд, как избежать многих методических трудностей, так и ускорить получение экспериментальных данных.

Таким образом, анализ полученных данных свидетельствует о принципиальной возможности регуляции путей морфогенеза *in vitro* андроклинических каллусов пшеницы путем подбора для каждого генотипа, адекватного для индукции необходимого пути баланса между содержанием эндогенной ИУК в каллусе и концентрацией экзогенной ИУК в составе питательной среды. Такой подход позволяет оптимизировать процесс массового тиражирования андроклинических гаплоидов на основе использования морфогенных каллусов.

*Работа выполнена при частичной поддержке гранта Президента Российской Федерации по программе «Ведущие научные школы России» (2014–2015 гг., № НШ-5282.2014.4, лидер – чл.-корр. РАН Т.Б. Батыгина).*

#### Литература

1. Круглова Н.Н. Инновационная биотехнология андроклинической гаплоидии яровой мягкой пшеницы: эмбриологический подход // *Аграрная Россия*. 2009. № 1. С. 34–38.
2. От микроспоры – к сорту / Т.Б. Батыгина, Н.Н. Круглова, В.Ю. Горбунова, Г.Е. Титова, О.А. Сельдимирова. М.: Наука, 2010. 177 с.
3. Jauhar P.P., Xu S.S., Baenziger P.S. Haploidy in cultivated wheats: induction and utility in basic and applied research // *Crop Sci*. 2009. Vol. 49, № 3. P. 737–755.
4. Lantos C., Weyen J., Orsini J.M., Gnad H., Schlieter B., Lein V., Kontowski S., Jacobi A., Mih Aly R., Broughton S., Pauk J. Efficient application of *in vitro* anther culture for different European winter wheat (*Triticum aestivum* L.) breeding programmes // *Plant Breed*. 2013. Vol. 132, № 2. P. 149–154.
5. Weyen J. Barley and wheat doubled haploids in breeding // *Advances in haploid production in higher plants* / Eds. A. Touraev., B.P. Forster, S.M. Jain. Springer Netherlands. 2009. P. 179–187.
6. Dunwell J.M. Haploids in flowering plants: origins and exploitation // *Plant Biotechnol. J*. 2010. Vol. 8, № 4. P. 377–424.
7. Germana M.A. Anther culture for haploid and doubled haploid production // *Plant Cell, Tiss. Org. Cult*. 2011. Vol. 104, № 3. P. 283–300.
8. Эмбриологические основы андроклинии пшеницы / Н.Н. Круглова, Т.Б. Батыгина, В.Ю. Горбунова, Г.Е. Титова, О.А. Сельдимирова. М.: Наука, 2005. 99 с.
9. Круглова Н.Н., Горбунова В.Ю., Куксо П.А. Морфогенез в культуре изолированных пыльников: роль фитогормонов // *Успехи соврем. биологии*. 1999. Т. 119, № 6. С. 567–577.
10. Бутенко Р.Г. Биология клеток высших растений *in vitro* и биотехнологии на их основе. М.: ФБК-ПРЕСС, 1999. 160 с.
11. Медведев С.С. Физиология растений. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2004. 335 с.
12. Медведев С.С., Шарова Е.И. Биология развития растений. В 2-х т. Т. 1. Начала биологии развития растений. Фитогормоны: учебник. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2011. 253 с.
13. Горбунова В.Ю., Круглова Н.Н., Абрамов С.Н. Индукция андрогенеза *in vitro* у яровой мягкой пшеницы. Баланс эндогенных и экзогенных фитогормонов // *Известия РАН. Серия биологическая*. 2001. № 1. С. 31–36.
14. Хмара К.А. Динамика содержания фитогормонов в каллусной ткани при индукции органо-генеза *in vitro* зародышей *Picea abies* Karst. // *Труды Карельского НЦ РАН*. 2011. № 3. С. 131–136.
15. Besse I., Verdeil J.L., Duval Y., Sotta B., Maldiney R., Miginiac E. Oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) clonal fidelity: endogenous cytokinins and indoleacetic acid in embryogenic callus cultures // *J. Exp. Bot*. 1992. Vol. 43, № 252. P. 983–989.
16. Ivanova A., Velcheva M., Denchev P., Atanassov A., Henri A., Van Onckelen H.A. Endogenous hormone levels during direct somatic embryogenesis in *Medicago falcate* // *Physiol. Plant*. 1994. Vol. 92, № 1. P. 85–89.
17. Michalczuk L., Cooke T.J., Cohen J.D. Auxin levels at different stages of carrot somatic embryogenesis // *Phytochemistry*. 1992. Vol. 31, № 4. P. 1097–1103.
18. Huang W.-L., Lee Ch.-H., Chen Y.-R. Levels of endogenous abscisic acid and indole-3-acetic acid influence shoot organogenesis in callus cultures of rice subjected to osmotic stress // *Plant. Cell, Tiss., Org. Cult*. 2012. Vol. 108, № 2. P. 257–263.
19. Иммуноанализ регуляторов роста в решении проблем физиологии растений, растениеводства и биотехнологии / под ред. Г.Р. Кудояровой. Уфа: АН РБ, 2000. 223 с.
20. Горбунова В.Ю. Андрогенез *in vitro* у яровой мягкой пшеницы: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. СПб., 2000. 48 с.
21. Куперман Ф.М. Морфофизиология растений. М.: Изд-во Московского ун-та, 1977. 256 с.
22. Круглова Н.Н. Периодизация развития пыльника злаков как методологический аспект изучения андрогенеза *in vitro* // *Известия РАН. Серия биологическая*. 1999. № 3. С. 275–281.

23. Круглова Н.Н. Микроспора злаков как модельная система для изучения путей морфогенеза: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. СПб., 2002. 48 с.

24. Круглова Н.Н., Батыгина Т.Б. Методические рекомендации по использованию морфогенетического потенциала пыльника в биотехнологических исследованиях яровой мягкой пшеницы. Уфа: ИБ УНЦ РАН, 2002. 22 с.

25. Blaydes D.F. Interaction of kinetin and various inhibitors in the growth of soybean // *Physiol. Plant.* 1966. Vol. 19, № 13. P. 748–753.

26. Кудоярова Г.Р., Веселов С.Ю., Еркеев М.И. Иммуноферментное определение содержания индолуксусной кислоты в семенах кукурузы с использованием меченых антител // *Физиология растений.* 1986. Т. 33, № 6. С. 1221–1227.

27. Tyburski J., Tretyn A. Ascorbate and Glutathione in Organogenesis, Regeneration and Differentiation in Plant *In vitro* Cultures // *Ascorbate-Glutathione Pathway and Stress Tolerance in Plants / Eds N.A. Anjum, Sh. Umar, M.-T. Chan. Springer Science & Business Media, 2010. P. 55–90.*

28. Kakani A., Li G., Peng Zh. Role of AUX1 in the control of organ identity during *in vitro* organogenesis and in mediating tissue auxin and cytokinin interaction in *Arabidopsis* // *Planta.* 2009. Vol. 229, № 3. P. 645–657.

### References

1. Kruglova N.N. Innovatsionnaya biotekhnologiya androklinoynoy gaploidii yarovoy myagkoy pshenitsy: embriologicheskiiy podkhod [Innovative biotechnology in soft spring wheat androclonic haploidy: Embryological approach]. *Agrarnaya Rossiya – Agrarian Russia*, 2009, no. 1, pp. 34–38. (In Russian).

2. Batygina T.B., Kruglova N.N., Gorbunova V.Yu., Titova G.E., Seldimirova O.A. Ot mikrospory – k sortu [From microspore to cultivar]. Moscow, Nauka, 2010. 177 p. (In Russian).

3. Jauhar P.P., Xu S.S., Baenziger P.S. Haploidy in cultivated wheats: Induction and utility in basic and applied research. *Crop Sci.*, 2009, vol. 49, no. 3, pp. 737–755.

4. Lantos C., Weyen J., Orsini J.M., Gnad H., Schlieter B., Lein V., Kontowski S., Jacobi A., Mih Aly R., Broughton S., Pauk J. Efficient application of *in vitro* anther culture for different European winter wheat (*Triticum aestivum* L.) breeding programmes. *Plant Breeding*, 2013, vol. 132, no. 2, pp. 149–154.

5. Weyen J. Barley and wheat doubled haploids in breeding. *Advances in haploid production in higher plants.* A. Touraev., B.P. Forster, S.M. Jain, eds. Springer Netherlands, 2009, pp. 179–187.

6. Dunwell J.M. Haploids in flowering plants: Origins and exploitation. *Plant Biotechnology Journal*, 2010, vol. 8, no. 4, pp. 377–424.

7. Germana M.A. Anther culture for haploid and doubled haploid production. *Plant Cell, Tiss. Org. Cult.*, 2011, vol. 104, no. 3, pp. 283–300.

8. Kruglova N.N., Batygina T.B., Gorbunova V.Yu., Titova G.E., Seldimirova O.A. Embriologicheskoye osnovy androklinoynoy pshenitsy [Embryological basis of androclonic wheat]. Moscow, Nauka, 2005. 99 p. (In Russian).

9. Kruglova N.N., Gorbunova V.Yu., Kukso P.A. Morfogenez v kulture izolirovannykh pylnikov: rol fitogormonov [Morphogenesis in isolated anther culture: The role of phytohormones]. *Uspekhi sovremennoy biologii – Advances in Modern Biology*, 1999, vol. 119, no. 6, pp. 567–577. (In Russian).

10. Butenko R.G. Biologiya kletok vysshykh rasteniy *in vitro* i biotekhnologii na ikh osnove [Biology of *in vitro* cells of higher plants and biotechnologies on their basis]. Moscow, FBK-Press, 1999. 160 p. (In Russian).

11. Medvedev S.S. Fiziologiya rasteniy [Plant physiology]. St. Petersburg, St. Petersburg University Publ., 2004. 335 p. (In Russian).

12. Medvedev S.S., Sharova E.I. Biologiya razvitiya rasteniy [Plant development biology]. In two volumes. Vol. 1. Nachala biologii razvitiya rasteniy. Fitogormony [Fundamentals of plant development biology. Phytohormones]. Manual. St. Petersburg, St. Petersburg University Publ., 2011. 253 p. (In Russian).

13. Gorbunova V.Yu., Kruglova N.N., Abramov S.N. Induktsiya androgeneza *in vitro* u yarovoy myagkoy pshenitsy. Balans endogennykh i ekzogennykh fitogormonov [The induction of *in vitro* androgenesis in spring soft wheat. Balance of endogenous and exogenous phytohormones]. *Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya – Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Biology Series*, 2001, no. 1, pp. 31–36. (In Russian).

14. Khmara K.A. Dinamika sodержaniya fitogormonov v kallusnoy tkani pri induktsii organogeneza *in vitro* zarodyshey *Picea abies* (L.) Karst. [Dynamics of phytohormones in callus tissue during the induction of *in vitro* organogenesis in embryos of *Picea abies* (L.) Karst.]. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN – Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*, 2011, no. 3, pp. 131–136. (In Russian).

15. Besse I., Verdeil J.L., Duval Y., Sotta B., Maldiney R., Miginiac E. Oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) clonal fidelity: Endogenous cytokinins and indoleacetic acid in embryogenic callus cultures. *J. Exp. Bot.* 1992, vol. 43, no. 252, pp. 983–989.

16. Ivanova A., Velcheva M., Denchev P., Atanassov A., Henri A., Van Onckelen H.A. Endogenous hormone levels during direct somatic embryogenesis in *Medicago falcata*. *Physiol. Plant.*, 1994, vol. 92, no. 1, pp. 85–89.

17. Michalczuk L., Cooke T.J., Cohen J.D. Auxin levels at different stages of carrot somatic embryogenesis. *Phytochemistry*, 1992, vol. 31, no. 4, pp. 1097–1103.

18. Huang W.-L., Lee Ch.-H., Chen Y.-R. Levels of endogenous abscisic acid and indole-3-acetic acid influence shoot organogenesis in callus cultures of rice subjected to osmotic stress. *Plant Cell, Tiss. Organ Cult.*, 2012, vol. 108, no. 2, pp. 257–263.

19. Kudoyarova G.R., ed. *Immunoanaliz regulyatorov rosta v reshenii problem fiziologii rasteniy, rastenievodstva i biotekhnologii* [Immunoanalysis of growth regulators in solving the problems of plant physiology, plant breeding and biotechnology]. Ufa, AN RB, 2000. 223 p. (In Russian).

20. Gorbunova V.Yu. *Androgenez in vitro u yarovoy myagkoy pshentsy* [Androgenesis *in vitro* in soft spring wheat]. Dr. sci. thesis in Biology. St. Petersburg, 2000. 48 p. (In Russian).

21. Kuperman F.M. *Morfofiziologiya rasteniy* [Plant morphophysiology]. Moscow, Moscow University Publ., 1977. 256 p. (In Russian).

22. Kruglova N.N. *Periodizatsiya razvitiya pylnika zlakov kak metodologicheskiy aspekt izucheniya androgeneza in vitro* [Periodization of cereal anther development as a methodological aspect of *in vitro* androgenesis]. *Izvestiya RAN, Seriya biologicheskaya – Bulletin of the Russian Academy of Sciences, Series Biology*, 1999, no. 3, pp. 275–281. (In Russian).

23. Kruglova N.N. *Mikrospora zlakov kak modelnaya sistema dlya izucheniya putey morfogeneza* [Cereal microspore as a model system to study

morphogenesis pathways]. Dr. sci. in Biology. St. Petersburg, 2002, 48 p. (In Russian).

24. Kruglova N.N., Batygina T.B. *Metodicheskie rekomendatsii po ispolzovaniyu morphogeneticheskogo potentsiala pylnika v biotekhnologicheskikh issledovaniyakh yarovoy myagkoy pshentsy* [Methodological recommendations for applying anther morphogenetic potential in biotechnological research of soft spring wheat]. Ufa, IB UNTs RAN, 2002. 22 p. (In Russian).

25. Blaydes D.F. Interaction of kinetin and various inhibitors in the growth of soybean. *Physiol. Plant.*, 1966, vol. 19, no. 13, pp. 748–753.

26. Kudoyarova G.R., Veselov S.Yu., Erkeev M.I. *Immunofermentnoe opredelenie sodержaniya indoliluksusnoy kisloty v semenakh kukuruzy s ispolzovaniem mechenykh antitel* [Immunoenzymatic determination of indolyl acetic acid content in maize seeds using labelled antibodies]. *Fiziologiya rasteniy – Plant Physiology*, 1986, vol. 33, no. 6, pp. 1221–1227. (In Russian).

27. Tyburski J., Tretyn A. Ascorbate and glutathione in organogenesis, regeneration and differentiation in plant *in vitro* cultures. Ascorbate-glutathione pathway and stress tolerance in plants. N.A. Anjum, Sh. Umar, M.-T. Chan, eds. *Springer Science & Business Media*, 2010, pp. 55–90.

28. Kakani A., Li G., Peng Zh. Role of AUX1 in the control of organ identity during *in vitro* organogenesis and in mediating tissue auxin and cytokinin interaction in *Arabidopsis*. *Planta*, 2009, vol. 229, no. 3, pp. 645–657.

---

## BALANCE OF ENDOGENOUS AND EXOGENOUS HORMONES AND *IN VITRO* MORPHOGENESIS PATHWAYS IN WHEAT ANDROCLYNIC CALLI

© O.A. Seldimirova, N.N. Kruglova

Institute of Biology, Ufa Scientific Centre, RAS,  
69, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia

The practical significance of biotechnological methods of *in vitro* culture, including the regeneration of plants in calli, is dictated by the formation of fertile regenerants. The solution to this problem involves identifying *in vitro* morphogenesis pathways in calli and the possibility to regulate these pathways in the desired biotechnological direction under controlled *in vitro* experimental conditions. Our research is devoted to developing a method for the regulation of morphogenesis pathways in calli obtained from *in vitro* isolated anther culture of several spring wheat genotypes. Analysis of the IAA content in calli of the spring wheat genotypes under study was conducted before their inoculation onto the culture medium. The *in vitro* morphogenesis pathways in calli were identified and explored, including embryoidogenesis, gemmorhizogenesis, gemmogenesis, rhizogenesis and histogenesis. It has been established that induction of a certain *in vitro* morphogenesis pathway is primarily determined by the balance between the content of endogenous auxin IAA (in calli before inoculation onto the culture medium) and the concentration of exogenous auxin IAA (in the culture medium). The possibility in principle is shown to regulate *in vitro* morphogenesis pathways in calli by selecting adequate balance between endogenous and exogenous auxins for each genotype.

Key words: *Triticum aestivum* L., anther culture *in vitro*, callus, morphogenesis pathways, IAA.

УДК 579.832; 579.841.1

**НОВЫЕ ШТАММЫ ФОСФАТМОБИЛИЗУЮЩИХ БАКТЕРИЙ,  
ПРОДУЦИРУЮЩИХ АУКСИН, ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ДЛЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ БИОТЕХНОЛОГИИ****© Л.Ю. Кузьмина, Л.Б. Высоцкая, Н.Ф. Галимзянова,  
Е.А. Гильванова, А.С. Рябова, А.И. Мелентьев**

Фосфор является одним из важнейших биогенных элементов, определяющих развитие растений. Однако в почве фосфор находится в основном в виде недоступных для растений неорганических и органических соединений. В увеличении доступности фосфора ведущая роль принадлежит почвенным микроорганизмам. Использование бактерий, способных переводить фосфор в усвояемую растениями форму, считается одним из перспективных и экологически приемлемых путей увеличения эффективности мобилизации фосфора почвы. Известно, что многие микроорганизмы способны стимулировать развитие растений и за счет продукции фитогормонов. Отбор бактерий, перспективных для разработки на их основе ростостимулирующих биопрепаратов, должен базироваться на оценке как ключевого параметра – способности мобилизовать соединения фосфора, так и возможности активизировать развитие растений за счет других механизмов, включая продукцию фитогормонов. Целью работы был поиск бактерий, способных мобилизовать фосфор из неорганических и органических соединений и одновременно синтезировать различные фитогормоны.

Проведен скрининг бактерий, способных растворять неорганические и органические соединения фосфора (ортофосфат кальция и фитин) и продуцировать ауксины. Изучены 6 штаммов рода *Pseudomonas*, выделенных из грунта пещеры Киндерлинская и 2 штамма *Paenibacillus* из коллекции Института биологии. Показано, что изученные псевдомонады активнее растворяли фосфаты, чем спорообразующие бактерии. Все изученные бактерии синтезировали ауксины при культивировании в жидких средах. Изучена динамика синтеза ауксина штаммом *Pseudomonas* sp. ИВ-К 13-1А, максимальная продукция гормона наблюдалась через 72 часа. Наиболее активным продуцентом ауксина среди спорообразующих культур был штамм *P. illinoisensis* ИВ-1087. Штаммы *Pseudomonas* sp. ИВ-К 13-1А и *P. illinoisensis* ИВ-1087 могут быть использованы для улучшения обеспечения растений фосфором и стимуляции их роста.

Ключевые слова: *Pseudomonas*, *Paenibacillus*, мобилизация фосфатов, фитогормоны.

КУЗЬМИНА Людмила Юрьевна – к.б.н., Институт биологии Уфимского научного центра РАН,  
e-mail: ljkuz@anrb.ru

ВЫСОЦКАЯ Лидия Борисовна – д.б.н., Институт биологии Уфимского научного центра РАН,  
e-mail: vysotskaya@anrb.ru

ГАЛИМЗЯНОВА Наиля Фауатовна – к.б.н., Институт биологии Уфимского научного центра РАН,  
e-mail: galnailya@yandex.ru

ГИЛЬВАНОВА Елена Альбертовна – к.б.н., Институт биологии Уфимского научного центра РАН,  
e-mail: gelena@anrb.ru

РЯБОВА Алена Сергеевна, Институт биологии Уфимского научного центра РАН,  
e-mail: alenarya@rambler.ru

МЕЛЕНТЬЕВ Александр Иванович – д.б.н., Институт биологии Уфимского научного центра РАН,  
e-mail: mlnt@anrb.ru



Очень важным элементом биосферы, определяющим рост и урожайность растений, является фосфор. Его недостаток серьезно нарушает развитие растений. В почвах фосфор в основном представлен в виде органических соединений (фитин, глицерофосфат, остатки нуклеиновых кислот и др. соединений) и в виде труднорастворимых неорганических фосфатов, которые недоступны для усвоения растениями. В увеличении доступности соединений фосфора ведущая роль принадлежит почвенным микроорганизмам [1]. Использование бактерий, способных переводить фосфор в доступную для растений форму, считается одним из перспективных и экологически приемлемых путей повышения эффективности мобилизации фосфора почвы. Мобилизовать фосфор из неорганических и органических соединений способны многие микроорганизмы. Это происходит за счет выделения ими в среду кислых метаболитов [2] или продукции щелочных фосфатаз [3, 4].

Механизмы влияния почвенных бактерий на растения не ограничиваются лишь превращением элементов минерального питания в доступную для растений форму. Многие микроорганизмы способны синтезировать соединения, которые являются растительными гормонами [5]. В результате воздействия фитогормонов микробного происхождения на растения может изменяться поток корневых экссудатов, в составе которых присутствуют органические кислоты, что также способствует повышению растворимости фосфатов [6]. Для разработки подходов оптимизации поглощения фосфора растениями представляются полезными данные о стимуляции роста растений ауксинпродуцирующими бактериями [7]. Исходя из изложенного, отбор бактерий, перспективных для разработки на их основе ростостимулирующих биопрепаратов, должен базироваться на оценке как ключевого параметра – способности мобилизовать соединения фосфора, так и возможности активизировать развитие растений за счет других механизмов, включая продукцию фитогормонов.

Целью работы был поиск бактерий, способных мобилизовать фосфор из неорганиче-

ских и органических соединений и одновременно синтезировать различные фитогормоны.

#### **Объекты и методы исследований.**

Объектами исследований служили изоляты грамотрицательных бактерий, выделенных из грунтов пещеры Киндерлинская и грамположительных спорообразующих бактерий, выделенных из почв, находящихся в сельскохозяйственном обороте из коллекции микроорганизмов Института биологии УНЦ РАН. Всего было исследовано 6 изолятов, отнесенных к роду *Pseudomonas* и 2 штамма аэробных грамположительных спорообразующих бактерий – *Paenibacillus illinoisensis* IB-1087 и *P. ehimensis* IB-Xb.

Способность исследуемых культур растворять ортофосфат кальция –  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  и/или мобилизовать фосфор органических соединений – инозитолгексафосфата – оценивали на твердой питательной среде Муромцева [8]. Исследуемые культуры микроорганизмов высевали на поверхность среды микробиологической иглой в 4-кратной повторности. Засеянные чашки Петри помещали в термостат и инкубировали при +22°C на 20 суток, ежедневно контролируя начало появления зон просветления среды. Интенсивность мобилизации фосфатов оценивали по площади зон просветления на 20 сутки инкубации.

Для определения способности исследуемых бактерий к синтезу ауксинов использовали жидкие питательные среды. Грамотрицательные бактерии рода *Pseudomonas* культивировали на среде Кинг В [9], грамположительные спорообразующие бактерии – на модифицированной среде Менкиной (М) следующего состава, г/л: глюкоза – 5.0; пептон – 5.0;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0.3;  $\text{NaCl}$  – 0.3;  $\text{KCl}$  – 0.3;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 0.1;  $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  – 0.1;  $\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0.001;  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0.001; дистиллированная вода – 1.0 л. pH – 7.0–7 или на среде К1Г, г/л: крахмал – 10.0; дрожжевой экстракт – 5.0; пептон – 4.0; кукурузный экстракт – 1.0;  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – 1.0;  $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  – 1.0; дистиллированная вода – 1 л; pH 7.6–7.8. Колбы Эрленмейера

со стерильной питательной средой засева-ли 12-часовой культурой испытуемых бакте-рий и культивировали в ротационном аппа-рате выращивания микроорганизмов УВМТ-12-250 ( $n = 160 \text{ мин}^{-1}$ ) при  $28^\circ\text{C}$  в течение 3–4 суток. Отбор проб для анализа осущест-вляли через 6–7, 24, 48, 72, 96 часов. Пробы освобождали от биомассы центрифугирова-нием при  $n = 4000 \text{ об/мин}^{-1}$ . Содержащиеся в культуральной жидкости ауксины экстрагиро-вали диэтиловым эфиром и резкстрагирова-ли водным раствором по модифицированной схеме, описанной ранее [10]. Для определе-ния содержания ауксинов применяли метод иммуноферментного анализа [11].

Статистическую обработку результатов проводили, используя критерий Стьюдента на 5% уровне значимости с помощью про-граммы Microsoft Excel 7.0.

**Результаты и их обсуждение.** Оценка способности выбранных для исследования изолятов псевдомнад и двух штаммов аэробных спорообразующих бактерий к мобилизации фосфора из органических и не-органических соединений подтвердила из-вестный факт о распространенности данно-го свойства у представителей родов *Pseudomonas* и *Paenibacillus*. Вместе с тем следует отметить индивидуальные отличия (особенности) различных культур. Как сле-дует из данных, представленных в табл., все изученные нами псевдомнады растворяли как неорганические, так и органические со-единения фосфора (см. табл.). Зона просвет-ления у большинства штаммов появлялась уже на 1–2 сутки роста. Максимальная мо-билизующая активность в отношении орто-фосфата кальция проявилась у изолята *Pseudomonas* sp. IB-K 13-1A. Известно, что превращение нерастворимых форм мине-ральных фосфатов микроорганизмами в ра-створимые происходит в результате процес-сов закисления почвенного раствора, свя-зывания катионов в органоминеральные комплексы (хелатирование), ионо-обмен-ных реакций [12] и выделения глюконовых кислот [13].

Таблица

Фосфатмобилизующая активность и продукция ауксинов изученными бактериями

№	Мобилизация фосфатов				Продукция ауксина		
	Са <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>		C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>6</sub> × 6(PO <sub>3</sub> H <sub>2</sub> )		Среда	Т, ч	Ауксин, нг/мл
	Т, ч	S, мм <sup>2</sup>	Т, ч	S, мм <sup>2</sup>			
1	24	129±5.4	24	285±4.8	Кинг Б	72	6.9±0.8
2	48	189±4.3	24	186±3.7	Кинг Б	72	559.3±15.5
3	28	214±5.1	24	518±5.4	Кинг Б	72	283.8±24.1
4	48	363±6.2	24	490±4.9	Кинг Б	72	587.4±17.7
5	288	247±5.5	24	65±2.4	Кинг Б	72	36.9±6.3
6	288	247±4.7	24	490±3.9	Кинг Б	72	790.7±7.9
7	336	74±2.1	24	81±2.7	KIG	96	91.0±5.6
8	528	–	24	151±4.3	M	72	52.3±1.0

Примечания: «-» – отсутствие зоны разрушения фосфатов; Т – время появления фосфатов; S – площадь зон разрушения фосфатов вокруг колонии; M – среда Менкиной

Также все исследованные псевдомонады были способны гидролизовать фитин. Наибольшая активность отмечена у изолятов *Pseudomonas* sp. IB-K 11-2, *Pseudomonas* sp. IB-K 13-1А и *Pseudomonas* sp. IB-K 13-2. Однако последний изолят отличается тем, что в большей степени способен мобилизовать фосфор из органических, чем неорганических соединений. Зона растворения ортофосфата кальция проявлялась лишь на 12 сутки от начала культивирования, а гидролиз фитина отмечался уже через сутки. Данный феномен, возможно, обусловлен тем, что способность растворять неорганические фосфаты традиционно связывают с продукцией бактериями низкомолекулярных органических кислот, в основном глюконовых и кетоглюконовых кислот [14]. У большинства грам-отрицательных бактерий, в том числе и псевдомонад, эти кислоты синтезируются в периплазматическом пространстве по пути прямого окисления глюкозы (не по фосфориллазному пути окисления глюкозы) при участии хинопротеин глюкозодегидрогеназы и хинопротеин глюконатдегидрогеназы (КФ 1.1.5.2) соответственно [15]. Образующиеся таким образом в периплазматическом пространстве бактериальных клеток кислоты могут диффузионно высвобождаются в окружающую среду и растворять неорганические

фосфаты. Очевидно, этот процесс протяжен по времени и, вероятно, связан с динамикой роста популяции. Напротив, гидролиз органических фосфатов осуществляется под действием экстрацеллюлярных ферментов, например фитазы (КФ 3.1.1.8), кинетика процесса которого описывается уравнением Михаэлиса–Ментен и определяется концентрацией субстрата.

Известно, что аэробные спорообразующие бактерии также способны мобилизовать фосфор из органических и неорганических соединений [16, 17]. Однако среди изученных нами бацилл лишь штамм *P. illinoisensis* IB-1087 был способен растворять ортофосфт кальция, тогда как фитин гидролизовали оба штамма. Следует отметить, что площадь зон просветления среды у спорообразующих бактерий была существенно меньше, чем у псевдомонад.

В соответствии с поставленной целью исследований была проведена оценка способности отобранных штаммов бактерий к синтезу ауксинов. Синтез фитогормонов штаммами бактерий изучали при росте в периодической культуре, результаты представлены в табл. и на рис. Все исследованные представители рода *Pseudomonas* продуцировали ауксин. Максимальное количество этого гормона синтезировал штамм

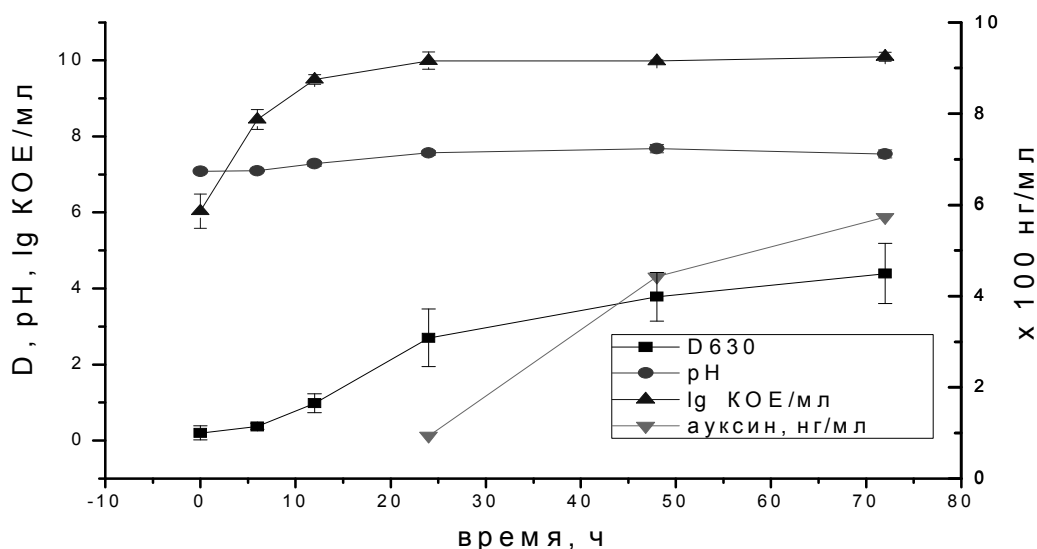


Рис. Динамика роста и продукции ауксина штаммом *Pseudomonas* sp. IB-K 13-1A (D630-оптическая плотность культуральной жидкости, при длине волны 630 нм, КОЕ – колониеобразующие единицы, ауксин – концентрация ауксина в культуральной жидкости)

*Pseudomonas* sp. IB-K 13-2. Другие штаммы по способности образовывать этот гормон располагались в ряду (по убыванию) *Pseudomonas* sp. IB-K 11-1, *Pseudomonas* sp. IB-K 13-1A, *Pseudomonas* sp. IB-K 13-1B, *Pseudomonas* sp. IB-K-19. При сопоставлении полученных данных можно заключить, что среди псевдомонад наиболее перспективным штаммом для разработки ростостимулирующих биопрепаратов является *Pseudomonas* sp. IB-K 13-1A. У этого штамма выявлена высокая способность к растворению различных соединений фосфора и значительная продукция ауксина.

Нами была изучена динамика роста и продукции ауксина культурой *Pseudomonas* sp. IB-K 13-1A при культивировании в жидкой питательной среде. Продолжительность экспоненциальной фазы роста составила 6 часов (см. рис.). Через 24 часа культура достигала стационарной фазы роста, и к этому моменту в культуральной жидкости был обнаружен ауксин. В ходе продолжения процесса инкубации на фоне прекращения деления клеток и прироста биомассы продукция ауксина продолжалась и к 72 часу от начала инкубации достигла около 600 нг/мл.

Изученные спорообразующие бактерии также были способны к синтезу ауксинов, однако его продукция не превышала 100 нг/мл. Наиболее активным продуцентом среди этих культур был штамм *P. illinoisensis* IB-1087.

Проведенные исследования позволяют выделить два штамма бактерий, перспективных для использования с целью оптимизации фосфорного питания растений и стимулирования их роста, *Pseudomonas* sp. IB-K13-1A и *P.illinoisensis* IB-1087.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант №14-04-97049.*

#### Литература

1. Richardson A.E., Simpson R.J. Soil microorganisms mediating phosphorus availability // *Plant Physiology*. 2011. Vol. 156, № 3. P. 989–996.

2. Whitelaw M.A., Harden T.J., Helyar K.R. Phosphate solubilization in solution culture by the soil fungus *Penicillium radicum* // *Soil Biol. Biochem.* 1999. Vol. 31. P. 655–665.

3. Шарипова М.Р., Балабан Н.П., Марданова А.М., Нехотяева Н.В., Дементьев А.А., Вершинина О.А., Гарусов А.В., Лещинская И.Б. Получение и характеристика секретируемой щелочной фосфатазы *Bacillus intermedius* // *Биохимия*. 1998. Т. 63, № 10. С. 1385–1390.

4. Булавенко Л.В., Курдиш И.К. Фосфатазная активность *Bacillus subtilis* // *Микробиол. Журнал*. 2005. Т. 64, № 4. С. 21–27.

5. Кудоярова Г.Р., Курдиш И.К., Мелентьев А.И. Образование фитогормонов почвенными и ризосферными бактериями как фактор стимуляции роста растений // *Известия Уфимского научного центра РАН*. 2011. № 3–4. С. 5–16.

6. Hinsinger P., Plassard C., Tang C., Jaillard B. Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints // *Plant and Soil*. 2003. Vol. 248. P. 43–59.

7. Spaepen S., Vanderleyden J., Remans R. Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling // *FEMS Microbiol. Rev.* 2007. Vol. 31. P. 425–448.

8. Муромцев Г.С. Методы изучения растворения фосфатов кальция микроорганизмами // *Микробиология*. 1957. Т. 26, № 2. С. 172–178.

9. King E.O., Ward M.K., Raney D.E. Two simple media for the demonstration of pyocyanin and fluorescein // *J. Lab. Clin. Med.* 1954. Vol. 44. P. 301–307.

10. Veselov S.U., Kudoyarova G.R., Egutkin N.L., Guili-Zade V.Z., Mustafina A.R., Kof E.M. Modified solvent partitioning scheme providing increased specificity and rapidity of immunoassay for indole 3-acetic acid // *Physiologia Plantarum*. 1992. Vol. 86. P. 93–96.

11. Веселов С.Ю. Использование антител для количественного определения, очистки и локализации регуляторов роста растений. Уфа: Изд-во Башкирского ун-та, 1998. 138 с.

12. Bhattacharyya P. N., Jha D. K. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture // *World J. Microbiol. Biotechnol.* 2012. Vol. 28. P. 1327–1350.

13. Chung, H., Park, M., Madhaiyan, M., Seshadri, S., Song, J., Cho, H., Sa, T., Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacteria from the rhizosphere of crop plants of Korea // *Soil Biol. Biochem.* 2005. Vol. 37. P. 1970–1974.

14. Deubel A., Gransee A., Merbach W. Transformation of organic rhizodeposits by rhizoplane bacteria and its influence on the availability of tertiary calcium phosphate // *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2000. Vol. 163. P. 387–392.

15. Anthony C. The quinoprotein dehydrogenases for methanol and glucose // Archives of Biochemistry and Biophysics. 2004. Vol. 428. P. 2–9.

16. Рой А.А., Рева О.Н., Курдиш И.К., Смирнов В.В. Биологические свойства фосфатмобилизующего штамма *B. subtilis* ИМВ-7023 // Прикладная биохимия и микробиология. 2004. Т. 40, № 5. С. 551–557.

17. Скороход І.О., Рой А.А., Мелентьев О.І. Курдиш І.К. Вплив біологічно активних речовин фосфатмінералізуючих штамів роду *Bacillus* на насіння рослин, яке зазнало оксидативного стресу // Мікробіологія та біотехнологія (Microbiology & Biotechnology). 2013. № 2 (22). С. 41–51.

### References

1. Richardson A.E., Simpson R.J. Soil microorganisms mediating phosphorus availability. Plant Physiology, 2011, vol. 156, no. 3, pp. 989–996.

2. Whitelaw M.A., Harden T.J., Helyar K.R. Phosphate solubilization in solution culture by the soil fungus *Penicillium radicum*. Soil Biol. Biochem., 1999, vol. 31, pp. 655–665.

3. Sharipova M.R., Balaban N.P., Mardanova A.M., Nekhotyaeva N.V., Demytyev A.A., Vershinina O.A., Garusov A.V., Leshchinskaya I.B. Poluchenie i kharakteristika sekretiruemyy shchelochnoy fosfatazy *Bacillus intermedium* [Production and characteristics of the secreted alkaline phosphatase *Bacillus intermedium*]. Biokhimiya – Biochemistry, 1998, vol. 63, no. 10, pp. 1385–1390. (In Russian).

4. Bulavenko L.V., Kurdish I.K. Fosfatazna aktivnist *Bacillus subtilis* [Phosphatase activity in *Bacillus subtilis*]. Mikrobiologicheskiiy zhurnal – Microbiological Journal, 2005, vol. 64, no. 4, pp. 21–27. (In Ukrainian).

5. Kudoyarova G.R., Kurdish I.K., Melentyev A.I. Obrazovanie fitogormonov pochvennyimi i rizosfernymi bakteriyami kak factor stimulyatsii rosta rasteniy [Production of phytohormones by soil and rhizosphere bacteria as a factor of plant growth stimulation]. Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN – Bulletin of the RAS Ufa Scientific Centre, 2011, no. 3–4, pp. 5–16. (In Russian).

6. Hinsinger P., Plassard C., Tang C., Jaillard B. Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints. Plant and Soil, 2003, vol. 248. pp. 43–59.

7. Spaepen S., Vanderleyden J., Remans R. Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling. FEMS Microbiol. Rev., 2007, vol. 31, pp. 425–448.

8. Muromtsev G.S. Metody izucheniya rastvoreniya fosfatov kaltsiya mikroorganizmami [Methods of studying solubilization of calcium phosphates by microorganisms]. Mikrobiologiya – Microbiology, 1957, vol. 26 no. 2, pp. 172–178. (In Russian).

9. King E.O., Ward M.K., Raney D.E. Two simple media for the demonstration of pyocyanin and fluorescein. J. Lab. Clin. Med., 1954, vol. 44, pp. 301–307.

10. Veselov S.U., Kudoyarova G.R., Egutkin N.L., Guili-Zade V.Z., Mustafina A.R., Kof E.M. Modified solvent partitioning scheme providing increased specificity and rapidity of immunoassay for indole 3-acetic acid. Physiologia Plantarum, 1992, vol. 86, pp. 93–96.

11. Veselov S.Yu. Ispolzovanie antitel dlya kolichestvennogo opredeleniya, ochistki i lokalizatsii regulyatorov rosta rasteniy [Application of antibodies for quantitative determination, purification and localization of plant growth regulators]. Ufa, Bashkir University Publ., 1998. 138 p. (In Russian).

12. Bhattacharyya P.N., Jha D.K. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. World J. Microbiol. Biotechnol., 2012, vol. 28, pp. 1327–1350.

13. Chung, H., Park, M., Madhaiyan, M., Seshadri, S., Song, J., Cho, H., Sa, T., Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacteria from the rhizosphere of crop plants of Korea. Soil Biol. Biochem., 2005, vol. 37, pp. 1970–1974.

14. Deubel A., Gransee A., Merbach W. Transformation of organic rhizodeposits by rhizoplane bacteria and its influence on the availability of tertiary calcium phosphate. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2000, vol. 163, pp. 387–392.

15. Anthony C. The quinoprotein dehydrogenases for methanol and glucose. Archives of Biochemistry and Biophysics, 2004, vol. 428, pp. 2–9.

16. Roy A.A., Reva O.N., Kurdish I.K., Smirnov V.V. Biologicheskie svoystva fosfatmobilizuyushchego shtamma *B. subtilis* ИМВ-7023 [Biological properties of the phosphate-mobilizing strain *B. subtilis* ИМВ-7023]. Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya – Applied Biochemistry and Microbiology, 2004, vol. 40, no. 5, pp. 551–557. (In Russian).

17. Skorokhod І.О., Рой А.А., Мелентьев А.І., Курдиш І.К. Vplyv biologichno aktivnykh rehovyn fosfatмінералізуючих штамів роду *Bacillus* на насіння рослин, яке зазнало оксидативного стресу [The impact of biologically active substances of phosphate mineralizing strains of the genus *Bacillus* on seeds undergone oxidative stress]. Mikrobiologiya ta biotekhnologiya – Microbiology and Biotechnology, 2013, no. 2 (22), pp. 41–51. (In Ukrainian).



## NEW STRAINS OF PHOSPHATE MOBILIZING AUXIN PRODUCING BACTERIA AS PROMISING MICROORGANISMS FOR AGRICULTURAL BIOTECHNOLOGY

© L.Yu. Kuzmina, L.B. Vysotskaya, N.F. Galimzyanova, E.A. Gilvanova,  
A.S. Ryabova, A.I. Melentyev

Institute of Biology, Ufa Scientific Centre, RAS,  
69, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia

Phosphorus is one of the essential nutrients responsible for plant growth and development. However, soil phosphorus occurs mainly in the form of mineral and organic compounds unavailable or slightly available for plants. Soil microorganisms play a major role in promoting phosphorus availability. Application of bacteria capable of transforming phosphorous compounds into plant-assimable forms is considered one of the most promising and environmentally friendly strategies to increase the efficiency of soil phosphorus mobilization. It is known that many microorganisms are also capable of promoting plant growth through phytohormone production. Selection of bacteria able to serve as a basis for the development of plant growth biostimulators should lean, as a key criterion, upon their ability to mobilize phosphorous compounds and promote plant growth through other mechanisms, including phytohormone production. The objective of the research was to find out bacteria capable of mobilizing phosphorus from mineral and organic compounds and producing different phytohormones at the same time.

We performed screening of bacteria capable of dissolving mineral and organic phosphorous compounds (calcium orthophosphate and phytin) and producing auxins. Six bacterial strains of the genus *Pseudomonas* from soil of Kinderlinskaya Cave and two strains of *Paenibacillus* from the Microbial Collection (Institute of Biology, RAS) were selected and studied. It was shown that pseudomonades under study dissolved phosphates more actively as compared to spore-forming bacteria. All of these bacteria produced auxins during cultivation in liquid media. The dynamics of auxin production by the strain *Pseudomonas* sp. IB-K 13-1A was studied, with maximum hormone production observed after 72 hours of cultivation. The strain *P. illinoisensis* IB-1087 was the most active auxin producer among spore-forming bacteria. Thus, the strains *Pseudomonas* sp. IB-K 13-1A and *P. illinoisensis* IB-1087 can be used to improve phosphorus intake by plants and promote plant growth.

Key words: *Pseudomonas*, *Paenibacillus*, phosphate solubilization, phytohormones.

## СОСТАВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ КЛЕТОЧНОЙ СТЕНКИ БАКТЕРИИ *Paenibacillus ehimensis* IB-739

© Т.Ю. Коршунова, С.Г. Ковальская, О.Н. Логинов, А.И. Мелентьев

Для более полного таксономического описания исследован спектр жирных кислот клеточной стенки промышленно значимой бактерии *Paenibacillus ehimensis* IB-739 (ВКМ В-2680D) – продуцента фермента циклодекстринглюканотрансферазы и высоковязкого экзополисахарида альгинатного типа. С помощью газовой хроматографии-масс-спектрометрии идентифицированы 19 соединений с длиной цепи от 14 до 20 атомов углерода. Доминирующей являлась антеизо-пентадекановая ( $C_{ai15:0}$ ) (что характерно для всего рода *Paenibacillus*), составляющая 46.46% от суммы всех жирных кислот. Следующими по содержанию были антеизо-гептадекановая ( $C_{ai17:0}$ ) – 20.47% и гексадекановая кислота ( $C_{16:0}$ ) – 9.04%. Выявлены насыщенные кислоты, такие как тетрадекановая ( $C_{14:0}$ ) (0.87%), гептадекановая ( $C_{17:0}$ ) (0.12%), октадекановая ( $C_{18:0}$ ) (2.29%) и эйкозановая ( $C_{20:0}$ ) (0.12%). Соединения с разветвленной углеродной цепью ( $C_{i15:0}$ ,  $C_{i16:0}$  и  $C_{i17:0}$ ) присутствуют в спектре жирных кислот штамма *P. ehimensis* IB-739 в количестве 6.79, 2.35 и 5.15% соответственно. У исследуемой культуры найдены короткоцепочечная разветвленная насыщенная кислота  $C_{i14:0}$  (0.40%) и следовые количества разветвленных ненасыщенных кислот – изогексадеценной ( $C_{i16:1}$ ) и изогептадеценной ( $C_{i17:1}$ ). Обнаружены минорные компоненты – это изомеры октадеценной кислоты ( $C_{18:1}$ ) с разным положением двойной связи, содержание которых практически одинаково:  $C_{18:1w9}$  – 1.66% и  $C_{18:1w7}$  – 1.61% и октадекадиеновая кислота ( $C_{18:2}$ ) (0.94%). Еще одной характерной особенностью *P. ehimensis* IB-739 является наличие в жирнокислотном составе спиртов –  $C_{16alc}$  (0.55%) и  $C_{18alc}$  (0.27%).

Ключевые слова: *Paenibacillus ehimensis* IB-739, жирные кислоты.

Особенности химического состава клеток микроорганизмов широко используются для определения их рода или вида. Уже более 30 лет спектр жирных кислот наряду с составом полярных липидов и хинонов успешно служит одним из критериев при таксономическом описании и идентификации микроорганизмов [1, 2]. Жирные кислоты клеточных стенок имеют специфические особенности у представителей разных систематических групп (длина и разветвления углеродной цепи, различное положение двойных связей,

соответствие основных и наличие характерных минорных компонентов) [3, 4]. Их содержание и соотношение генетически детерминированы и так же консервативны, как и ДНК, что подтверждается палеонтологическими исследованиями [5]. На сегодняшний день состав жирных кислот клеточных стенок многих микроорганизмов изучен, доказана их родо- и видоспецифичность [3].

Ранее из серой среднегумусной почвы Республики Башкортостан был выделен штамм *Bacillus* sp. IB-739, способный к продукции

КОРШУНОВА Татьяна Юрьевна – к.б.н., Институт биологии Уфимского научного центра РАН, e-mail: korshunovaty@mail.ru

КОВАЛЬСКАЯ Светлана Геннадиевна, Уфимский государственный нефтяной технический университет, e-mail: kovalskaya.s@list.ru

ЛОГИНОВ Олег Николаевич – д.б.н., Институт биологии Уфимского научного центра РАН, e-mail: biolab316@yandex.ru

МЕЛЕНТЬЕВ Александр Иванович – д.б.н., Институт биологии Уфимского научного центра РАН, e-mail: mlnt@anrb.ru

значительного количества циклодекстринглюканотрансферазы (ЦГТаза, КФ 2.4.1.19) [6]. Фермент катализирует реакции, приводящие к образованию циклодекстринов, используемых в пищевой и косметической промышленности, фармацевтике, органическом синтезе, нефтедобыче и сельском хозяйстве [7]. ЦГТаза указанного штамма обладает широким спектром действия, инициируя превращение крахмала в смеси, пригодные для одновременного получения трех циклических декстринов [8]. Также эта бактерия является продуцентом высоковязкого экзополисахарида альгинатного типа, области применения которого очень разнообразны – от загустителей в пищевой промышленности и плазмозаменителей в медицине до компонентов буровых растворов при нефтедобыче [9, 10].

В дальнейшем по совокупности фенотипических и биохимических признаков изучаемый штамм был идентифицирован как близкий к типовой культуре *Paenibacillus ehimensis* KCTC 3748(T) (=IFO 15659(T)) [11–13]. Была определена, проанализирована и депонирована в Genbank практически полная нуклеотидная последовательность гена, кодирующего 16S рРНК (номер FN582329), установлены филогенетические отношения штамма с другими видами рода *Paenibacillus*, в т.ч. обладающими ЦГТазной активностью. На основании результатов проведенных исследований указанная культура была отнесена к виду *Paenibacillus ehimensis*. Штамм *Paenibacillus ehimensis* IB-739 депонирован во Всероссийской коллекции микроорганизмов под номером В-2680D [13]. Но таксономическое описание такого важного с практической точки зрения микроорганизма является неполным без сведений о составе жирных кислот клеточной стенки. Целью настоящего исследования является восполнение этого пробела.

Для анализа состава жирных кислот использовали газовый хроматограф Agilent 6890N с масс-селективным детектором Agilent 5973inert (Agilent Technologies, США), который был оснащен системой автоматического ввода проб и управлялся с помощью программного обеспечения MSD Chem Station (Agilent

Technologies, США), включающего в себя пакет для обработки данных Data Analysis. Вещества в хроматографических пиках идентифицировали с помощью библиотечных программ базы данных масс-спектров Национального института стандартов и технологий (NIST, США) (<http://webbook.nist.gov/chemistry>).

Штамм выращивали при 30°C в течение 48 ч на среде, содержащей соевую муку – 5 г, хлорид натрия – 5 г, триптон – 15 г, агар-агар – 15 г, воду – 1000 мл. Пробу сухой биомассы клеток (3–5 мг) подвергали кислотному метанолизу (1М HCl/MeOH 400 мкл, 80°C, 45 мин). Продукты экстрагировали н-гексаном (1 × 400 мкл), высушивали 3–4 мин при 80°C. Сухой остаток дериватизировали N,O-бис(триметил-силил)-трифторацетамидом (20 мкл, 80°C, 15 мин). Реакционную смесь разбавляли н-гексаном (60 мкл), раствор анализировали методом газовой хроматографии-масс-спектрометрии.

Хроматографическое разделение пробы (1 мкл) осуществляли на капиллярной колонке с фазой HP-5MS (30 м × 0.25 мм × 0.25 мкм), газ-носитель – водород. Температурная программа газового хроматографа: 135–320°C, скорость подъема температуры линейная – 7°C/мин. Ионизация методом электронного удара (70 эВ). Температура источника 230°C, температура квадруполя 150°C. Регистрация проводилась в режиме селективных ионов при периодическом сканировании до тридцати ионов в пяти интервалах времени.

Всего у штамма *P. ehimensis* IB-739 нами идентифицировано 19 соединений с длиной цепи от 14 до 20 атомов углерода (рис.). Доминирующей являлась антеизо-пентадекановая ( $C_{ai15:0}$ ) (что характерно для всего рода *Paenibacillus*), составляющая 46.46% от суммы всех жирных кислот. Следующими по содержанию были антеизо-гептадекановая ( $C_{ai17:0}$ ) – 20.47% и гексадекановая кислота ( $C_{16:0}$ ) – 9.04%. У типового штамма вида *Paenibacillus ehimensis* KCTC 3748(T) также превалировала антеизо-пентадекановая кислота (52.9%), но количество гексадекановой кислоты и антеизо-гептадекановой было близко (7.1 и 8.0% соответственно) [12].



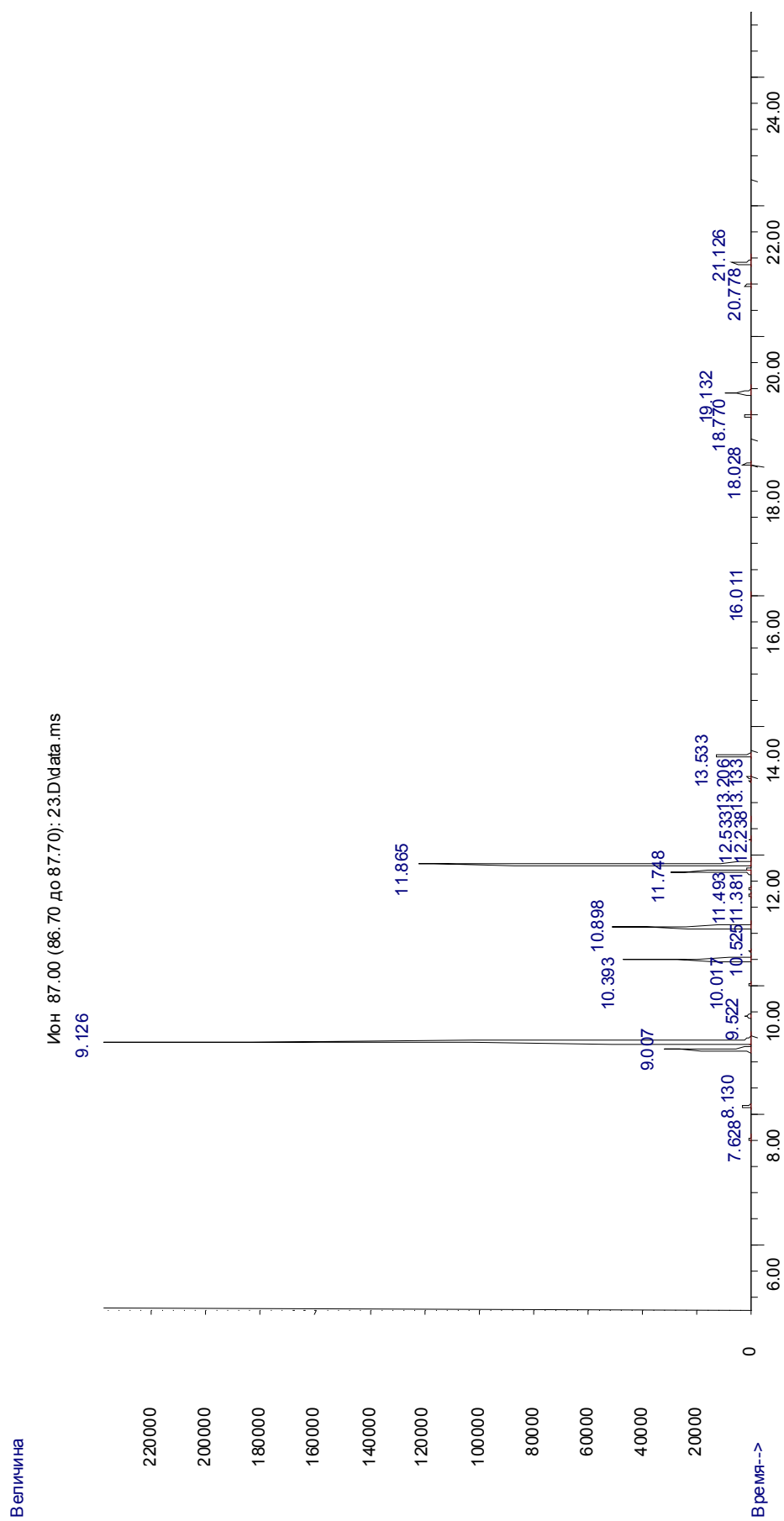


Рис. Хроматограмма спектра жирных кислот штамма *Raenibacillus ehitensis* IB-739

Насыщенные кислоты, такие как тетрадекановая ( $C_{14:0}$ ) (0.87%), гептадекановая ( $C_{17:0}$ ) (0.12%), октадекановая ( $C_{18:0}$ ) (2.29%) иэйкозановая ( $C_{20:0}$ ) (0.12%) выявлены только штамма *P. ehimensis* IB-739. Соединения с разветвленной углеродной цепью ( $C_{115:0}$ ,  $C_{116:0}$  и  $C_{117:0}$ ) присутствуют в спектре жирных кислот как у изучаемого (6.79%, 2.35% и 5.15% соответственно), так и у типового штамма *P. ehimensis* КСТС 3748(Т) (8.1%, 8.6% и 3.3% соответственно) [12]. У исследуемой культуры обнаружены короткоцепочечная разветвленная насыщенная кислота  $C_{114:0}$  (0.40%) и следовые количества разветвленных ненасыщенных кислот – изогексадеценовой ( $C_{116:1}$ ) и изогептадеценовой ( $C_{117:1}$ ). Также нами идентифицированы и минорные компоненты – это изомеры октадеценовой кислоты ( $C_{18:1}$ ) с разным положением двойной связи, содержание которых практически одинаково: ( $C_{18:1w9}$ ) – 1.66% и ( $C_{18:1w7}$ ) – 1.61% и октадекадиеновая кислота ( $C_{18:2}$ ) – (0.94%). Еще одной характерной особенностью *P. ehimensis* IB-739 является наличие в жирнокислотном составе спиртов – ( $C_{16alc}$ ) (0.55%) и ( $C_{18alc}$ ) (0.27%).

Необходимо отметить, что результаты определения количественного и качественного содержания жирных кислот, полученные разными авторами для одних и тех же видов, могут значительно различаться, что связано с условиями культивирования, особенно с составом питательных сред [3, 4]. Поэтому отличия в спектре жирных кислот штамма *P. ehimensis* IB-739 и типового штамма *P. ehimensis* КСТС 3748 (Т) [12] могут быть объяснены тем, что в нашем случае использовалась не стандартная готовая среда, содержащая папаиновый гидролизат соевого шрота, а среда, компонентом которой являлась обезжиренная соевая мука. Также высокая чувствительность прибора позволила нам выявить в составе жирных кислот клеточной стенки *P. ehimensis* IB-739 соединения, не заявленные у типового штамма.

### Литература

1. Buyer J.S. Identification of bacteria from single colonies by fatty acid analysis // *J. Microbiol. Meth.* 2002. Vol. 48. P. 259–265.

2. Осипов Г.А., Федосова Н.Ф., Лядов К.В. Количественный *in situ* микробиологический анализ по липидным маркерам в биологических жидкостях с использованием метода газовой хроматографии–масс-спектрометрии // *Здравоохранение и медицинские технологии.* 2007. № 5. С. 20–23.

3. Компанцева Е.И., Имхофф Й.Ф., Тиманн Б., Пантелеева Е.Е., Акимов В.Н. Сравнительное изучение жирнокислотного состава некоторых групп несерных пурпурных бактерий // *Микробиология.* 2007. № 5. С. 615–626.

4. Imhoff J.F., Hiraishi A., Sling J. Anoxygenic phototrophic purple bacteria // *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology.* 2nd ed. / Ed.-in-chief G.M. Garrity. Springer-Verlag: New York, Berlin, Heidelberg, 2005. Vol. 2. Part A. P. 119–132.

5. Shekhovtsova N.V., Osipov G.A., Verkhovtseva N.V., Pevzner L.A. Analysis of lipid biomarkers in rocks of Archean crystalline basement // *Proceedings of SPIE.* 2003. Vol. 4939. P. 160–168.

6. Усанов Н.Г., Логинов О.Н., Мелентьев А.И. Синтез циклодекстринглюканотрансфераз микроорганизмами, утилизирующими циклодекстрины в качестве единственного источника углерода // *Докл. АН СССР.* 1989. Ч. 6. С. 1489–1492.

7. Leemhuis H., Kelly R., Dijkhuizen L. Engineering of cyclodextrin glucanotransferases and the impact for biotechnological applications // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2010. Vol. 85. P. 823–835.

8. Федорова П.Ю., Гильванова Е.А., Усанов Н.Г. Сравнение кинетических свойств различных циклодекстринглюканотрансфераз // *Изв. Самарского науч. центра РАН.* 2011. № 5. С. 203–206.

9. Логинов Я.О., Худайгулов Г.Г., Четвериков С.П., Мелентьев А.И., Логинов О.Н. Биополимер альгинатной природы с преобладанием L-гулуриновой кислоты // *Прикл. биохимия и биотехнология.* 2011. № 3. С. 343–347.

10. Худайгулов Г.Г., Логинов О.Н., Мелентьев А.И. Экзополисахарид альгинатного типа *Paenibacillus ehimensis* IB -739 // *Изв. Самарского науч. центра РАН.* 2011. № 5. С. 214–217.

11. Kuroshima K.-I., Sakane T., Takata R. and Yokota A. *Bacillus ehimensis* sp. nov. and *Bacillus chitinolyticus* sp. nov., new chitinolytic members of the genus *Bacillus* // *Int. J. Syst. Bacteriol.* 1996. Vol. 46. P. 76–80.

12. Lee J.-S., Pyun Y.-R., Bae K.-S. Transfer of *Bacillus ehimensis* and *Bacillus chitinolyticus* to the genus *Paenibacillus* with emended descriptions of *Paenibacillus ehimensis* comb. nov. and *Paenibacillus chitinolyticus* comb. nov. // *Int. J. Syst. Bacteriol.* 2004. Vol. 54. P. 929–933.

13. Федорова П.Ю., Гильванова Е.А., Актуганов Г.Э., Усанов Н.Г. Очистка и свойства циклодекстринглюканотрансферазы из бактериального штам-

ма *Paenibacillus ehimensis* BKM B-2680D (IB-739) // Биотехнология. 2012. № 4. С. 31–38.

### References

1. Buyer J.S. Identification of bacteria from single colonies by fatty acid analysis. *J. Microbiol. Meth.*, 2002, vol. 48, pp. 259–265.
2. Osipov G.A., Fedosova N.F., Lyadov K.V. Kolichestvennyy *in situ* mikrobiologicheskii analiz po lipidnym markeram v biologicheskikh zhidkostyakh s ispolzovaniem metoda gazovoy khromatografii – mass-spektrometrii [Quantitative microbiological analysis *in situ* by lipid markers in biological liquids using gas chromatography – mass-spectrometry]. *Zdravookhranenie i meditsinskie tekhnologii – Healthcare and Medical Technologies*, 2007, no. 5, pp. 20–23. (In Russian).
3. Kompantseva E.I., Imhoff, J.F., Thiemann B., Panteleeva E.E., Akimov V.N. Sravnitelnoe izuchenie zhirnokislotnogo sostava nekotorykh grupp nesernykh purpurnykh bakteriy [Comparative study of the fatty acid composition of some groups of purple nonsulfur bacteria]. *Mikrobiologiya – Microbiology*, 2007, no. 5, pp. 615–626. (In Russian).
4. Imhoff J.F., Hiraishi A., Sϕling J. Anoxygenic phototrophic purple bacteria. *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. 2nd ed. G.M. Garrity (ed.-in-chief). New York, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2005, vol. 2, part A, pp. 119–132.
5. Shekhovtsova N.V., Osipov G.A., Verkhovtseva N.V., Pevzner L.A. Analysis of lipid biomarkers in rocks of Archean crystalline basement. *Proceedings of SPIE*, 2003, vol. 4939, pp. 160–168.
6. Usanov N.G., Loginov O.N., Melentyev A.I. Sintez tsiklodekstringlyukanottransferaz mikroorganizmami, utiliziruyushchimi tsiklodekstriny v kachestve edinstvennogo istochnika ugleroda [Synthesis of cyclodextrin glucanottransferases by microorganisms utilizing cyclodextrins as a sole source of hydrocarbon]. *Doklady AN SSSR – Transactions of the USSR Academy of Sciences*, 1989, part 6, pp. 1489–1492. (In Russian).
7. Leemhuis H., Kelly R., Dijkhuizen L. Engineering of cyclodextrin glucanottransferases and the impact for biotechnological applications. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 2010, vol. 85, pp. 823–835.
8. Fedorova P.Yu., Gilvanova E.A., Usanov N.G. Sravnenie kineticheskikh svoystv razlichnykh tsiklodekstringlyukanottransferaz [Comparison of kinetic properties in different cyclodextrin glucanottransferases]. *Izvesiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN – Bulletin of the RAS Samara Scientific Centre*, 2011, no. 5, pp. 203–206. (In Russian).
9. Loginov Ya.O., Khudaygulov G.G., Chetverikov S.P., Melentyev A.I., Loginov O.N. Biopolimer alginatnoy prirody s preobladaniem L-guluronovoy kisloty [Biopolymer of alginate nature with a predominance of L-guluronic acid]. *Prikladnaya biokhimiya i biotekhnologiya – Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2011, no. 3, pp. 343–347. (In Russian).
10. Khudaygulov G.G., Loginov O.N., Melentyev A.I. Ekzopolisakharid alginatnogo tipa *Paenibacillus ehimensis* IB-739 [Alginate-type exopolysaccharide *Paenibacillus ehimensis* IB-739]. *Izvesiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN – Bulletin of the RAS Samara Scientific Centre*, 2011, no. 5, pp. 214–217. (In Russian).
11. Kuroshima K.-I., Sakane T., Takata R., Yokota A. *Bacillus ehimensis* sp. nov. and *Bacillus chitinolyticus* sp. nov., new chitinolytic members of the genus *Bacillus*. *Int. J. Syst. Bacteriol.*, 1996, vol. 46, pp. 76–80.
12. Lee J.-S., Pyun Y.-R., Bae K.-S. Transfer of *Bacillus ehimensis* and *Bacillus chitinolyticus* to the genus *Paenibacillus* with emended descriptions of *Paenibacillus ehimensis* comb. nov. and *Paenibacillus chitinolyticus* comb. nov. *Int. J. Syst. Bacteriol.*, 2004, vol. 54, pp. 929–933.
13. Fedorova P.Yu., Gilvanova E.A., Aktuganov G.E., Usanov N.G. Ochistka i svoystva tsiklodekstringlyukanottransferazy iz bakterialnogo shtamma *Paenibacillus ehimensis* BKM B-2680D (IB-739) [Purification and properties of cyclodextrin glucanottransferase from the bacterial strain *Paenibacillus ehimensis* BKM B-2680D (IB-739)]. *Biotehnologiya – Biotechnology*, 2012, no. 4, pp. 31–38. (In Russian).

## CELLULAR FATTY ACID COMPOSITION OF BACTERIUM *Paenibacillus ehimensis* IB-739

© T.Yu. Korshunova<sup>1</sup>, S.G. Kovalskaya<sup>2</sup>, O.N. Loginov<sup>1</sup>, A.I. Melentyev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Biology, Ufa Scientific Centre, RAS,  
69, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia

<sup>2</sup>Ufa State Petroleum Technical University,  
1, ulitsa Kosmonavtov, 450062, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia

In order to make a more complete taxonomical description, we have investigated the spectra of fatty acids of a cellular wall of industrially significant bacterium *Paenibacillus ehimensis* IB-739 (BKM B-2680D), a producer of

enzyme cyclodextrin glucanotransferases and high-viscosity exopolysaccharide of the alginate type. Using gas chromatography – mass spectrometry methods, we have identified 19 compounds with chain length from 14 to 20 carbon atoms. Anteispentadecanoic acid ( $C_{ai15:0}$ ) prevailed (which is typical for the whole genus *Paenibacillus*), making up 46.46 pc of the sum of all fatty acids. Next in order of content were anteisoheptadecanoic ( $C_{ai17:0}$ ) (20.47 pc) and hexadecanoic ( $C_{16:0}$ ) (9.04 pc) acids. Saturated acids were found, such as tetradecanoic ( $C_{14:0}$ ) (0.87 pc), heptadecanoic ( $C_{17:0}$ ) (0.12 pc), octadecanoic ( $C_{18:0}$ ) (2.29 pc) and icosanoic ( $C_{20:0}$ ) (0.12 pc). Compounds with branched carbon chains ( $C_{i15:0}$ ,  $C_{i16:0}$  and  $C_{i17:0}$ ) occurred in the spectra of fatty acids of the strain *P. ehimensis* IB-739 to the extent of 6.79, 2.35 and 5.1 percent, respectively. The culture under investigation had short-chain branched saturated  $C_{i14:0}$  (0.40 pc) acid and trace amounts of branched nonsaturated isoheptadecanoic ( $C_{i16:1}$ ) and isoheptadecanoic ( $C_{i17:1}$ ) acids. Minor components were also revealed. These were isomers of octadecenoic acid ( $C_{18:1}$ ) with different positions of double bonds and almost identical contents:  $C_{18:1w9}$  – 1.66 pc and  $C_{18:1w7}$  – 1.61 pc. The content of octadecadienoic acid (C18:2) was 0.94 pc. One more characteristic feature of *P. ehimensis* IB-739 was the occurrence of alcohols  $C_{16:alc}$  (0.55 pc) and  $C_{18:alc}$  (0.27 pc) in the fatty acid composition.

Key words: *Paenibacillus ehimensis* IB-739, cellular fatty acids.



УДК 634.03.30

**ВОДНЫЙ ДЕФИЦИТ ЛИСТВЕННИЦЫ СУКАЧЕВА (*Larix Sukaczewii* Dyl.)  
В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

© Р.Х. Гиниятуллин

Представлены материалы по водному дефициту лиственницы Сукачева в условиях полиметаллического загрязнения Стерлитамакского промышленного центра. Целью данной работы явилось определение содержания воды в хвое лиственницы Сукачева в утренние, полуденные и послеполуденные часы, оценка относительного состояния древесных растений в условиях загрязнения Стерлитамакского промышленного центра и в зоне условного контроля, также исследование корневых систем древесных растений. Объектом исследований были лиственничные насаждения, расположенные на различном удалении от промышленных предприятий г. Стерлитамака. В результате выявлено, что в условиях Стерлитамакского промышленного центра (СПЦ) и в зоне условного контроля (ЗУК) у лиственницы Сукачева в полдень с увеличением температуры воздуха и уменьшением относительной влажности воздуха расход влаги увеличивается, достигая максимального водного дефицита в дневное время с 13–15 ч. Как показывают наши исследования, в июне–августе водный дефицит в условиях СПЦ в растениях на 5–10% превышал данный показатель у контрольных растений. Жизненное состояние насаждения лиственницы Сукачева в условиях загрязнения Стерлитамакского промышленного центра оценено как «ослабленное», а в ЗУК как «здоровое». В результате проведенных исследований установлено, что в условиях загрязнения Стерлитамакского промышленного центра происходит ухудшение жизненного состояния, понижение доли поглощающих корней лиственницы Сукачева, отмечаются значительные изменения показателей водного дефицита.

Ключевые слова: лиственница Сукачева, водный дефицит, категория жизненного состояния, поглощающие корни, Стерлитамакский промышленный центр.

Вода – главная составляющая часть тела растений. Вода необходима для поддержания структурной целостности биологических молекул и, следовательно, целостности клеток, тканей и всего организма. Она также является растворителем: минеральные и прочие питательные вещества перемещаются в растении в виде растворов [1].

Формирование водного дефицита в растительном организме происходит как в течение суток, так и в течение вегетационного периода [2].

Растения промышленных территорий зачастую оказываются в сложных и даже критических условиях водообеспечения, которые сопровождаются воздействием на них

техногенных загрязнителей различной природы [3].

Воздействие промышленных загрязнителей приводит к существенным изменениям в структуре древесных растений. Прежде всего отмечается снижение густоты кроны за счет преждевременного опадения или недоразвития листьев (хвои), изреживания скелетной части кроны и т.д. [4, 5].

Лиственница Сукачева – быстрорастущая порода из хвойных лесообразователей Урала, обладает таким ценным свойством, как способность к восстановлению фотосинтетического аппарата при различного рода повреждениях [6]. Широко используется в озеленении Стерлитамака в парках, скверах, са-

нитарно-защитных зонах ряда промышленных предприятий [7].

Одна из основных задач, которую мы поставили перед собой в ходе исследований – изучить водный дефицит лиственницы Сукачева в условиях загрязнения Стерлитамакского промышленного центра (СПЦ). Мы полагаем, что одной из причин увеличения значений водного дефицита у лиственницы Сукачева в условиях СПЦ может являться снижение корненасыщенности почвы поглощающими корнями и ухудшение жизненного состояния дерева.

**Методы исследования.** Исследования проводились в лиственничных насаждениях, расположенных на различном удалении от промышленных предприятий г. Стерлитамака и в зоне условного контроля. Объектами исследования были деревья лиственницы Сукачева (возраст 50–51 год).

Древесные растения, произрастающие в условиях промышленного центра, недостаток влаги испытывают на фоне влияния загрязнения. В летние месяцы (июнь, июль, август) в хвое растений отмечается водный дефицит. От степени выраженности водного дефицита зависит устойчивость и продуктивность как отдельных деревьев, так и насаждения в целом [8].

Определяли содержание воды в листьях в утренние ( $M_1$ ) и полуденные часы ( $M_2$ ). Разница в этих показателях  $M_1 > M_2$  за определенный период времени указывала на отрицательный водный баланс.

Убыль воды в дневные часы ( $M_1 - M_2$ ) – это водный дефицит, который выражается в процентах от общего содержания воды в листьях [9].

Оценку жизненного состояния деревьев определяли по методике В.А. Алексеева (1990) [10].

При исследовании насаждений в каждом экземпляре лиственницы Сукачева пробной площадки (ПП) оценивались густота кроны (в % от нормальной густоты), наличие на стволе мертвых сучьев (в % от общего количества сучьев на стволе), степень поврежде-

ния листьев токсикантами, патогенами и насекомыми (средняя площадь некрозов, хлорозов и объеданий в % от площади листа или хвои).

$$L_n = \frac{100n_1 + 70n_2 + 40n_3 + 5n_4}{N},$$

где  $L_n$  – относительное жизненное состояние древостоя, рассчитанное по числу деревьев;

$n_1$  – число здоровых деревьев на пробной площади;

$n_2, n_3, n_4$  – то же для ослабленных, сильно ослабленных и отмирающих деревьев соответственно;

100, 70, 40, 5 – коэффициенты, выражающие (в процентах) жизненное состояние здоровых, ослабленных, сильно ослабленных и отмирающих деревьев;

$N$  – общее число деревьев на пробной площади (включая сухостой).

При значении относительного жизненного состояния от 100 до 80% древостой оценивается как «здоровый», при 79–50% – «ослабленный», при 49–20% – «сильно ослабленный», при 19% и ниже – «полностью разрушенный».

Исследование корневых систем лиственницы Сукачева в условиях СПЦ и в зоне условного контроля проводили методами количественного учета: методом монолитов [11, 12].

**Результаты и их обсуждение.** В течение нескольких лет нами изучены особенности водного дефицита лиственницы Сукачева в условиях загрязнения СПЦ и в зоне условного контроля по недостатку воды в растениях до полного насыщения, образующихся вследствие превышения расходования воды над поступлением.

Средние данные за летние месяцы (табл. 1), позволяют отметить, что лиственница Сукачева в условиях СПЦ испытывает большой водный дефицит по сравнению с зоной условного контроля (ЗУК).

При изучении зависимости водного дефицита от параметров внешней среды в разных условиях было выявлено, что утренний водный дефицит (с 9.00 до 11.00 ч) у лиственницы Сукачева, исследованной в июне

2012 г. на одних и тех же объектах, составил 10.1%.

Водный дефицит в условиях СПЦ – 18.6%, а в ЗУК – 11.7%, т.е. в условиях СПЦ превышает норму на 5%.

Как показывают результаты утреннего и вечернего исследований водного дефицита, больших различий между растениями СПЦ и ЗУК не наблюдается. Однако отмечена тенденция к увеличению водного дефицита у растений в условиях СПЦ на 2.1–2.3%.

В 2012 г. июль и август были довольно засушливыми. Относительная влажность воздуха в полуденные часы падала до 27–30%, а температура воздуха поднималась до 26–33°C.

В условиях СПЦ и в ЗУК у лиственницы Сукачева в полдень с увеличением температуры воздуха и уменьшением относительной влажности воздуха расход влаги увеличивается, достигая максимального водного дефицита в дневное время с 13–15 ч.

В вечерние часы с 17–19 ч водный дефицит в ЗУК у лиственницы снижается.

Как показывают наши исследования (см. табл. 1), в июне–августе водный дефицит в условиях СПЦ в растениях на 5–10% превышал данный показатель у контрольных растений. Наибольшие различия водного дефицита у контрольных и растений СПЦ отмечены в 2012 г. в полуденные часы.

В ночные часы, когда транспирация почти отсутствует, создавшийся водный дефицит компенсируется поступлением воды из почвы через корни растений. Это наблюдается в случае наличия в почве доступной для растений влаги [9]. Однако в июле и августе 2012 г. в условиях СПЦ в утренние часы водный дефицит у лиственницы составил 14.6–16.9%, а в ЗУК – 9.8–10.1%. Видимо, в условиях СПЦ у изученных деревьев в ночные

*Водный дефицит лиственницы Сукачева (Larix Sukaczewii Dyl.) в условиях СПЦ и в ЗУК в % к весу воды в насыщенной хвое при 120-минутном насыщении*

Варианты	Месяц/год	Часы наблюдений, ч		
		9–11	13–15	17–19
СПЦ	июнь, 2012 г.	10.1	18.6	8.9
ЗУК		7.8	11.7	6.8
	Т, °С	18–24	31–28	26–21
	Н, %	45–32	28–33	34–45
СПЦ	июль, 2012 г.	16.9	25.7	18.5
ЗУК		10.1	15.3	12.7
	Т, °С	20–26	30–33	28–25
	Н, %	42–33	27–24	32–39
СПЦ	август, 2012 г.	14.6	19.8	15.5
ЗУК		9.8	14.7	11.8
	Т, °С	17–21	26–23	20–17
	Н, %	52–47	33–36	37–48
СПЦ	июнь, 2013 г.	7.8	14.4	6.3
ЗУК		3.3	8.8	2.1
	Т, °С	19–24	28–26	24–17
	Н, %	54–41	34–31	35–46
СПЦ	июль, 2013 г.	6.3	19.8	9.7
ЗУК		4.2	9.3	4.8
	Т, °С	19–26	29–26	24–19
	Н, %	48–43	36–29	35–43
СПЦ	август, 2013 г.	4.1	5.3	3.7
ЗУК		2.2	3.1	2.4
	Т, °С	16–18	22–21	20–16
	Н, %	68–58	52–54	60–65

часы расход воды не покрывается ее поступлением, поэтому следующий день начинается с некоторым водным дефицитом.

Влажность почвы в условиях СПЦ в июле–августе в верхнем слое почвы 0–20 см составляет 13–16%. При уменьшении влажности почвы вода становится все менее доступной для растений, и сопротивление ее передвижению по направлению к корням повышается [13].

Июль и август 2012 г. были засушливыми. Только в конце августа выпали небольшие осадки.

В условиях СПЦ зависимость водного дефицита растений от влажности почвы хорошо прослеживается в июле и августе. В период наблюдений в 2012 г. в течение сезона влажность почвы изменилась в пределах 8–9%. Влажность почвы в июне в слое 0–10 см составляет 24%, а к концу сезона понизилась в слое 0–10 см на 9% и составила 15%.

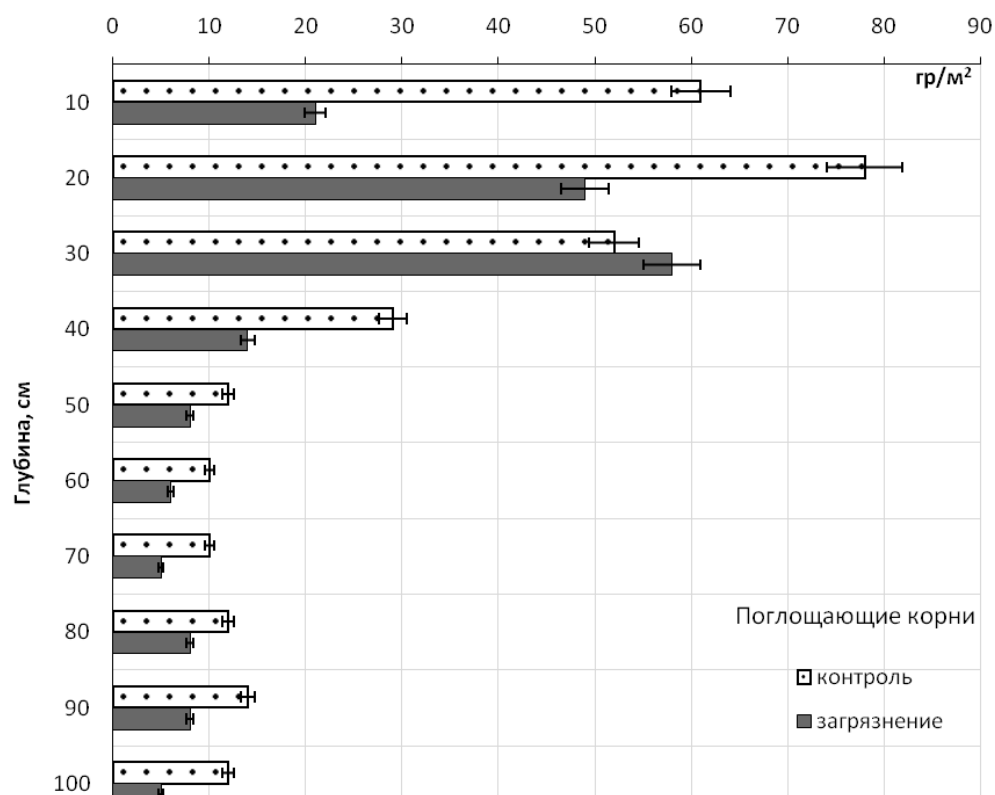


Рис. Насыщенность почвы поглощающими корнями лиственницы Сукачева (*Larix Sukaczewii* Dyl.) в условиях загрязнения Стерлитамакского промышленного центра и в зоне условного контроля

Для объяснения различий в водном режиме деревьев, произрастающих в различных условиях, приведена оценка состояния корневых систем лиственницы в условиях СПЦ и ЗУК.

Основным источником сопротивления транспорту воды является корень и все факторы, увеличивающие потенциал корня, которые вызывают изменение интенсивности транспирации [13]. Установлено, что в условиях промышленного загрязнения СПЦ отмечается снижение корненонасыщенности почвы поглощающими корнями лиственницы Сукачева по сравнению с контролем (рис.).

Как показали наши исследования (см. рис.), в условиях промышленного загрязнения СПЦ отмечается снижение корненонасыщенности почвы поглощающими корнями в слое почвы 0–20 см почти в 2–3 раза по сравнению с контролем. На рисунке показано, что в зоне условного контроля выражено поверхностное распространение всасывающих корней. Результаты количественного учета поглощающих корней лиственницы Сукачева по-

казали, что основная их масса сосредоточена в верхнем слое почвы (0–30 см).

Следовательно, одной из причин увеличения утреннего, полуденного и послеполуденного водного дефицита у лиственницы Сукачева в условиях СПЦ может являться снижение корненонасыщенности почвы поглощающими корнями.

В условиях промышленного загрязнения водный дефицит может вызвать и ухудшение относительного жизненного состояния (ОЖС) деревьев. Для деревьев в относительно хорошем состоянии утренний водный дефицит составил 7–10%, а полуденный 11–14,7%. При исследовании ОЖС насаждения лиственницы Сукачева оценивалась густота кроны, наличие на стволе мертвых сучьев, степень повреждения хвои (хлорозы, некрозы). Жизненное состояние насаждения лиственницы в условиях загрязнения СПЦ оценено как «ослабленное», а в ЗУК как «здоровое» (табл. 2).

Средние значения утреннего, полуденного и вечернего водного дефицита у листвен-



Относительное жизненное состояние насаждений лиственницы Сукачева в санитарно-защитной зоне СПЦ и в зоне условного контроля

Местоположение / Год посадки насаждений	Средние показатели			Соотношения деревьев в насаждениях, %				Жизненное состояние древостоя	
	всего п/п	диаметр, см	высота, м	здоровые	ослабленные	сильно ослабленные	сухие	%	категория
СПЦ, 1963 г.	30	20	26	3	25	2	0	71.0	ослабленное
ЗУК, 1963 г.	30	24	28	22	6	1	1	88.8	здоровое

ницы в условиях СПЦ изменились в пределах 5–10%, по сравнению с ЗУК. Полученные нами результаты согласуются с данными Т.А. Сазоновой и др. (2007) [14]. Следствием увеличения значений водного дефицита у древесных растений в условиях промышленного загрязнения является ухудшение жизненного состояния дерева.

В течение двух лет нами проводились исследования различных показателей водного дефицита лиственницы Сукачева в условиях загрязнения СПЦ и ЗУК. Несколько иная картина наблюдается в значениях водного дефицита древесных растений в 2013 г. в условиях СПЦ и в ЗУК. За летние месяцы средние данные, представленные в табл. 1, показывают, что растения в условиях промышленного загрязнения СПЦ и в ЗУК в 2013 г. испытывают значительно меньший водный дефицит по сравнению с 2012 г. В 2013 г. июнь был засушливым, а конец июля и весь август были довольно влажными. В период выпадения осадков в июле и августе относительная влажность воздуха в полуденные часы повышается до 68%, а температура падает до 16–22°C.

Утренний и вечерний водный дефицит хвои лиственницы Сукачева сравнительно низкие (см. табл. 1). Максимальные значения отмечаются в июле (19%) в полуденные часы. Водный дефицит в условиях СПЦ у лиственницы в июне, июле в полуденные часы на 6–8% выше, чем в ЗУК. В августе в условиях СПЦ и в ЗУК водный дефицит у лиственни-

цы намного ниже, чем в июне и июле. Причиной уменьшения водного дефицита деревьев в августе были изменения погодных условий в дневное время.

Так, влажная погода в течение августа не привела к значительным колебаниям водного дефицита деревьев. Следует отметить, что во влажные августовские дни, характеризующиеся небольшим водным дефицитом и его слабыми колебаниями, величина водного дефицита мало зависела от категории состояния дерева. Как правило, в условиях СПЦ водный дефицит у деревьев лиственницы Сукачева растет от 1.8 до 2.2%, по сравнению с ЗУК.

Из проведенных исследований следует, что в подавляющем большинстве случаев величина водного дефицита по ряду лет в условиях загрязнения СПЦ на 8–10% превышала данный показатель у контрольных растений. Средние данные летних месяцев за 2012–2013 гг., представленные в таблицах, показывают, что лиственница Сукачева в условиях СПЦ испытывает значительно больший водный дефицит, чем в ЗУК.

Значение водного дефицита хвои лиственницы Сукачева в условиях СПЦ в среднем за период исследований в 2012 г. превышает значение водного дефицита в условиях ЗУК в 1.5–2 раза, а в июне и начале июля 2013 г. – на 1.6–2.1%, а в конце июля и в августе – в 1.7 раз.

Таким образом, следует отметить, что причиной изменений водного дефицита хвои лиственницы Сукачева являются изменения

погодных условий в дневное время. Так, сухая жаркая погода в 2012 г., высокая температура воздуха и минимальное количество осадков сформировали значительный водный дефицит. В условиях СПЦ увеличение водного дефицита древесных растений также зависит от влажности почвы. Подобный эффект проявляется также и при уменьшении доли поглощающих корней лиственницы Сукачева в условиях на глубине 0–30 см.

Совокупный анализ характеристик водного режима, состояния корневых систем и относительного жизненного состояния деревьев лиственницы Сукачева говорит о взаимной обусловленности этих параметров, что в целом обеспечивает успешное произрастание деревьев в условиях загрязнения окружающей среды.

#### Литература

1. Слейчер Р. Водный режим растений. М.: Мир, 1970. 326 с.
2. Кайбияйнен Л.К., Сазонова Т.А. Динамика водного обмена сосны // Эколого-физические исследования фотосинтеза и водного режима растений в полевых условиях. Иркутск, 1983. С. 110–124.
3. Вербицкая О.А. Водный обмен древесных растений в условиях хронического действия органических ксенобиотиков // Питання біоіндикації та екології. Запоріжжя: ЗНУ. 2011. Вып. 16, № 1. С. 93–102.
4. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.
5. Ярмишко В.Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на европейском Севере. СПб.: СПбГУ, 1997. 210 с.
6. Баталов А.А., Мартянов Н.А., Горюхин О.Б. Сосна и лиственница в системе промышленного фильтра // Вопросы ограничения циркуляции загрязняющих веществ в объектах окружающей среды: тезисы докладов. Уфа, 1984. С. 25–26.
7. Кулагин А.Ю., Гиниятуллин Р.Х., Уразгильдин Р.В. Средостабилизирующая роль лесных насаждений в условиях Стерлитамакского промышленного центра. Уфа: Гилем, 2010. 108 с.
8. Кулагин А.Ю. Ивы. Техногенез и проблемы оптимизации нарушенных ландшафтов. Уфа: Гилем, 1998. 193 с.
9. Пахомова Г.И., Безуглов В.К. Водный режим растений. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1980. 249 с.
10. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / под ред. В.А. Алексеева. Л.: Наука, 1990. 249 с.
11. Красильников П.К. Методика полевого изучения подземных частей растений (с учетом специфики ресурсоведческих исследований). Л.: Наука, 1983. 208 с.
12. Рахтеенко И.Н., Якушев Б.И. Комплексный метод исследования продуктивности корневых систем и организмов ризосферы: международный симпозиум. Л.: Наука, 1968. С. 174–178.
13. Крамер П.Д., Козловский Т.Г. Физиология древесных растений. М.: Лесная промышленность, 1983. 462 с.
14. Сазонова Т.А., Колосова С.В., Исаева Л.Г. Водный режим PINUS SYLVESTRIS и PICEA OBOVATA (PINACEAE) в условиях промышленного загрязнения // Ботанический журнал. 2007. Т. 92, № 5. С. 740–750.

#### References

1. Schleicher R. Water regime of plants. Russian edition: Vodnyy rezhim rasteniy. Moscow, Mir, 1970. 326 p.
2. Kaybiyaynen L.K., Sazonova T.A. Dinamika vodnogo obmena sosny [Dynamics of water exchange in pine]. Ekologo-fizicheskie issledovaniya fotosinteza i vodnogo rezhima rasteniy v polevykh usloviyakh [Plant eco-physical investigations under field conditions]. Irkutsk, 1983, pp.110–124. (In Russian).
3. Verbitskaya O.A. Vodnyy obmen drevesnykh rasteniy v usloviyakh khronicheskogo deystviya organicheskikh ksenobiotikov [Water metabolism of woody plants in the conditions of organic xenobiotics chronic effect]. Voprosy bioindikatsii i ekologii [Problems of bioindication and ecology]. Zaporozhie, Zaporozhie National University, 2011, issue 16, no. 1, pp. 93–1102. (In Russian).
4. Alekseev V.A. Diagnostika zhiznennogo sostoyaniya derevyev i drevostoev [Vital condition diagnostics of trees and tree stands]. Lesovedenie – Forest Science, 1989, no. 4, pp. 51–157. (In Russian).
5. Yarmishko V.T. Sosna obyknovennaya i atmosfernoe zagryaznenie na evropeyskom Severe [Pinus sylvestris and air pollution in Northern Europe]. St. Petersburg, 1997. 210 p. (In Russian).
6. Batalov A.A., Martyanov N.A., Goryukhin O.B. Sosna i listvennitsa v sisteme promyshlennogo filtra [Pine and larch in the industrial filtration system]. Voprosy ogranicheniya tsirkulyatsii zagryaznyayushchikh veshchestv v obektakh okruzhayushchey sredy [Issues on limiting the circulation of pollutants within environmental compartments]. Abstracts. Ufa, 1984, pp. 25–126. (In Russian).
7. Kulagin A.Yu., Giniyatullin R.Kh., Urazgildin R.V. Sredostabiliziruyushchaya rol lesnykh nasazhdeniy v

usloviyakh Sterlitamaskogo promyshlennogo tsentra [Environmental stabilization function of forest stands under conditions of the Sterlitamak industrial center]. Ufa, Gilem, 2010. 108 p. (In Russian).

8. Kulagin A.Yu. Ivy: Tekhnogenez i problemy optimizatsii narushennykh landshaftov [Technogenesis and optimization problems of disturbed landscapes]. Ufa, Gilem, 1998. 193 p. (In Russian).

9. Platonova G.I., Bezuglov V.K. Vodnyy rezhim rasteniy [Water regime of plants]. Kazan, Kazan University Publ., 1980. 249 p. (In Russian).

10. Alekseev V.A., ed. Lesnye ekosystemy i atmosfernoe zagryaznenie [Forest ecosystems and air pollution]. Leningrad, Nauka, 1990. 249 p. (In Russian).

11. Krasilnikov P.K. Metodika polevogo izucheniya podzemnykh chastey rasteniy (s uchetom spetsifiki resursovedcheskikh issledovaniy) [Field methods for studying underground plant parts (with an account for specificity of resources research)]. Leningrad, Nauka, 1983. 208 p. (In Russian).

12. Rakhtenko I.N., Yakushev B.I. Kompleksnyy metod issledovaniya produktivnosti kornevykh sistem i organizmov rizosfery [Integrated method for studying the productivity of root systems and rhizosphere organisms]. Proceedings of International Symposium. Leningrad, Nauka. 1968, pp. 174–1178. (In Russian).

13. Kramer P.D., Kozlovskiy T.G. Fiziologiya drevesnykh rasteniy [Physiology of woody plants]. Moscow, Lesnaya promyshlennost. 1983. 462 p. (In Russian).

14. Sazonova T.A., Kolosova S.V., Isaeva L.G. Vodnyy rezhim *Pinus sylvestris* i *Picea obovata* (*Pinaceae*) v usloviyakh promyshlennogo zagryazneniya [Water regime of *Pinus sylvestris* and *Picea obovata* (*Pinaceae*) under industrial pollution]. Botanicheskiy zhurnal – Botanical Journal, 2007, vol. 92, no. 5, pp. 740–1750. (In Russian).

---

## WATER DEFICIENCY IN LARCH (*Larix Sukaczewii* Dyl.) UNDER INDUSTRIAL POLLUTION

© R.Kh. Giniatullin

Institute of Biology, Ufa Scientific Centre, RAS,  
69, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia

The article presents materials on larch (*Larix Sukaczewii* Dyl.) water deficiency under polymetallic pollution in the Sterlitamak industrial centre. The purpose of this work is to determine the water content in larch needles in morning and afternoon hours, to assess relative vital condition of woody plants under pollution of the Sterlitamak industrial centre and within the control zone and to investigate root systems of woody plants. The subjects of investigation were larch stands located at different distances from industrial enterprises of Sterlitamak. As a result, it was revealed that under conditions of the Sterlitamak industrial centre and within the control zone larch trees showed higher water consumption at noon as air temperature increases and relative humidity reduces, with water deficiency reaching its maximum between 13 p.m. and 15 p.m. Our research demonstrates that in June, July and August water deficiency in the trees under conditions of the Sterlitamak industrial centre exceeded this indicator in the control trees by 5 to 10 percent. Vital conditions of the larch stands near the Sterlitamak industrial centre is assessed as «weakened» and those within the control zone as «healthy». The reason for the increase in water deficiency values observed in the larches under industrial pollution is the deterioration of their growing conditions. Based on the results of our investigation, it was established that a marked shift in water deficiency values can be seen under pollution of the Sterlitamak industrial centre associated with deterioration of growing conditions and a decrease in the share of absorbing roots of *Larix Szukaczewii* Dyl.

Key words: larch, water deficiency, growing condition category, absorbing roots, Sterlitamak industrial centre.

**ПЛОТНОСТЬ И РАЗМЕРЫ ИНТРОДУКЦИОННЫХ ПОПУЛЯЦИЙ КЛЕНОВ**

© Н.А. Рязанова, В.П. Путенихин

В Ботаническом саду г. Уфы (Башкирское Предуралье) массовым и средним уровнем возобновления характеризуются следующие интродуцированные виды клена: *Acer negundo* L., *A. campestre* L. и *A. tataricum* L., а также местный *A. platanoides* L. Самосев и подрост североамериканского *A. negundo* встречается на всей территории ботанического сада (размер популяционного поля не менее 18.3 га). Численность интродукционной популяции на лесопокрытой площади (в дендрарии ботанического сада) составляет 14.2 тыс. шт. на га. Плотность популяции при пересчете на общую площадь ботанического сада, отражающая потенциальную численность самосева и подростка в городских парковых и лесопарковых зонах, составляет 1.1 тыс. шт. на га. Вид имеет ярко выраженный контагиозный (групповой) тип размещения особей. Европейский *A. campestre* формирует интродукционную популяцию небольшого размера (0.32 га, максимальная длина популяционного поля 90 м, ширина – 58 м) с относительно невысокой плотностью населения (2.9 тыс. шт. на га; в наиболее плотной части популяции – вблизи маточников – 14.1 тыс. шт. на га). Контагиозный тип размещения особей выражен меньше, чем у *A. negundo*. Скопления самосева и подростка приурочены к микроучасткам под пологом леса с лучшими условиями освещения и увлажнения. Интродукционная популяция восточно-европейского *A. tataricum* имеет несколько большие размеры, чем у *A. campestre* (1.74 га, максимальная длина популяционного поля 324 м, ширина – 119 м). Плотность популяции меньше и составляет 1.7 тыс. шт. на га. Растения возобновления в популяции размещены случайно. Незначительные размеры и невысокая численность популяций *A. campestre* и *A. tataricum* свидетельствуют об отсутствии опасности образования интродукционных популяций инвазивного типа в условиях Башкирского Предуралья. Таким образом, интродукционные популяции трех видов клена в районе исследований различаются по своей площади, плотности и характеру размещения особей.

Ключевые слова: клен, интродукционная популяция, популяционное поле, Башкирское Предуралье.

Во многих интродукционных пунктах среди наиболее активно возобновляющихся самосевом кленов фигурируют *A. negundo* L., *A. platanoides* L., *A. ginnala* Maxim., *A. campestre* L. и *A. tataricum* L., что свидетельствует о возможности формирования этими видами интродукционных популяций [по: 1–3]. Из перечисленных видов в Уфимском ботаническом саду массовым и средним уровнем возобновления характеризуются *A. negundo*, *A. campestre* и *A. tataricum*, а также местный *A. platanoides* [2, 3].

Важными показателями интродукционных (и иных) популяций являются размер по-

пуляционного поля, плотность популяции и характер пространственного размещения особей [4, 5]. В настоящей работе нами была поставлена задача оценить указанные популяционные характеристики трех интродуцированных видов клена на территории Уфимского ботанического сада, территориально расположенного в центральной части Башкирского Предуралья.

Популяционное поле видов определяли как площадь многоугольника, вычерченного по наиболее удаленным от маточных экземпляров растениям возобновления, плотность популяции – как число растений на единицу

РЯЗАНОВА Надежда Александровна – к.б.н., Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН, e-mail: nad-ryazanova@ya.ru

ПУТЕНИХИН Валерий Петрович – д.б.н., Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН, e-mail: vpp99@mail.ru

Характеристики интродукционных популяций трех видов клена в Уфимском ботаническом саду

Вид	Размер популяционного поля, га	Плотность в пересчете на размер популяционного поля	Коэффициент дисперсии***
<i>A. negundo</i>	18.36*	14156 шт./га, или 1.42 шт./кв. м 1142 шт./га, или 0.11 шт./кв. м**	18.4 > 1
<i>A. campestre</i>	0.32	2851 шт./га, или 0.28 шт./кв. м	8.7 > 1
<i>A. tataricum</i>	1.74	1725 шт./га, или 0.17 шт./кв. м	2.3 ≈ 1

*Примечания.* \* 18.36 га – площадь ботанического сада, за которую условно принята площадь интродукционной популяции (популяционного поля) *A. negundo*, принимая ее за «лесопокрытую»; \*\* плотность популяции в пересчете на площадь ботанического сада реальной инфраструктуры; \*\*\* характер размещения растений возобновления в популяционном поле интродукционных популяций: коэффициенты дисперсии 18.4 ( $F$ -критерий =  $75.6 > F_{\text{табл.}} = 1.1$ ) и 8.7 ( $F = 19.3 > F_{\text{табл.}} = 2.34$ ) достоверно отличаются от 1; коэффициент дисперсии 2.3 ( $F = 2.49 < F_{\text{табл.}} = 2.74$ ) статистически не отличается от 1 [9].

площади, характер размещения растений оценивали посредством коэффициента дисперсии (отношение дисперсии к среднему количеству семян) [4–7]. Для определения плотности популяций на территории дендрария, где сосредоточено основное количество самосева и подроста, закладывали пробные площадки размером 2×2 м и трансекты (4 трансекты 1×47–53 м, 1 трансекта – 1×260 м) [2, 3, 8]; за территорией дендрария проводили сплошной пересчет растений [1].

Поскольку самосев и подрост *A. negundo* встречается на всей территории ботанического сада, размер популяционного поля условно соотнесли с общей площадью ботанического сада, равной 18.36 га (табл.). *A. campestre* по сравнению с *A. negundo* имеет ограниченное популяционное поле (см. табл.): размер его по крайним экземплярам составляет 0.32 га при максимальной длине многоугольника в 90 м и ширине в 58 м. У *A. tataricum* площадь популяционного поля составила 1.74 га, максимальная длина и ширина его соответственно – 324 и 119 м.

Плотность особей *A. negundo* в пересчете на все популяционное поле, считая его «лесопокрытой площадью» (сопоставимой по лесорастительным условиям с дендрарием), составила 14.2 тыс. шт. на га, или 1.42 шт. на кв. м (см. табл.). То есть уровень возобновления вида, определенный нами в дендрарии и экстраполированный на все популяционное поле, представляет собой возможную (при-

чем не самую высокую) густоту самосева и подроста на лесных территориях (в первую очередь в пригородных лесных насаждениях). Если же пересчитать общее число растений возобновления на площадь ботанического сада с реальной инфраструктурой (наличие дорожек, открытых пространств, застроенной части), то плотность популяции составит 1.1 тыс. шт. на га, или 0.11 шт. на кв. м (см. табл.). Эта величина приблизительно характеризует потенциальную численность самосева и подроста в городских условиях в парковых и лесопарковых зонах, сопоставимых по инфраструктуре с территорией ботанического сада.

Способность *A. negundo* к активному и неконтролируемому расселению отмечают большое количество авторов [10–16]. Ранее для территории Башкирского Предуралья и Зауралья приводились показатели численности самосева *A. negundo* под пологом искусственных насаждений (лесополос, лесных культур) и на открытых местах (4–101 шт. на кв. м) [17–19], которые значительно превышают установленные нами значения для условий Уфы. Это лишний раз подтверждает высокую инвазивность данного вида, которая в лесных агроландшафтах может достигать еще большей степени по сравнению с урбанизированной средой.

Следующий вид-интродуцент – *A. campestre* – имеет плотность популяции (с добавлением 155 шт. на га за пределами ден-

дрария) в пересчете на площадь популяционного поля – 2.9 тыс. шт. на га, или 0.28 шт. на кв. м (см. табл.). Итак, если в наиболее плотной части популяции (вблизи маточников) данный вид может достигать густоты 14.1 тыс. шт. на га, то с учетом наиболее дальнего распространения семян (сеянцев) плотность популяции резко снижается.

У *A. tataricum* плотность популяции (при определении плотности дополнительно к территории дендрария учтены 29 шт. растений на га) равняется 1.7 тыс.шт. на га, или 0.17 шт. на кв. м (см. табл.). Таким образом, по сравнению с *A. campestre* интродукционные популяции *A. tataricum* могут иметь несколько большие размеры (см. выше), однако плотность их меньше.

Размещение особей в интродукционной популяции инвазивного *A. negundo* характеризуется как групповое (контагиозное) (см. табл.): высокий коэффициент дисперсии показывает, что данный тип размещения выражен очень ярко. Аналогичный характер расположения особей выявлен также у *A. platanoides* как в дендрарии, так и на участке кленовника [1].

У *A. campestre* тип размещения особей также контагиозный, но выражен он меньше, чем у *A. negundo*. Следовательно, *A. campestre* в условиях Башкирского Предуралья способен формировать интродукционные популяции небольшого размера с относительно невысокой плотностью популяционного населения, причем особи в популяциях образуют (также как у *A. negundo*, см. выше) скопления того или иного размера. Эти скопления могут быть, например, приурочены к микроучасткам под пологом леса с лучшими условиями освещения («окнам») и увлажнения, как это отмечается, в частности, в естественных насаждениях *A. platanoides* [20]. У *A. tataricum* размещение самосева, в отличие от двух предыдущих видов, случайное, что, очевидно, объясняется малой густотой особей.

Таким образом, клены *A. negundo*, *A. campestre* и *A. tataricum* формируют интродукционные популяции, различающиеся своей площадью, плотностью и характером

размещения особей. Размеры популяционного поля и плотность популяций двух последних видов намного уступают первому. *A. negundo* и *A. campestre* образуют популяции с контагиозным размещением особей, *A. tataricum* – со случайным. Незначительные размеры и невысокая численность популяций *A. campestre* и *A. tataricum* свидетельствуют о том, что эти виды клена не представляют опасности в плане образования интродукционных популяций инвазивного типа в условиях г. Уфы (Башкирское Предуралье).

### Литература

1. Рязанова Н.А., Путенихин В.П. Клены в Башкирском Предуралье: биологические особенности в условиях интродукции. Уфа: Гилем, 2012. 224 с.
2. Рязанова Н.А., Путенихин В.П. Структура семенного самовозобновления кленов в интродукционных популяциях // Известия Уфимского научного центра РАН. 2013. № 2. С. 73–76.
3. Рязанова Н.А., Путенихин В.П. Характеристика интродукционных популяций кленов в ювенильном возрастном состоянии // Известия Уфимского научного центра РАН. 2013. № 4. С. 29–34.
4. Заугольнова Л.Б., Жукова А.А., Комарова А.С., Смирнова О.В. Ценопопуляции растений (очерки популяционной биологии). М.: Наука, 1988. 183 с.
5. Злобин Ю.А. Принципы и методы изучения ценологических популяций растений. Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 1989. 146 с.
6. Одум Ю. Экология. М.: Мир, 1986. Т. 2. 376 с.
7. Андреева Е.Н., Баккал И.Ю., Горшков В.В., Лянгузова И.В., Мазная Е.А., Нешатаев В.Ю., Нешатаева В.Ю., Ставрова Н.И., Ярмишко В.Т., Ярмишко М.А. Методы изучения лесных сообществ. СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с.
8. Аношин Р.М. Практикум по дендрологии и лесоводству. М.: Лесн. пром-ть, 1976. 184 с.
9. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984.
10. Золотухин А.И., Сулига Е.М. Сорные древесные растения // Вопросы экологии и охраны природы в лесостепной и лесной зонах. Самара, 1999. С. 192–197.
11. Абрамова Л.М. Синантропизация растительности: закономерности и возможности управления процессом (на примере Республики Башкортостан): автореф. дис. .... д-ра биол. наук. Пермь, 2004. 45 с.
12. Письмаркина Е.В. Флора городов Республики Мордовия: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Саранск, 2006. 23 с.

13. Виноградова Ю.К. Формирование вторичного ареала и изменчивость инвазионных популяций клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) // Бюл. Гл. бот. сада. 2006. Вып. 190. С. 25–47.

14. Розно С.А. Эколого-биологический анализ итогов интродукции древесных растений в лесостепи Среднего Поволжья: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Самара, 2005. 20 с.

15. Розно С.А., Кавеленова Л.М. Итоги интродукции древесных растений в лесостепи Среднего Поволжья. Самара: Изд-во "Самарский университет", 2007. 228 с.

16. Путенихин В.П. Дендрология с основами декоративного садоводства. Ч. 2. Уфа: РИЦ БашГУ, 2007. 242 с.

17. Федорако Б.И. Интродукция и акклиматизация древесных пород в лесостепных районах Западного Предуралья // Интродукция и селекция растений на Урале. IV. Проблемы акклиматизации: тр. Ин-та экол. раст. и животных УФ АН СССР. Вып. 54. Свердловск, 1967. С. 229–237.

18. Федорако Б.И. Семенное размножение дикорастущих и интродуцированных древесных пород в зависимости от экологических условий // Вопросы биологии семенного размножения: учен. зап. Ульяновск. пед. ин-та. Т. XXIII, вып. 3. Ульяновск, 1968. С. 206–212.

19. Янбаев Р.Ю. О ходе естественного возобновления клена ясенелистного // Аграрная Россия. 2009. Спец. вып. С. 51–52.

20. Кем Н.И. К экологии самосева клена остролистного на Уфимском плато // Комплексное ведение лесного хозяйства Башкирии: тез. докл. науч.-практ. конф. Уфа, 1975. С. 50–52.

## References

1. Ryazanova N.A., Putenikhin V.P. Kleny v Bashkirskom Preduralye: biologicheskie osobennosti v usloviyakh introduktsii [Maples in the Bashkir Cis-Urals: Biological features under conditions of introduction]. Ufa, Gilem, 2012. 224 p. (In Russian).

2. Ryazanova N.A., Putenikhin V.P. Struktura semennogo samovosobnovleniya klenov v introduktsionnykh populyatsiyakh [Maple seed self-regeneration in introduced populations]. Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN – Bulletin of the Ufa Scientific Centre of RAS, 2013, no. 2, pp. 73–76. (In Russian).

3. Ryazanova N.A., Putenikhin V.P. Kharakteristika introduktsionnykh populyatsiy klenov v yuvenilnom vozrastnom sostoyanii [Characteristics of introduced maple populations at juvenile age]. Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN – Bulletin of the Ufa Scientific Centre of RAS, 2013, no. 4, pp. 29–34. (In Russian).

4. Zaugolnova L.B., Zhukova A.A., Komarova A.S., Smirnova O.V. Tsenopopulyatsii rasteniy (oчерki populyatsionnoy biologii) [Plant cenotic populations (essays on population biology)]. Moscow, Nauka, 1988. 183 p. (In Russian).

5. Zlobin Yu.A. Printsipy i metody izucheniya tsenoticheskikh populatsiy rasteniy [Principles and methods for studying plant cenotic populations]. Kazan, Kazan University Publ., 1989. 146 p. (In Russian).

6. Odum E. Ecology. Russian edition: Ekologiya. Vol.2. Moscow, Mir, 1986. 376 p.

7. Andreeva E.N., Bakal I.Yu., Gorshkov V.V., Lyanguzova I.V., Maznaya E.A., Neshataev V.Yu., Neshataeva V.Yu., Stavrova N.I., Yarmishko V.T., Yarmishko M.A. Metody izucheniya lesnykh soobshchestv [Methods of studying forest communities]. St. Petersburg, 2002. 240 p. (In Russian).

8. Anoshin R.M. Praktikum po dendrologii i lesovodstvu [Dendrology and forestry practical studies]. Moscow, Lesnaya promyshlennost, 1976. 184 p. (In Russian).

9. Zaytsev G.N. Matematicheskaya statistika v eksperimentalnoy botanike [Mathematical statistics in experimental botany]. Moscow, Nauka, 1984. (In Russian).

10. Zolotukhim A.I., Suliga E.M. Sornye drevesnye rasteniya [Woody weeds]. Voprosy ekologii i okhrany prirody v lesostepnoy i stepnoy zonakh [Problems of ecology and environmental protection in forest-steppe and steppe zones]. Samara, 1999, pp. 192–197. (In Russian).

11. Abramova L.M. Sinantropizatsiya rastitelnosti: zakonomernosti i vozmozhnosti upravleniya protsessom (na primere Respubliki Bashkortostan) [Synantropization of vegetation: Regularities and possibilities for process management (with the Republic of Bashkortostan as an example). Dr. sci. thesis in Biology]. Perm, 2004. 45 p. (In Russian).

12. Pismarkina E.V. Flora gorodov Respubliki Mordoviya [Urban flora of the Republic of Mordovia]. Ph.D. thesis in Biology]. Saransk, 2006. 23 p. (In Russian).

13. Vinogradova Yu.K. Formirovanie vtorichnogo areala i izmenchivost invazionnykh populyatsiy klena yasenelistnogo (*Acer negundo* L.) [Formation of the secondary area and variation among invasive populations of the box elder (*Acer negundo* L.)]. Byulleten Glavnogo botanicheskogo sada – Bulletin of the Main Botanical Garden, 2006, issue 190, pp. 25–47. (In Russian).

14. Rozno S.A. Ekologo-biologicheskiy analiz itogov introduktsii drevesnykh rasteniy v lesostepi Srednego Povolzhya [Environmental and biological analysis of the results of woody plant introduction in the forest-steppe zone of the Central Volga Region. Ph.D. thesis in Biology]. Samara, 2005. 20 p. (In Russian).

15. Rozno S.A., Kavelenova L.M. Itogi introduktsii drevesnykh rasteniy v lesostepi Srednego Povolzhya [Results of woody plant introduction in the forest-steppe zone of the Central Volga Region]. Samara, Samara University Publ., 2007. 228 p. (In Russian).

16. Putenikhin V.P. Dendrologiya s osnovami dekorativnogo sadovodstva [Dendrology with the basics of landscape gardening]. Part 2. Ufa, Bashkir University Publ., 2007. 242 p. (In Russian).

17. Fedorako B.I. Introduktsiya i akklimatizatsiya drevesnykh porod v lesostepnykh rayonakh Zapadnogo Preduralya [Woody plant introduction and acclimatization in the forest-steppe zones of the western Cis-Urals]. Introduktsiya i selektsiya rasteniy na Urale [Plant introduction and acclimatization in the Urals]. IV. Problemy akklimatizatsii: Trudy Instituta ekologii rasteniy i zhivotnykh, UF AN SSSR [Problems of acclimatization: Transactions of the Institute of Plant and Animal Ecology, Uralian Branch, Academy of Sciences of the USSR]. Issue 54. Sverdlovsk, 1967, pp. 229–237. (In Russian).

18. Fedorako B.I. Semennoe razmnzhenie dikorastushchikh i introdutsirovannykh drevesnykh

porod v zavisimosti ot ekologicheskikh usloviy [Seed regeneration of native and introduced woody plants depending on environmental conditions]. Voprosy biologii semennogo razmnzheniya: Uchenye zapiski Ulyanovskogo ped. instituta [Biological problems of seed regeneration: Bulletin of the Ulyanovsk Pedagogical Institute]. Vol. 23, issue 3. Ulyanovsk, 1968, pp. 206–212. (In Russian).

19. Yanbaev R.Yu. O khode estestvennogo vobnovleniya klena yasenelistnogo [On the progress in natural reproduction of the box elder]. Agrarnaya Rossiya – Agrarian Russia, 2009, Special Issue, pp. 51–52. (In Russian).

20. Kem N.I. K ekologii samoseva klena ostrolistnogo na Ufimskom plato [Box elder self-seeding on the Ufa Plain]. Kompleksnoe vedenie lesnogo khozyaystva Bashkirii: Tezisy dokladov nauchno-prakticheskoy konferentsii [Forestry integral management in Bashkiria: Proceedings of the Scientific and Research Conference]. Ufa, 1975, pp. 50–52. (In Russian).

## DENSITY AND SIZES OF MAPLE INTRODUCED POPULATIONS

© N.A. Ryazanova, V.P. Putenikhin

Botanical Garden-Institute, Ufa Scientific Centre, RAS,  
195, korp. 3, ulitsa Mendeleeva, 450080, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia

In the Ufa Botanical Garden (Bashkir Cis-Urals), the following introduced maple species are characterized by mass and medium level of regeneration by seeds. These are *Acer negundo* L., *A. campestre* L., *A. tataricum* L. and *A. platanoides*. Self-seeding plants and regrowth of North-American *A. negundo* take place all over the territory of the Botanical Garden (the population area is no less than 18.3 ha). The introduced population in the forest-covered area (Arboretum of the Botanical Garden) consists of 14.200 trees per ha. On recalculating for the total area of the Botanical Garden, the population density reflecting the potential quantity of self-seeding plants and regrowth in the urban parks and forests consists of 1.100 trees per ha. The species has a clearly defined contagious (group) type of its spatial distribution. European *A. campestre* forms a small-size introduced population (0.32 ha, maximum length of the population area is 90 m and width is 58 m) with relatively low density (2.900 trees per ha, and 14.100 trees per ha in the densest part of the population near mother plantations). The contagious type of their distribution is expressed somewhat less than in *A. negundo*. Accumulations of the self-seeding plants and regrowth are confined to very small plots under the forest cover with better lighting and moisture conditions. The introduced population of East-European *A. tataricum* is larger in size as compared to *A. campestre* (1.74 ha, maximum length of the population area is 324 m and width is 119 m). The population density is lower and consists of 1.700 trees per ha. New plants have a random distribution within the population area. Modest sizes and low distribution of *A. campestre* and *A. tataricum* give evidence to the absence of danger concerning the formation of their invasive populations under conditions of the Bashkir Cis-Urals. Thus, the introduced populations of three maple species in the region under investigation differ from each other by their area, density and type of distribution.

Key words: maple, introduced population, population area, Bashkir Cis-Urals.



## УСПЕХИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СЕЛЕКЦИОНЕРОВ-ПИОНОВОДОВ

© Л.Н. Миронова, А.А. Реут

Освещается краткая история появления и культивирования пионов в России и странах ближнего зарубежья (Украина, Литва, Киргизия, Казахстан и др.), рассказывается о сложном пути развития интродукционных и селекционных исследований, сообщается о ведущих ученых и специалистах, приводятся важнейшие достижения отечественных селекционеров-пионоводов. Описываются основные этапы, направления, методы и результаты селекционной работы ученых Ботанического сада Ботанического института им. В.Л. Комарова (Санкт-Петербург), Ботанического сада Московского государственного университета, Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН (Москва), ГНУ НИИ садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко (Барнаул), Новосибирской зональной станции садоводства РАСХН, Ботанического сада-института Дальневосточного отделения РАН (Владивосток) и цветоводов-любителей (С.Д. Куполян, Т.И. Фомина, А.Г. Марков, Н.М. Виноградов, А.К. Колпаков, Н.Д. Ерохин, М.И. Акимов, А.А. Скакодуб, В.М. Дубров) при создании новых форм древовидных и травянистых пионов. Даются краткие итоги селекционной работы, перечисляются самые популярные сорта. Наиболее подробно представлена работа уфимских селекционеров за последние 60 лет. Описывается история создания фонда гибридных семян пиона, используемые специалистами методы свободного опыления и искусственной гибридизации (межвидовой и межсортовой), а также исходные родительские формы. Анализируется вклад ведущих селекционеров Ботанического сада-института Уфимского научного центра Российской академии наук в изучение процессов наследования хозяйственно-ценных признаков пиона, расширение фонда гибридных семян и создание новых высокодекоративных сортов с разными сроками цветения, устойчивых к неблагоприятным погодным условиям, болезням и вредителям. В конце статьи приводятся характеристики некоторых сортов пиона гибридного по высоте, диаметру и облиственности куста; окраске, форме, диаметру, аромату и устойчивости к выгоранию цветка; срокам и продолжительности цветения; зимостойкости, засухоустойчивости и жаровыносливости. Даются рекомендации по их использованию в зеленом строительстве городов и других населенных пунктов Республики Башкортостан и Российской Федерации.

Ключевые слова: пион гибридный, свободное опыление, искусственная гибридизация, история селекции.

В России пион всегда пользовался неизменной популярностью, и сейчас на территории РФ выращиваются более 1000 сортов. Известно, что до середины прошлого века селекционная работа с пионами в России не проводилась. Началась она только в послевоенное время, когда осуществился сбор коллекций лучших зарубежных сортов [1].

Отечественных сортов пиона очень мало. К началу XXI в. в регистре пионов их насчитывалось не более 200. С одной стороны, это объясняется биологическими особен-

ностями пионов (долгий период прорастания семян, цветение семян начинается только на 5–8 год жизни). С другой стороны, местные селекционеры недостаточно занимались выведением новых сортов этих замечательных растений [2].

Первые древовидные пионы были завезены в Россию в 1863 г. в петербургский ботанический сад, где в течение 80 лет их выращивали в горшечной культуре в холодных оранжереях и только в 1939 г. перенесли в открытый грунт [3]. Именно в это время

МИРОНОВА Людмила Николаевна – к.с.-х.н., Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН, e-mail: flowers-ufa@yandex.ru

РЕУТ Антонина Анатольевна – к.б.н., Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН, e-mail: cvetok.79@mail.ru

в парке Ботанического института им. В.Л. Комарова А.А. Князевым были начаты опыты по проращиванию семян пиона полукустарникового, собранных с маточных растений местной репродукции. После войны он получил первые сорта: Белые Ночи, Юность, Андрей Князев. Данные культивары отличались морозостойкостью, так что укрытие на зиму не требовалось.

В Ботаническом саду МГУ работа с древовидными пионами была начата в 1950–1952 гг. XX в. под руководством А.А. Сосновец и В.Ф. Фомичевой, в результате чего было получено несколько перспективных сеянцев. Основными методами селекционной работы с древовидными пионами были следующие: использование диких видов, несущих ген устойчивости к холоду; посев семян от свободно опыляемых интродуцированных растений для получения неоднородной культурной популяции. Слабые больные сеянцы первого поколения выбраковывали. Семена, полученные от жизнеспособных сеянцев, подвергали воздействию различных доз облучения и обрабатывали химическими мутагенами. Сеянцы второго поколения тщательно отбирали по нескольким параметрам: устойчивости к холоду, засухе, грибным заболеваниям, а также по декоративным качествам [4]. В настоящее время продолжает работу с пионами М.С. Успенская, создавшая ряд интересных сортов пиона древовидного с цветками различной формы (простые, полумахровые, махровые) и окраски (от чисто-белой до пурпурно-красной): Август, Ирина, Марианна, Стефан, Анастасия Сосновец, Петр Великий, Любовь и др. В результате за 45 лет ею было выделено 30 гибридов, которые занесены в Каталог сортов, допущенных к использованию в производстве в Российской Федерации (Баттерфляй, Бригантина, ЗБС 100, Владимир Маяковский, Дмитрий Капинос, Ломоносов и др.).

В Никитском ботаническом саду с 1958 г. также проводились работы по изучению сеянцев древовидных пионов, полученных от внутривидовых и межвидовых скрещиваний. Исходными формами служили пионы полу-

кустарниковый и желтый. Всего получено более 200 сеянцев. В результате были отобраны ценные сорта (Героям Аджимушкай, Ялтинская Весна, Лебединое Озеро) и формы, заслуживающие внимания садоводов [5].

Кроме селекционной работы с древовидными пионами, в нашей стране наиболее широко велись исследования с использованием травянистых пионов. Так, с 1949 г. в Главном ботаническом саду РАН Н.С. Красновой были начаты работы по отдаленной гибридизации травянистых пионов. Основными задачами данного селекционного процесса являлись: получение куста компактной формы с крепкими, прямостоячими стеблями и высокодекоративными качествами самого цветка, создание срезочных сортов с длиной цветоноса 35–40 см и получение пионов как ранних, так и поздних сроков цветения [6]. В дальнейшем эти работы продолжены Е.С. Голубинской. В результате были получены 33 сорта: Алеша Попович, Аркадий Гайдар, Памяти академика Цицина, Варенька, Вальс, Первенец, Снегурочка, Первый букет, Весенний, Мираж, Москвич, Памяти Гагарина и др.

В Ботаническом саду Московского университета с 1951 г. А.А. Сосновец и В.Ф. Фомичевой проводилась селекционная работа по выведению новых отечественных сортов с длительным периодом цветения и оригинальной окраской цветков, приспособленных к почвенно-климатическим условиям Москвы. В своей работе с пионами они использовали свободное опыление, межсортное и межвидовое скрещивание наиболее декоративных сортов и видов. Итогом работы стали 23 сорта А.А. Сосновец (Айсберг, Академик Курчатов, Арктика, Белый Парус, Богатырь, Вечерняя Москва, Весна, Золушка, Крейсер Аврора, Космос, Яблочкина и др.) и 6 сортов В.Ф. Фомичевой (Факел, Орленок, Памяти Космонавтов, Находка, Марсианин, Сольвейг) [7]. Продолжила селекционную работу с травянистым пионом в Ботаническом саду МГУ М.С. Успенская. Так, в 1996 г. статус сорта получил перспективный гибрид Иван Горожанкин, в 2006 г. – Зарница, Звездочка, Китайский Фонарик, Нежность, Ого-

нек, в 2008 г. – Александра, Михаил Ломоносов, Очарование Ольги.

В ГНУ НИИ садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко с 60-х гг. прошлого века селекцией пионов занималась З.И. Лучник. Ей удалось получить гибриды от скрещивания пиона молочнокветкового и пиона уклоняющегося. Таким образом, она вывела 3 сорта: Алтайский Ранний, Привет Алтая и Новость Алтая. Последний признан гордостью отечественной селекции [8]. В 2001 г. на базе данного института были получены еще 6 новых сортов пиона: Алтайская Зорька, Вдохновение, Верочка, Очарование, Памяти Влада, Утренний Рассвет.

На Новосибирской зональной станции садоводства РАСХН селекционная работа с пионом травянистым ведется с 1976 г. Она направлена на получение высокопродуктивных форм с ярким, чистым по тону цветком, хорошо раскрывающимся бутонем, неполегающим стеблем, раннего и позднего сроков цветения. Селекционерами Т.М. Назаровой и Г.А. Разумовой получен ряд интересных сортов: Белый Новосибирский, Красный Шар, Мечта, Глобус, Памяти Назаровой, Сиреневый Туман и др. [9].

В Ботаническом саду-институте Дальневосточного отделения РАН также уделяют большое внимание интродукции и селекции пионов. Начало коллекции травянистых пионов было положено старейшим сотрудником сада А.С. Прошиной. Получая многочисленные сорта из ботанических садов Советского Союза, она апробировала их в условиях муссонного климата. Дальнейшие исследования по интродукции травянистых пионов там же проводила Н.В. Македонская. С 1981 г. интродукцией и селекцией травянистых пионов занимается Л.Н. Миронова [10]. Ею получены сорта Шахтерский Огонек и Японские Мотивы.

В нашей стране по-прежнему популярны сорта оригинаторов из учреждений стран ближнего зарубежья. В Центральном республиканском ботаническом саду Украины была создана целая коллекция новых перспективных сортов селекционерами Е.Д. Харченко

(21 сорт – Антарктида, Буревестник, Парковый, Дар Победе, Казачок, Любимец Парков, Находка, Талисман и др.) и В.Ф. Горобец (10 сортов – Антей, Дукат, Офелия, Свиточ, Ясочка и др.). В Ботаническом саду Института ботаники АН Литвы селекционную работу с пионами вела О.И. Скейвене. Ею созданы такие сорта, как Виргилиус, Профессор К. Грибаускас, Дариус Геренас и др. В Ботаническом саду Киргизской Республики также получены высокодекоративные сорта – Рубин, Асель, Рассвет и др. [11].

Немало интересных сортов травянистых пионов было выведено пионоводами-любителями: С.Д. Куполяном (Галина Уланова, Победа), Т.И. Фоминой (Пена, Снежный Шар, Белоснежка, Жемчужина, Черноморская Чайка), А.Г. Марковым (Бабочки, Память о Георгии), Н.М. Виноградовым (Премьера), А.К. Колпаковым (МЭИ), Н.Д. Ерохиным и др. Большой вклад внес также талантливый селекционер М.И. Акимов. Он создал более 60 сортов (Амур, Бородино, Игрушка, Муза, Садко, Слава, Снежок, Лада, Лагуна, Россия, Надежда, Дядя Ваня, Валентина Терешкова и др.). В Казахстане пионовод-любитель А.А. Скакодуб создал более десятка интересных сортов (Адмирал, Сахалин, Светлана Седова, Алма-Ата и др.). К сожалению, они у нас практически неизвестны. С 1958 г. и по сей день над созданием сортов работает замечательный селекционер-любитель В.М. Дубров. Многие его сорта пользуются популярностью у цветоводов, отмечены в различных номинациях на московских выставках пионов (Курильские Острова, Светлана Удинцева, Мамино Сердечко, Акварель, Вечно Живые и др.) [12].

Необходимо отметить, что отечественные сорта ничем не уступают представителям зарубежной селекции: они более устойчивы к болезням и неблагоприятным погодным условиям, быстрее растут и развиваются.

В Башкирии с 1955 г. селекцией пионов занималась О.А. Кравченко. С использованием методов свободного опыления и искусственной гибридизации (межвидовой и межсортовой) ею создан большой гибридный

фонд (более 800 семян), из которых в 1965 г. республиканской экспертной комиссией было выделено 25 гибридов – кандидатов в новые сорта. В 1969 г. было отобрано еще 25 перспективных гибридных семян. В 1970, 1971 и 1972 гг. часть гибридов передана на государственное сортоиспытание [13].

О.А. Кравченко были изучены некоторые особенности наследования основных признаков дикорастущих и сортовых пионов. Выявлено, что наибольший интерес для дальнейшей селекционной работы представляет скрещивание лучших сортов пиона китайского или их гибридных семян первого поколения с дикорастущими видами [14]. В 1970 г., в связи с уходом О.А. Кравченко на пенсию, коллекция была передана Л.С. Новиковой. Ею была продолжена работа по пополнению и изучению гибридного фонда пионов, а также по размножению и передаче на госсортоиспытание семян – кандидатов в сорта.

В 1974 г. одиннадцать гибридных семян были представлены Государственной экспертной комиссии ВДНХ СССР, из которых четыре получили высокую оценку и переданы на госсортоиспытание. Сеянцам «Аппассионата» и «Юбилей Революции» был присвоен статус сорта. С 1986 г. они районированы по РСФСР. В 1988 г. еще пять гибридов пиона получили высокую первичную оценку на ВДНХ СССР и в 1992 г. переданы на государственное испытание. В результате в 1998 г. статус сорта был присвоен сеянцам «Южный Урал», «Утро Родины», «Надежда», «Ветеран» [15].

В 1999 г. селекционная работа по пионам (в том числе с гибридами, полученными О.А. Кравченко) была продолжена Л.Н. Мироновой и Л.А. Тухватуллиной, а с 2003 г. – А.А. Реут. Для пополнения фонда гибридных семян были собраны и высеяны в открытый грунт семена от свободного опыления 12 сортов: Адольф Руссо, Атросамгиомеа, Мэри Вудбери Шейлор, Розеа Элеганс, Карл Розенфилд, Мсье Жюль Эли, Феликс Кресс, Дюшесс де Немур, Фестива Максима, Нигриканс, Жанна д'Арк, Юбилей Революции, а также от принудительного опыления 8 сортов: Мэри Вудбери Шейлор, Франсуа Ортега,

Аппассионата, Аваланш, Жанна д'Арк, Феликс Кресс, Юбилей Революции, Мсье Жюль Эли. В результате было выращено традиционным методом (посев семян в открытый грунт) 507 семян от принудительного опыления и 586 – от свободного опыления [16]. В 2005–2007 гг. они достигли генеративной фазы развития. Из них по декоративным и хозяйственно-ценным признакам выделено 219 гибридов с крупными и средними по размеру цветками розовидной, корончатой, шаровидной, анемоновидной и японской формами; красной, розовой, кремовой и белой окраской, а также промежуточных тонов. Наиболее интересные семена были переданы для дальнейшего изучения в Государственную комиссию РФ по испытанию и охране селекционных достижений. В 2008 г. 17 из них получили статус сорта и были занесены в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Это сорта – Аврора, Аркаим, Иремель, Людмила Миронова, Мечта С.П. Королева, Мустай Карим, Ольга Кравченко, Песня Курая, Полярник-8, Рудольф Нуреев, Сабантуй, Сашенька, Торнадо, Урал-Батыр, Уфимец, Чак-Чак, Чингиз Хан. В 2011 г. еще 8 сортов были переданы на госсортоиспытание (Июнь, Утро Туманное, Башкирский, Сережа, Уралец, Огни Уфы, Розовая Дымка, Салават). В 2013 г. на них получены авторские свидетельства и патенты. Все новые сорта устойчивы к неблагоприятным погодным условиям, болезням и вредителям, зимостойки, засухоустойчивы и жаровыносливы. Рекомендуются для выращивания в средней полосе России [17]. Ниже приводятся характеристики некоторых сортов пиона гибридного селекции Ботанического сада-института УНЦ РАН.

**БАШКИРСКИЙ** (авторы: Кравченко О.А., Миронова Л.Н., Новикова Л.С., Реут А.А.; авторское свидетельство № 57142). Куст высотой 70 см, диаметром 70 см, прямостоячий, полураскидистый, со средней облиственностью. Цветоносы длиной 90 см, прямые, прочные, по 4 цветка на цветоносе. Цветки махровые, розовидной формы, диаметром 14 см, розовые. Аромат средний. Цве-

ток слабо выгорает. Цветение средне-позднего срока, продолжительностью 12 дней.

**ИЮНЬ** (авторы: Кравченко О.А., Миронова Л.Н., Новикова Л.С., Реут А.А.; а.с. № 57136). Куст высотой 45 см, диаметром 70 см, прямостоячий, полураскидистый, со средней облиственностью. Цветоносы длиной 60 см, прямые, слабые, по 2 цветка на цветоносе. Цветки махровые, полушаровидной формы, диаметром 16 см, белые. Рыльце белое. Аромат слабый. Цветок не выгорает. Цветение среднего срока, обильное, продолжительностью 13 дней.

**ОГНИ УФЫ** (авторы: Кравченко О.А., Миронова Л.Н., Новикова Л.С., Реут А.А.; а.с. № 57140). Куст высотой 60 см, диаметром 70 см, прямостоячий, сомкнутый, со слабой облиственностью. Цветоносы длиной 80 см, прямые, прочные, по 4 цветка на цветоносе. Цветки махровые, розовидные, диаметром 15 см, сиренево-розовые. Тычиночные нити желтые, рыльце розовое. Аромат средний. Цветок не выгорает. Цветение среднего срока, обильное, продолжительностью 12 дней.

**РОЗОВАЯ ДЫМКА** (авторы: Кравченко О.А., Миронова Л.Н., Новикова Л.С., Реут А.А.; а.с. № 57138). Куст высотой 50 см, диаметром 70 см, прямостоячий, полураскидистый, со слабой облиственностью. Цветоносы длиной 75 см, прямые, средней прочности, по 3 цветка на цветоносе. Цветки махровые, розовидные, диаметром 14 см, белые. Аромат сильный. Цветок не выгорает. Цветение средне-позднего срока, обильное, продолжительностью 13 дней.

**САЛАВАТ** (авторы: Кравченко О.А., Миронова Л.Н., Новикова Л.С., Реут А.А.; а.с. № 57130). Куст высотой 60 см, диаметром 65 см, прямостоячий, сомкнутый, со слабой облиственностью. Цветоносы длиной 80 см, прямые, очень прочные, по 3 цветка на цветоносе. Цветки махровые, бомбовидные, диаметром 13 см, бело-розовые. Аромат средний. Цветок не выгорает. Цветение среднего срока, обильное, продолжительностью 11 дней.

**СЕРЕЖА** (авторы: Кравченко О.А., Миронова Л.Н., Новикова Л.С., Реут А.А.; а.с.

№ 57134). Куст высотой 65 см, диаметром 70 см, прямостоячий, сомкнутый, со средней облиственностью. Цветоносы длиной 75 см, прямые, прочные, по 3 цветка на цветоносе. Цветки махровые, розовидные, диаметром 14 см, бело-розовые. Аромат слабый. Цветок не выгорает. Цветение средне-позднего срока, обильное, продолжительностью 12 дней.

**УРАЛЕЦ** (авторы: Кравченко О.А., Миронова Л.Н., Новикова Л.С., Реут А.А.; а.с. № 57132). Куст высотой 50 см, диаметром 60 см, прямостоячий, сомкнутый, с сильной облиственностью. Цветоносы длиной 70 см, прямые, прочные, по 2 цветка на цветоносе. Цветки махровые, розовидные, диаметром 16 см, серебристо-розовые. Аромат слабый. Цветок слабо выгорает. Цветение средне-позднего срока, обильное, продолжительностью 10 дней.

**УТРО ТУМАННОЕ** (авторы: Кравченко О.А., Миронова Л.Н., Новикова Л.С., Реут А.А.; а.с. № 57128). Куст высотой 55 см, диаметром 90 см, прямостоячий, полураскидистый, с сильной облиственностью. Цветоносы длиной 80 см, прямые, слабые, по 4 цветка на цветоносе. Цветки махровые, шаровидные, диаметром 16 см, бело-розовые. Рыльце розовое. Аромат слабый. Цветок не выгорает. Цветение поздне-среднего срока, обильное, продолжительностью 12 дней.

Вышеперечисленные показатели новых сортов пиона гибридного дают возможность использовать их в городском озеленении для оформления клумб, групповых посадок, массивов, бордюров, рабаток, а также использовать для срезки. При налаженном производстве посадочного материала сорта селекции БСИ займут достойное место среди декоративных травянистых культур, используемых в зеленом строительстве РФ.

#### Литература

1. Павлова Л.А. Пионы. М.: ЗАО «Фитон+», 2010. 208 с.
2. Миронова Л.Н., Реут А.А. Пионы. Достижения отечественных селекционеров // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2013. Т. 17, № 2. С. 349–358.

3. Реут А.А., Миронова Л.Н. Современные сорта *Paeonia hybrida hort.* башкирских селекционеров // Современное садоводство. 2013. № 3 (7). С. 130–137.

4. Успенская М.С. Селекция древовидных пионов // Цветоводство. 2000. № 3. С. 14–15.

5. Клименко К.Т. Пионы в Никитском ботаническом саду // Тр. Гос. Никитского ботанического сада. 1972. Т. LIX. С. 97–105.

6. Дьякова Г. Отечественные пионы: история поражений и побед // Цветочный клуб. 2012. № 8. С. 20–23.

7. Капинос Д.Б. Любимцы греческих богов – пионы // Приусадебное хоз-во. 1987. № 3. С. 64–67.

8. Реут А., Миронова Л. Пионы: башкирские новинки // Цветоводство. 2014. № 4. С. 31–33.

9. Разумова Г.А. Новые сорта пиона в Сибири // Проблемы устойчивого развития садоводства Сибири: Мат-лы науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию НИИСС им. М.А. Лисавенко. Барнаул, 2003. С. 394–399.

10. Миронова Л.Н. Эти роскошные пионы. Владивосток: БСИ ДВО РАН, 2006. 55 с.

11. Успенская М.С. Пионы. М.: «Фитон +», 2002. 208 с.

12. Миронова Л.Н., Реут А.А. Селекция пионов в Башкирии: история и достижения // Аграрная Россия. 2014. № 1. С. 11–15.

13. Миронова Л.Н., Реут А.А. Сорта пиона китайского селекции Ботанического сада-института Уфимского научного центра РАН // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2010. № 2. С. 21–28.

14. Кравченко О.А. Селекция пионов в БФАН СССР // Интродукция и селекция декоративных растений в Башкирии: сб. ст. Уфа: БФАН СССР, 1978. С. 36–52.

15. Миронова Л.Н., Реут А.А. Пионы башкирской селекции // Цветоводство. 2012. № 3. С. 2–5.

16. Реут А.А., Миронова Л.Н. Пионы. Биология и размножение. Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. 200 с.

17. Реут А.А., Миронова Л.Н. Новые сорта пиона гибридного для средней полосы России // Известия Уфимского научного центра РАН. 2012. № 3. С. 35–41.

### References

1. Pavlova L.A. Piony [Peonies]. Moscow, 2010. 208 p. (In Russian).

2. Mironova L.N., Reut A.A. Piony. Dostizheniya otechestvennykh selektsionerov [Peonies. Russian selectionists' accomplishments]. Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii – Vavilov Journal of Genetics and Selection, 2013, vol. 17, no. 2, pp. 349–358. (In Russian).

3. Reut A.A., Mironova L.N. Sovremennye sorta *Paeonia hybrida hort.* bashkirskikh selektsionerov [Modern varieties of *Paeonia hybrida hort.* created by Bashkir selectionists]. Sovremennoe sadovodstvo – Contemporary Horticulture, 2013, no. 3 (7), pp. 130–137. (In Russian).

4. Uspenskaya M.S. Seleksiya drevovidnykh pionov [Selection of tree peonies]. Tsvetovodstvo – Flower Breeding, 2000, no. 3, pp. 14–15. (In Russian).

5. Klimenko K.T. Piony v Nikitskom botanicheskom sadu [Peonies in the Mikitsky Botanical Garden]. Trudy Gos. Nikitskogo botanicheskogo sada – Proceedings of the Nikitsky State Botanical Garden, 1972, vol. 59, pp. 97–105. (In Russian).

6. Dyakova G. Otechestvennye piony: istoriya porazheniy i pobed [Domestic peonies: History of defeats and victories]. Tsvetochnyy klub – Flower Club, 2012, no. 8, pp. 20–23. (In Russian).

7. Kapinos D.B. Lyubimtsy grecheskikh bogov – piony [Peonies, favourite flowers of Greek gods]. Priusademnoe khozyaystvo – Country Smallholding Magazine, 1987, no. 3, pp. 64–67. (In Russian).

8. Reut A., Mironova L. Piony: bashkirskie novinki [Peonies: Bashkir novelties]. Tsvetovodstvo – Flower Breeding, 2014, no. 4, pp. 31–33. (In Russian).

9. Razumova G.A. Novye sorta pionov v Sibiri [New peony varieties in Siberia]. Problemy ustoychivogo razvitiya sadovodstva Sibiri [Issues on horticulture sustainable development in Siberia]. Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 70-letiyu NIIS im. V.A. Lisavenko [Proceedings of the Science and Research Conference dedicated to the 70th anniversary of the Lisavenko Research Institute of Horticulture for Siberia]. Barnaul, 2003, pp. 394–399. (In Russian).

10. Mironova L.N. Eti roskoshnye piony [Those splendid peonies]. Vladivostok, BSI DVO RAN, 2006. 55 p. (In Russian).

11. Uspenskaya M.S. Piony [Peonies]. Moscow, Fiton+, 2002. 208 p. (In Russian).

12. Mironova L.N., Reut A.A. Seleksiya pionov v Bashkirii: istoriya i dostizheniya [Peony breeding in Bashkiria: History and accomplishments]. Agrarnaya Rossiya – Agrarian Russia, 2014, no. 1, pp. 11–15. (In Russian).

13. Mironova L.N., Reut A.A. Sorta pionov kitayskogo selektsii Botanicheskogo sada-instituta Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN [Varieties of *Paeonia lactiflora* selected in the Botanical Garden-Institute of the Ufa Scientific Centre, RAS]. Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta – Herald of the Bashkir State Agriculture University, 2010, no. 2, pp. 21–28. (In Russian).

14. Kravchenko O.A. Seleksiya pionov v BFAN SSSR [Peony breeding in the Bashkir Branch of the Academy of Sciences of the USSR]. Introduktsiya i

selektsiya dekorativnykh rasteniy v Bashkirii [Introduction and selection of ornamental plants in Bashkiria]. Collected papers. Ufa BFAN SSSR, 1978, pp. 36–52. (In Russian).

15. Mironova L.N., Reut A.A. Piony bashkirskoy selektsii [Peonies of the Bashkir breeding]. Tsvetovodstvo – Flower Breeding, 2012, no. 3, pp. 2–5. (In Russian).

16. Reut A.A., Mironova L.N. Piony. Biologiya i razmnozhenie [Peonies. Biology and reproduction].

Saarbrücken, Germany, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012. 200 p. (In Russian).

17. Reut A.A., Mironova L.N. Novye sorta pionov gibridnogo dlya sredney polosy Rossii [New varieties of *Paeonia hybrida hort.* for Middle Russia]. Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN – Bulletin of the Ufa Scientific Centre of the RAS, 2012, no. 3, pp. 35–41. (In Russian).

---

## ACCOMPLISHMENTS OF RUSSIAN PEONY BREEDERS

© L.N. Mironova, A.A. Reut

Botanical Garden-Institute, Ufa Scientific Centre, RAS,  
195, korp. 3, ulitsa Mendeleeva, 450080, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia

This article presents a brief history of the arrival and cultivation of peonies in Russia and former Soviet Republics (Ukraine, Lithuania, Kyrgyzstan, Kazakhstan, etc.). It describes the hard path toward the development of introduction and breeding research and tells about leading scientists, experts and the most important achievements of peony breeders in the USSR. It also highlights main stages, trends, methods and results of the breeding work conducted in the Botanical Garden of the Komarov Botanical Institute (St. Petersburg), the Botanical Garden of the Moscow State University, the Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (Moscow), the Lisavenko Research Institute of Horticulture for Siberia (Barnaul), the Novosibirsk Horticulture Zonal Station of the Russian Academy of Agricultural Sciences, the Botanical Garden-Institute of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences (Vladivostok) and amateur flower breeders (S.D. Kupolyan, T.I. Fomin, A.G. Markov, N.M. Vinogradov, A.K. Kolpakov, N.D. Erokhin, M.I. Akimov, A.A. Skakodub, V.M. Dubrov) when creating new forms of tree and herbaceous peonies. A brief summary is given on peony breeding activities, with the lists of the most popular varieties. The efforts of Ufa selectionists over the past six decades are shown in detail. The article is concerned with the creation of a hybrid seedling fund, methods of open pollination and artificial hybridization (interspecies and intervarietal) used by experts, as well as the original parent forms. It analyzes contributions made by leading breeders of the Botanical Garden-Institute in Ufa to research of the processes of inheritance of valuable agronomic traits, enlargement of the hybrid seedling fund and creation of new highly ornamental varieties with different flowering times, resistant to adverse weather conditions, diseases and pests. The article ends with a consideration of the characteristics of some hybrid peony varieties: bush height, diameter and foliage mass; flower colour, shape, diameter, scent and fade resistance; time and duration of flowering; winter hardiness, drought and heat tolerance and contains recommendations on how to use them in greening cities and other settlements of the Republic of Bashkortostan and the Russian Federation.

Key words: hybrid peony, open pollination, artificial hybridization, history of breeding new varieties.

УДК 556.314

**ГЕОХИМИЯ И ПРИРОДА ГЛУБИННЫХ МАЛОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОД  
УРАЛА И ПРЕДУРАЛЬСКОГО ПРОГИБА**

© Р.Ф. Абдрахманов, В.Г. Попов

Статья посвящена исследованию геохимии и генезиса газово-жидких флюидов глубоких частей недр главных тектонических элементов (мегазон) Урала: Западно-Уральской внешней зоны складчатости, Центрально-Уральского поднятия и Магнитогорского мегасинклинория. Вертикальная геохимическая зональность и происхождение глубинных газово-жидких флюидов горных стран является одной из актуальных, но малоизученных теоретических проблем современной гидрогеохимии. Издавна утвердились представления об орогенных областях в целом и об Урале в частности как о гидрогеологически открытых структурах, в которых доминирующее развитие получили кислородно-азотные пресные гидрокарбонатные воды, формирующиеся под воздействием гипергенных факторов. В основу статьи положены собственные разработки авторов, базирующиеся на натурных исследованиях минеральных источников и гидроминеральных месторождений региона, а также результаты изучения ионно-солевого и газового состава подземных вод глубоких скважин, пробуренных различными геологическими организациями в основном на Южном и Среднем Урале. Особое внимание уделено анализу причин появления опресненных вод, создающих гидрогеохимические инверсии в гидrolитосфере. Подчеркивается ассоциация залежей углеводородов с маломинерализованными водами в зоне сочленения орогена и прогиба. Анализ и обобщение этих данных позволяет рассмотреть вопрос о геохимических особенностях газово-жидких флюидов глубоких частей разреза, их природе, характере гидрогеохимической зональности региона.

Ключевые слова: рассолы, опресненные глубинные воды, геохимия, генезис, Урал, Предуральский прогиб.

Флюидогеохимия (геохимия подземных вод, газов и нефтей) глубоких зон земной коры является важнейшим теоретическим направлением современной генетической гидрогеохимии [1]. Основы его были заложены фундаментальными трудами А.Е. Ферсмана и В.И. Вернадского, а в дальнейшем развито в работах И.К. Зайцева, Н.И. Толстихина, Е.В. Посохова, В.А. Кирюхина, Е.А. Баскова и др. Особенно плодотворно флюидогеохимическое направление развивалось в последние десятилетия, благодаря исследованиям в области не только гидрогеологии, но и литологии, геохимии, нефтяной геологии и других смежных наук. Вместе с тем недостаточно разработанными остаются целый ряд ас-

пектов, касающихся вещественного состава и происхождения газово-жидких флюидов глубоких частей недр платформенных и особенно орогенных областей. Особый интерес представляют вопросы формирования и генезиса маломинерализованных глубинных подземных вод, которые могут создавать полные или частичные инверсии в погруженных зонах гидrolитосферы.

Несмотря на кардинальные различия в геологическом строении, гидрогеологических условиях и истории развития Урала и Предуральского прогиба, общей чертой их является нормальная (прямая) глубинная гидрогеохимическая зональность, являющаяся одним из главных законов существования воды

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., Институт геологии Уфимского научного центра РАН, e-mail: hydro@ufaras.ru



в недрах Земли. Она выражается в закономерном росте с глубиной минерализации (М) и изменении химического состава подземных вод по мере уменьшения скоростей их движения, вплоть до установления в глубоководных зонах квазистационарного гидрогеодинамического режима. На характер геохимической зональности подземных вод вместе с гидрогеодинамическим фактором большое влияние оказывает также и литолого-фациальный состав осадочных формаций.

При нормальной гидрогеохимической стратификации седиментационных бассейнов, испытавших в своем развитии процессы морского галогенеза, формируются наиболее полные гидрогеохимические разрезы (пояса), включающие зоны пресных вод –  $A_1$ , соленых вод –  $B_{36}$  и рассолов –  $B_{>36}$  с подзонами  $B_{75}$ ,  $B_{150}$ ,  $B_{320}$ ,  $B_{500}$ <sup>1</sup>. Независимо от полноты гидрогеохимических поясов, особенно отчетливо глубинная зональность проявляется в артезианских структурах платформенного типа с пластовыми скоплениями вод. Орогенические области, представленные гидрогеологическими массивами различного происхождения с трещинными и трещинно-жильными скоплениями вод, прошли более сложный путь геологического развития, включающего седиментогенез и литогенез, складкообразование и дизъюнктивный тектогенез, магматизм и метаморфизм.

Глубокие недра горных стран в целом и Урала в частности изучены в гидрогеологическом отношении довольно слабо, поэтому представления об их глубинной гидрогеохимической зональности носят фрагментарный характер. Тем не менее анализ и обобщение пока еще далеко не полных, отрывочных гидрогеохимических данных, полученных в результате бурения глубоких скважин (параметрических, рудо-, нефтепоисковых и др.) в складчато-надвиговом поясе Урала, дают основание утверждать, что кислородно-азотные маломинерализованные  $HCO_3$ -Ca воды зоны гипергенеза на глубине более 500–1000 м сме-

няются азотными солеными Cl-Na водами, а на глубине более 2000–3000 м – метановыми рассолами Cl-Ca типа, содержащими спектр галофильных и биофильных микроэлементов. Рассолы связаны с метаосадочными, вулканогенно-осадочными и осадочными толщами палеозоя и позднего протерозоя, которые в силу надвигового (аллохтонного) строения оказались тектонически и литологически экранированными от воздействия поверхностных факторов. В своем большинстве рассолы являются продуктом седиментогенеза в таласогенных палеобассейнах различной солёности и последующей метаморфизации в породах за счет эпигенетических процессов [2].

В контексте с обсуждаемой проблемой рассмотрим геохимические особенности глубоководных рассольных вод главных геологических структур Урала.

**Во внешней зоне складчатости Южно-Урала** на Иштугановской (скв. 4), Мурадымовской (скв. 18), Архлатышской (скв. 2, 4) площадях на глубинах до 2690 м в верхнедевонско-турнейских отложениях обнаружены азотно-метановые Cl-Ca-Na рассолы с М до 203 г/л, отношения  $rNa/rCl$  0.53–0.56,  $rSO_4 \cdot 100/rCl$  0.16–0.37, содержанием  $CaCl_2$  33–41%. Связанная с ними нефть, судя по ее плотности (с 0.86 г/см<sup>3</sup>), не претерпела существенных гипергенных изменений. Рассолы близкого геохимического облика были вскрыты нефтеразведочными скважинами и в каменноугольных отложениях **западного склона Среднего Урала** [3]. Здесь им также свойственны высокие М (> 200 г/л) и метаморфизация ( $rNa/rCl$  0.56–0.59), низкая сульфатность, наличие  $NH_4^+$ ,  $Vg^-$  и высокие концентрации  $I^-$  (211 мг/л). Рассолам сопутствует малосернистая легкая нефть с с 0.79 г/см<sup>3</sup>.

Эти данные позволяют генетически идентифицировать Cl-Ca-Na рассолы, вскрытые в передовых складках Урала, с пластовыми рассолами нефтеносных комплексов среднего-верхнего девона и нижнего карбона Волго-Уральской области. Они имеют седимен-

<sup>1</sup> Узловые точки М 75, 150, 320 и 500 г/л отвечают началу садки соответственно доломита, гипса, галита и бишофита при испарительном концентрировании морской воды с нормальной солёностью (36 г/л).

тогенно-эпигенетическое происхождение и образовались главным образом в результате процессов метасоматической доломитизации известняков под воздействием Cl-Mg-Na рассолов лагунно-морских палеобассейнов палеозоя [4].

**В Зилаирском синклинии Центрально-Уральской мегазоны** на Асташской нефтеразведочной площади скважинами 6 и 2 на глубинах соответственно 2194–2222 и 2600–2700 м в нижнекаменноугольных карбонатных породах обнаружены в разной степени метаморфизованные ( $rNa/rCl$  0.38–0.81) Cl-Na-Ca воды с  $M$  13.7–42.9 г/л, концентрациями  $Br^-$  43.8,  $I^-$  2.5,  $K^+$  70.4,  $NH_4^+$  21 мг/л. Они обладают относительно низкой сульфатностью ( $rSO_4 \cdot 100/rCl$  0.48–1.8) и залегают в автохтоне под экранирующей поверхностью надвига на контакте с глинистыми породами зилаирской свиты ( $D_3$  fm). Седиментогенный облик вод, несмотря на разбавление их буровым раствором, вполне очевиден.

Во многих структурно-поисковых скважинах (1, 2, 3, 6 и др.) на глубинах 1670–3796 м отмечались проявления углеводородных (УВ) газов различной интенсивности (до 3–10 тыс. м<sup>3</sup>/сут). Они связаны как с породами карбона автохтонных частей разреза, так и с терригенными породами зилаирской свиты, слагающими аллохтон. Среди УВ газов преобладает  $CH_4$  (86–98%), содержание его гомологов ( $C_2H_6 + C_3H_8$ ) < 2%, а  $N_2$  < 12%, что свойственно нефтегазовым залежам Предуралья. Это указывает на восстановительный характер геохимической среды и гидрогеологическую закрытость глубоких частей палеозойского разреза, обеспечивающих сохранение седиментогенных рассолов и УВ газов.

**В Башкирском мегантиклинории** прямые данные о геохимии глубинных рассолов отсутствуют. Но на севере его, в Инзерском синклинии находятся Ассинские минеральные источники, приуроченные к метаосадочным терригенно-карбонатным образованиям катавской и инзерской свит верхнего рифея. Термогеохимическая среда их характеризуется следующими показателями:  $M$  16.8–20.5 г/л,  $T$  15.0–15.3°C,  $pH$  6.7–7.0,  $Eh$  +20...+40 мВ.

Источники имеют геохимический тип морской воды ( $NaCl$  74.6–76.5 %,  $MgCl_2$  6.5–8.0%) и близкую к ней величину отношения  $rNa/rCl$  (0.89–0.91). Как установлено гелиевыми и геотермическими исследованиями [5], они являются дериватами глубинных рассолов, разгружающихся по зоне разлома с глубины 950–1000 м из терригенных пород зильмердакской свиты, слагающей низы верхнего рифея.

**В Магнитогорском мегасинклинии** о геохимическом состоянии флюидов глубоких частей недр можно судить по результатам опробования скважин Уральской нефтеразведочной площади и Мулдаккульского гидроминерального месторождения, находящихся в Кизильской структурно-формационной зоне, выполненной эффузивно-осадочными породами нижнего-среднего карбона мощностью более 5 км. Уральскими скважинами 2 и 4 в автохтонной части разреза, представленной кизильской ( $D_3$  fm- $C_1$  t) и березовской ( $C_1$  t-v) свитами, на глубинах 2020–3932 м установлены метановые Cl-Na-Ca соленые воды и рассолы с  $M$  18.7–65.9 г/л (не исключено, разбавленные буровым раствором) повышенной концентрацией  $Br^-$  (51.8 мг/л), близкой к таковой в морской воде с нормальной соленостью ( $Br^-$  65 мг/л,  $M$  36 г/л). Судя по отношениям  $rNa/rCl$  (0.41–0.59) и  $Cl/Br$  (196), исходными для них являются седиментогенные рассолы каменноугольного осадочного бассейна, захороненные в породах и претерпевшие метаморфизацию в прямом направлении (с образованием  $CaCl_2$ ). Важно обратить внимание на многочисленные нефте- и битумопроявления в палеозойских отложениях Кизильской зоны, свидетельствующие о возможной нефтегазоносности развитых в ее пределах структур.

На Мулдаккульском гидроинжекционном месторождении в песчаниках янгельской свиты ( $C_3$ - $P_1$ ) обнаружены Cl-Ca-Na и сложные по составу воды с  $M$  до 37.2 г/л, содержанием  $CaCl_2$  до 50–80%. Они залегают на глубине 100–500 м в ядре куполовидной гидрогеохимической аномалии, приуроченной к зоне разлома, по которому происходит разгрузка формационных рассолов из отложений ниж-

него карбона. На это указывают высокие концентрации  $\text{He}$  (до  $3 \cdot 10^{-2}$  мл/л), наличие  $\text{Br}^-$  (до 34 мг/л) и  $\text{I}^-$  (до 2 мг/л), а также изотопный состав  $\text{H}$  и  $\text{O}$  воды ( $\delta\text{D}\text{‰}$   $-101 \dots -78$ ,  $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$   $-11 \dots -13$ ) [6].

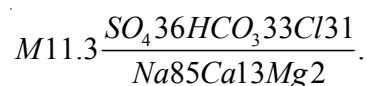
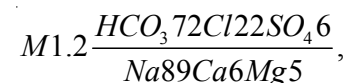
Косвенные данные о геохимии глубинных вод получены также Уральской сверхглубокой скважиной СГ-4, пробуренной в северной части Тагило-Магнитогорского прогиба и вскрывшей эффузивно-осадочные образования силура на глубину 5780 м. В буровом растворе и в водных вытяжках из проб вулканогенно-терригенной флишевой толщи, залегающей в интервале 3057–5337 м, обнаружена соль  $\text{CaCl}_2$  [7], что может быть истолковано как наличие в породах литогенных вод  $\text{Cl}$ - $\text{Ca}$  типа.

**Предуральский краевой прогиб** в пределах исследуемых Соликамской, Юрюзано-Сылвинской и Бельской депрессий, протягивающихся в субмеридиональном направлении вдоль складчатого Урала на расстояние около 1200 км при ширине 25–80 км, представляет собой краевую перикратонную часть Восточно-Европейской платформы. Выполнен мощной толщей (до 10–12 км) преимущественно терригенных отложений позднего протерозоя и терригенно-карбонатных пород палеозоя. В верхней части разреза Соликамской и Бельской впадин залегает соленосная толща (до 2000 м) кунгурского возраста.

Прогибу в целом свойственен прямой тип глубинной гидрогеохимической зональности. Сверху вниз наблюдается такая последовательность зон:  $\text{A}_1\text{B}_{36}\text{V}_{290}$ . Доминирующее положение в осадочном чехле занимает зона крепких метановых  $\text{Cl}$ - $\text{Ca}$ - $\text{Na}$  ( $\text{Na}$ - $\text{Ca}$ ) рассолов, кровля которой расположена на глубине 1200–1500 м. Выше нее залегают  $\text{Cl}$ - $\text{Na}$  сероводородные рассолы. Общая мощность зоны рассолов в подсолевых комплексах палеозоя и протерозоя достигает 6–10 км.

Приведенная информация касается геохимии рассольной зоны горноскладчатого Урала и сопредельной части Предуралья. Обратимся теперь к фактам обнаружения в глубоких недрах орогена и прогиба азональных относительно маломинерализованных вод инверсионного характера.

**В западной части Башкирского антиклинория**, в осложняющей его Кулгунинской синклинали метаморфизованные карбонатно-терригенные породы рифея, прорванные дайками диабазов и габброидов, на глубину 5154 м были пройдены параметрической скважиной 1 Кулгунинской площади. С глубины 940 и 3215–3218 м соответственно из зильмердакской ( $\text{RF}_3\text{zl}$ ) и юшинской ( $\text{RF}_3\text{js}$ ) свит были получены притоки вод следующего состава:



Вследствие отсутствия более полных данных о геохимическом состоянии этих вод генетическая диагностика их затруднена. Раньше они считались инфильтрационными, связанными с поступлением пресных вод из зоны гипергенеза. И если такое допущение еще как то может быть принято для  $\text{Cl}$ - $\text{HCO}_3$ - $\text{Na}$  вод верхнего интервала, то оно вряд ли приемлемо для  $\text{Cl}$ - $\text{HCO}_3$ - $\text{SO}_4$ - $\text{Na}$  вод нижнего интервала. Имея в виду характер гидравлической связи регионально-трещинных вод зоны выветривания и трещинно-жильных вод зон разломов, неуклонное снижение с глубиной проницаемости пород, а также энергетические возможности низкогорного в этом районе рельефа Урала (высоты менее 600 м), трудно допустить проникновение вод современной инфильтрации на глубины 1.0–1.5 км, не говоря уже о 3 км и более.

Важно отметить, что в обоих случаях воды относится к хорошо выраженному содовому типу ( $\text{NaHCO}_3$  до 61% или 2.5 г/л), не свойственному зоне гипергенеза Урала. Но (и это главное) они отличаются очень высокой щелочностью ( $\text{HCO}_3^-$  678 и 3242 мг/л), значительно превышающую таковую инфильтрогенных  $\text{HCO}_3$ - $\text{Ca}$  вод зоны гипергенеза ( $\text{HCO}_3^-$  20–200 мг/л). Величина отношения  $r\text{Na}/r\text{Cl}$  достигает 4.1.

Природа выявленного гидрогеохимического феномена, по нашему мнению, связана с сохранением в древних метаосадочных тол-

цах Урала реликтов возрожденных литогенных и метаморфогенных вод, эмигрировавших из терригенных глинистых пород при их дегидратации в ранее существовавших довольно напряженных РТ-условиях литогенетических зон апокатагенеза и метагенеза. По представлениям [1, 8–11 и др.], главным процессом, ведущим к образованию этих вод, является трансформация монтмориллонита, содержащего до 24% кристаллизационной воды, в иллит и другие гидрослюды, в которых содержание химически связанной межслоевой воды менее 10%. Глубина реализации этого процесса определяется геотермическим режимом недр, а также зависит от барических и гидрогеодинамических условий, литологии, возраста пород и других факторов. Поэтому она изменяется в пределах отдельных геологических структур.

Процессы дегидратации монтмориллонита наиболее изучены в осадочных бассейнах платформ. В мезозое Прикаспийской впадины интенсивная гидрослюдизация происходит на глубине 1.6 км, палеогене Терско-Кумской впадины – 3.7 км [12], девоне Припятского прогиба – 3.0–3.2 км [8], палеогене Мексиканского бассейна – 1.4–2.7 км [10, 11, 13, 14]. Соответственно, Т начала гидрослюдизации монтмориллонита составляет 70–140°C и выше. Средняя глубина начала проявления этого процесса определена в 1 км.

Особенности формирования и геохимические свойства возрожденных вод обусловили их редкую встречаемость в «чистом» виде. Обычно к ним относят  $\text{HCO}_3\text{-Cl-Na}$  и  $\text{Cl-Na}$  соленоватые и соленые воды с М от нескольких до 20–30 г/л, которые по своей генетической сути являются смесями в различных пропорциях собственно возрожденных литогенных растворов с другими генетическими типами природных вод. Отличительными геохимическими чертами возрожденных вод, кроме относительно низкой М, являются высокая щелочность ( $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$  до 3–8 г/л), низкая сульфатность ( $\text{SO}_4^{2-} < 50$  мг/л), минимальная концентрация  $\text{Ca}^{2+}$  (10–50 мг/л), наличие  $\text{I}^-$ ,  $\text{B}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  [1]. Выделившись из пород, они сразу же претерпевают геохимические изменения при

смешении с другими водами и взаимодействии с породами, заимствуя из них различные компоненты. Так, повышенные концентрации в исследуемых водах  $\text{SO}_4^{2-}$  (до 2.74 г/л),  $\text{Ca}^{2+}$  (до 0.41 г/л) и  $\text{Cl}^-$  (до 1.74 г/л), надо полагать, связаны экстракцией соответствующих солей из пород.

К возрожденным водам, кроме литогенных, относятся также и природные растворы, появляющиеся в ходе процессов регионального метаморфизма, когда в результате перекристаллизации глинистых минералов происходит окончательное их обезвоживание за счет выделения конституционной воды (в форме гидроксильного иона  $\text{OH}^-$ ), содержание которой в монтмориллоните составляет 10–12%, а в гидрослюде и хлорите – до 25–28%. Считается [9], что этот процесс протекает на всех стадиях метаморфизма, включая эпи-, мезо- и катаметаморфизм. Однако наиболее интенсивно потеря водными минералами химически связанной воды происходит на средней стадии мезометаморфизма (Т 500–1000°C, Р 500–1000 МПа), когда образуются эпидот-амфиболитовая и амфиболитовая фации.

На Урале, судя по литологии пород регионального метаморфизма (глинистые, слюдяные и др. сланцы, филлиты, кварцевые песчаники и алевролиты, кварциты, кристаллические и мраморизованные известняки и пр.) и наличию минералов-индикаторов в породах рифея Кулгунинской скважины [15], образование их произошло на начальной зеленосланцевой стадии эпиметаморфизма в условиях довольно низких Т (< 500°C) и Р (< 500 МПа). На этой стадии механический процесс выделения физически-связанных вод из глинистых пород преобладает над химическими процессами обезвоживания минералов. Под влиянием геостатического давления и повышенной Т (100–150°C) из пород, начиная с глубины 1 км, удаляется прежде всего адсорбированная и пленочная вода и значительно в меньшей степени – химически связанная за счет дегидратации монтмориллонита.

Вместе с тем следует отметить, что в Белорецком и Златоустовском метаморфических

комплексах Башкирской мегазоны, судя по присутствию в них эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций, они возникли на стадии мезометаморфизма. На Урале процесс дегидратации глинистых минералов и образования возрожденных вод протекал в основном в доорогенную стадию развития.

Данные по метаморфизму осадочных пород Башкирского антиклинория вполне согласуются с концепцией возрожденных литогенных и метаморфогенных маломинерализованных вод, залегающих на глубинах 1–3 км. Это принципиальное положение, поскольку присутствие возрожденных, тем более метаморфогенных растворов в глубоких недрах древних складчатых областей считалось крайне маловероятным.

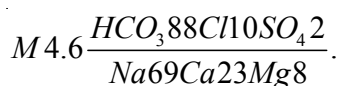
В связи с изложенными данными возникает вопрос о возможности сохранности возрожденных вод в глубоких недрах герцинского Урала. Следует полагать, что условия, необходимые для консервации в породах этих вод, вполне реальны, поскольку независимо от типа гидрогеологических структур и на платформах, и в орогенах рост глубины всегда сопровождается снижением скоростей движения подземных вод, увеличением продолжительности водообмена в горных породах и ростом абсолютного возраста подземных вод. Гидрогеодинамическая зональность, как и генетически связанная с ней гидрогеохимическая, принадлежат к категории фундаментальных свойств земной коры. В примыкающей к Уралу части Русской плиты условия затрудненного водообмена и застойного гидрогеодинамического режима создаются уже на глубинах 1000–1500 м в верхнем палеозое ( $C_1$ , D), где распространены седиментогенные рассолы Cl-Ca типа и ассоциирующиеся с ними нефтяные месторождения. Изначально талассогенные рассолы, по данным гидрогеохронологических исследований, претерпели метаморфизацию в породах, но сохранились на протяжении, по меньшей мере, 250 млн лет [16]. На таких же и несколько больших глубинах ниже базисов эрозии, судя по всему, достигаются условия весьма затрудненного водообмена и в гидрогеологических структурах Урала.

Существуют также суждения, что сохранность от деструкции нефтяных залежей на востоке Русской плиты обеспечивается исключительно благодаря наличию в палеозойском разрезе экранирующей толщи кунгурских солей. Кунгурский флюидоупор в формировании подземных вод и залежей УВ, несомненно, играет весьма значимую роль. Однако залежи нефти распространены, как известно, не только в районах нижнепермского галогенеза, но и далеко за их пределами. Так, на Пермско-Башкирском своде, где соленосные кунгурские осадки вообще отсутствуют, они обнаружены в нижнем карбоне и девоне на глубинах 1300–1700 м. Более того, сопровождающие нефтяные залежи весьма крепкие пластовые рассолы здесь имеют наиболее высокую М (290–310 г/л) и метаморфизацию ( $rNa/rCl$  0.43–0.48,  $CaCl_2$  45–52%) во всей Волго-Уральской области. Подобная картина наблюдается и в Юрюзано-Сылвинской впадине с газонефтяными и газоконденсатными месторождениями в среднем и верхнем карбоне. Все это указывает на гидрогеологическую закрытость глубоких недр.

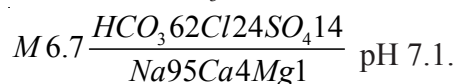
В настоящее время в районе Кулгунинской скважины не вполне ясна степень М и геохимия подземных вод, залегающих ниже и выше маломинерализованных содовых вод. Однако, учитывая, что в северной части антиклинория находятся Ассинские минеральные воды, источником которых являются хлоридные талассогенные рассолы, залегающие в метаосадочных породах  $RF_3zl$  на глубине около 1000 м, Кулгунинские содовые воды в образованиях  $RF_3zl$  и  $RF_1js$  представляют, скорее всего, звено инверсионной гидрогеохимической зональности типа  $A_1 B_{36} B_{10} B_{36} B_{>36}$ .

**В Магнитогорском мегасинклинии** ранее были описаны рассолы Cl-Ca типа, вскрытые на Уральской площади Кизильской синформы в вулканогенно-осадочных образованиях кизильской и березовской свит ( $D_3 fm-C_1 v$ ), слагающих поднадвиговую часть палеозойского разреза. В аллохтоне в этих же, а также в более молодых уртазымских ( $C_2 b-m$ ) породах скважинами 1, 4 и 5 на глубинах 1152–1606 м обнаружены относительно маломине-

рализованые (1.7–8.6, иногда до 14.0 г/л) воды  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$ ,  $\text{HCO}_3\text{-Cl-Na}$  и  $\text{Cl-Na}$  состава. Они принадлежат к содовому, иногда к хлормагниевому типам. Обращают внимание высокие концентрации  $\text{HCO}_3^-$  (до 2–3 и даже 5 г/л) и значения отношения  $r\text{Na}/r\text{Cl}$  (4.0–6.9). Иллюстрацией служит химический состав воды, выведенной скважиной 1 из кизильской свиты с глубины 1500–1606 м:



Бликие по составу содовые воды установлены и на Юбилейном медноколчеданном месторождении в вулканогенно-осадочных породах девона на глубинах 600–1350 м. Содержание в них  $\text{NaHCO}_3$  составляет 57% (4.2 г/л), а иона  $\text{HCO}_3^-$  – 62.2% (3.4 г/л):



Содовые воды палеозоя Кизильской зоны в геохимическом отношении близки к глубинным водам метаморфических толщ рифея Башкирского антиклинория, которые генетически идентифицировались с возрожденными дегидратационными растворами. Нельзя полностью исключить эти процессы и в Магнитогорской мегазоне. Однако меньшая глубина залегания здесь содовых вод позволяет предложить и альтернативное решение вопроса по поводу их происхождения. Оно состоит в признании следующих последовательно протекающих процессов: 1) поступление по зонам разломов пресных  $\text{HCO}_3\text{-Mg-Ca}$  вод из зоны гипергенеза на глубину порядка 1 км; 2) разложение гидрокарбонатов кальция и магния в условиях повышенных  $T$ :  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$  и  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{MgCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ ; 3) углекислотное выщелачивание натриевых алюмосиликатов с участием иона  $\text{H}^+$ , образующегося за счет диссоциации воды и угольной кислоты:  $2\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  (альбит) +  $2\text{CO}_2 + 11\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  (каолинит) +  $2\text{Na}^+ + 2\text{HCO}_3^- + 4\text{H}_4\text{SiO}_4$ .

Гидролитические процессы в этом случае подобны тем, что протекают в зоне выветривания кристаллических пород Урала

и ведут к образованию пресных  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$  ( $\text{Na-Ca}$ ) вод слабовыраженного содового типа. Но отличительной особенностью глубинных содовых вод служат условия весьма затрудненного гидродинамического режима, в результате чего увеличивается продолжительность взаимодействия воды с породой. Фактор времени как раз и способствует более глубокой геохимической переработке алюмосиликатного вещества и накоплению в водах хорошо растворимой соли  $\text{NaHCO}_3$ . Реализация этого процесса в глубинных условиях занимает сотни–тысячи лет.

**В Предуральском прогибе** опресненные воды в геохимическом и генетическом отношении кардинально отличаются от маломинерализованных глубинных газовой-жидких флюидов Урала. Хорошо изучены они в Соликамской депрессии. В центральной и южной ее частях наблюдается прямая гидрогеохимическая зональность вида  $A_1 B_{36} V_{290}$ . Максимальная  $M$  подземных вод зафиксирована в девонских отложениях на глубине 2.5–2.7 км (рис. 1). С глубиной происходит рост метаморфизации рассолов ( $r\text{Na}/r\text{Cl}$  0.95...0.60) и концентрации  $V\Gamma$  (до 1450 мг/л), снижается сульфатность ( $r\text{SO}_4 \cdot 100/r\text{Cl}$  2.5...0.1). Содержание  $\Gamma$  в рассолах относительно невысокое ( $< 20$  мг/л).

В то же время северная наиболее глубокая, примыкающая к складчатому Уралу часть впадины, в пределах которой расположены Гежская, Кисловская, Язьвинская, Северная, Верхнесоликамская и другие нефтеразведочные площади, имеет отчетливо выраженную инверсионную гидрогеохимическую зональность:  $A_1 B_{36} V_{260} V_{<36} V_{290}$ . Она проявляется сначала в росте  $M$  вод с глубиной (до 260 г/л), а затем в ее резком снижении ( $< 80\text{--}30$  г/л), вызванном уменьшением содержания главных ионов ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ), сопровождающимися изменением концентраций  $V\Gamma$ ,  $\Gamma$ , степени метаморфизации, сульфатности вод и других геохимических показателей и свойств. Наиболее опресненные рассолы приурочены к карбонатному рифогенному франско-фаменско-турнейскому комплексу ( $D_3\text{-}C_1$ ) на глубинах 1900–2400 м (рис. 2).

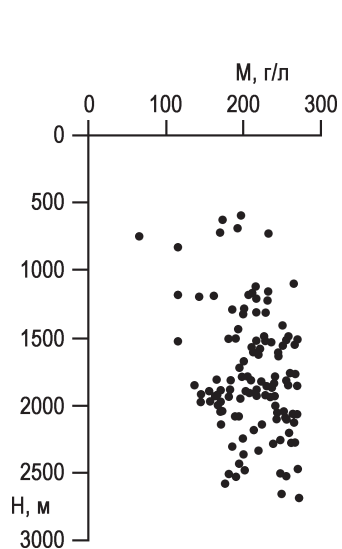


Рис. 1. Поведение М при нормальной гидрогеохимической зональности

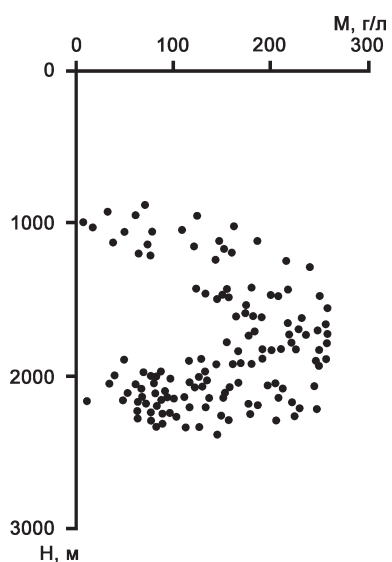


Рис. 2. Поведение М при инверсионной гидрогеохимической зональности

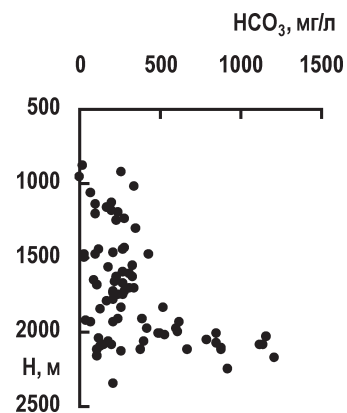


Рис. 3. Изменение концентрации  $\text{HCO}_3^-$  с глубиной

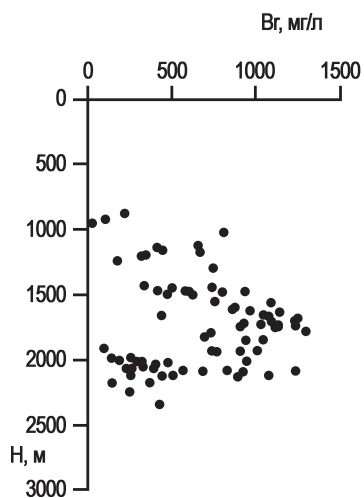


Рис. 4. Изменение концентрации  $\text{Br}^-$  с глубиной

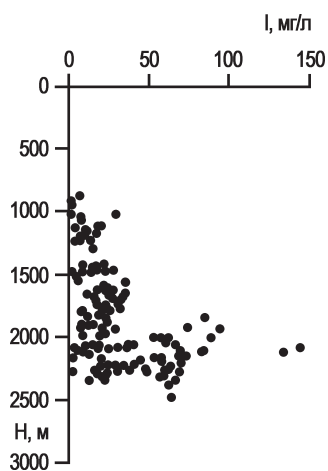


Рис. 5. Изменение концентрации  $\text{I}^-$  с глубиной

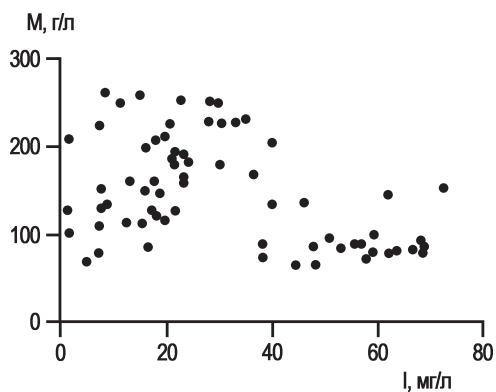


Рис. 6. Влияние М рассолов на содержание  $\text{I}^-$

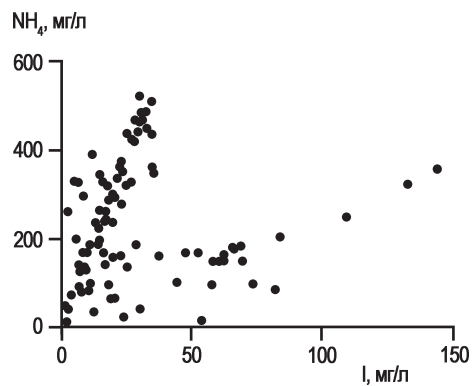


Рис. 7. Связь между концентрациями  $\text{I}^-$  и  $\text{NH}_4^+$  в рассолах

Так, скважиной 11 Кисловской площади из фаменских отложений из интервала 2010–2062 м получена вода следующего состава:



$$M35.7 \frac{Cl93SO_4 6HCO_3 1}{Na63Ca24Mg13} \text{ рН } 6.37.$$

С глубиной по мере уменьшения  $M$  вод метаморфизация их снижается ( $rNa/rCl$  0.39–0.90), а сульфатность, напротив, увеличивается ( $rSO_4 \cdot 100/rCl$  0.3–6.4). Эти изменения сопровождаются усилением щелочности вод ( $HCO_3^-$  50–1200 мг/л), уменьшением концентрации  $Br^-$  (1450–100 мг/л), и (что совершенно неожиданно) ростом содержания  $I^-$  (5...140 мг/л) (рис. 3–б). Важно указать, что гидрогеохимическая инверсия ассоциируется с газоконденсатными и нефтегазовыми залежами.

В работе [16] приведен критический обзор существующих представлений о формировании различных геохимических типов рассолов Предуралья и инверсионных гидрогеохимических разрезов. Показано, что инфильтрационные и эндогенные процессы не причастны к образованию глубинных опресненных рассолов Соликамской депрессии. С помощью гидрогеохимического и геолого-структурного анализа выполнена генетическая диагностика этих растворов, позволившая идентифицировать их с природными водами конденсатогенного происхождения. Механизм формирования их наиболее полно изложен в [17].

Установлено, что процессы генерации газообразных УВ и дистилляции в них воды протекают на глубинах 5–7 км ( $T > 100^\circ\text{C}$ ,  $P > 50$  МПа) в девонско-вендских отложениях зоны погружения Соликамской депрессии под аллохтонные структуры Урала. Отсюда из зоны газообразования происходит восходящая субвертикальная миграция значительных количеств водоуглеводородных смесей в более мягкие РТ-условия ( $T$  30–40 °С,  $P$  20–25 МПа) рифовых массивов  $D_3-C_1$ , экранированных флюидоупорными визейскими глинами. При этом относительно короткие пути миграции (тысячи метров) и высокие скорости движения водоуглеводородного флюида по проницаемым разломам, определяющие темпы сни-

жения  $T$  и интенсивность выделения свободной воды из УВ, препятствуют диффузионному и конвекционному рассеянию флюида.

Сам механизм формирования конденсатогенных вод и последующие процессы взаимодействия с крепкими пластовыми рассолами хорошо объясняют геохимическую специфику образующихся промежуточных вод: их пониженную относительно окружающих фоновых рассолов  $M$ , обогащенность  $HCO_3^-$ , обедненность  $Br^-$  и др. Как показали экспериментальные исследования [17], при испарении пластового рассола в УВ фазу полностью переходят ионы  $HCO_3^-$  и  $CO_3^{2-}$ , тогда как  $I^-$  и  $Br^-$  остаются в исходном растворе. Поэтому по мере разбавления конденсатогенными водами пластовых рассолов концентрация  $Br^-$  в них должна неизбежно снижаться, а  $HCO_3^-$  – возрастать, что и происходит в природной ситуации (см. рис. 3–4). При этом аномально высокая йодоносность опресненных вод в Соликамской депрессии обусловлена экстракцией  $I^-$  из органоминеральных соединений пород девона и венда как в процессе вертикальной миграции водоуглеводородных смесей из зоны газообразования в глубоких частях недр Урала в вышележащую зону газонакопления, так и при взаимодействии этих вод с породами непосредственно в газовой залежи в условиях мягкого термолиза. На это указывает прямая корреляционная зависимость между  $I^-$  и  $NH_4^+$ , которые являются продуктом деструкции азотсодержащего ОВ (рис. 7). Причем характер связи между этими компонентами различен для крепких рассолов районов с нормальной гидрогеохимической зональностью и опресненных вод в пределах гидрогеохимической инверсии, что подчеркивает их генетические различия.

Следует обратить внимание на существенные различия физико-химических свойств нефтей карбонатного комплекса  $D_3-C_1$  для районов Соликамской депрессии с различным характером гидрогеохимической зональности. Установлено [18], что именно к северо-восточной части ее и передовым складкам Урала приурочены не претерпевшие заметных гипергенных изменений наиболее легкие ( $c < 0.80$  г/см<sup>3</sup>) нефти нафтено-



во-метанового типа, отличающиеся меньшим содержанием серы, смол, асфальтенов и большим содержанием бензиновых фракций. В ее пределах, в отличие от сопредельных районов Волго-Уральского нефтегазодносного бассейна, в нефтях практически отсутствуют металлопорфирины (ванадиевые и никелевые комплексы) и отношение пристан/фитан в составе изопреноидных УВ достигает максимальных значений ( $> 2-3$ ). Все это объясняется участием процессов конденсатообразования в формировании залежей УВ в условиях более высоких стадий катагенетических преобразований нефтегазоматеринских пород.

### Литература

1. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М.: Наука, 2004. 677 с.
2. Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г. Геохимия и формирование подземных вод Южного Урала. Уфа: Гилем, 2010. 420 с.
3. Шестов И.Н., Шурубор А.В. Роль Урала как области питания восточной части Волго-Камского артезианского бассейна // Гидрогеология и карстоведение. Пермь: Изд-во ПГУ, 1975. Вып. 7. С. 98-103.
4. Попов В.Г. Литолого-гидрогеохимические последствия ионообменных процессов в седиментационных бассейнах (на примере Волго-Уральского бассейна) // Литология и полезные ископаемые. 2004. № 1. С. 48-59.
5. Попов В.Г., Абдрахманов Р.Ф. Ассинские минеральные воды на Южном Урале // Отечественная геология. 1999. № 5. С. 63-66.
6. Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г. Геохимические особенности и формирование Мулдаккульского месторождения минеральных вод на Южном Урале // Отечественная геология. 2012. № 1. С. 70-78.
7. Михайлов Ю.В. Гидрогеологические массивы горноскладчатого Урала. Нижний Тагил, 2007. 292 с.
8. Махнач А.А. Катагенез и подземные воды. Минск: Наука и техника, 1989. 335 с.
9. Судовиков Н.Г. Региональный метаморфизм и некоторые проблемы петрологии. Л.: Изд-во ЛГУ, 1964. 550 с.
10. Perry E., Hower J. Late-stage dehydration in deeply buried pelitic sediments // Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 1972. Vol. 56, № 10. P. 2013-2021.
11. Powers M.C. Fluid-release mechanisms in compacting marine mudrocks and their importance in

oil exploration // Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 1967. Vol. 51, № 7. P. 1240-1254.

12. Холодов В.Н. Постседиментационные преобразования в элизионных бассейнах (на примере Восточного Предкавказья) // Тр. ГИН АН СССР. 1983. Вып. 372. 152 с.

13. Boles J.R., Franks S.G. Clay diagenesis in Wilcox sandstones of Southwest Texas: implications of smectite diagenesis on sandstone cementation // J. Sed. Petrol. 1979. Vol. 49, № 1. P. 55-70.

14. Burst J.F. Postbiogenetic clay-mineral environmental relationship in the gulf coast. Eocene // Proc. Natl. Conf. «Clay and clay minerals». 1969. Vol. 6. P. 411.

15. Козлов В.И., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д. Новая схема расчленения разреза параметрической скважины 1 Кулгунинская (Южный Урал). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2011. 60 с.

16. Попов В.Г., Носарева С.П. Геохимическая зональность и происхождение рассолов Предуралья. Уфа: Гилем, 2009. 272 с.

17. Колодий В.В. Подземные конденсационные и солюционные воды нефтяных, газоконденсатных и газовых месторождений. Киев: Наукова Думка, 1975. 122 с.

18. Фрик М.Г. Закономерности распределения иномаркеров в нефтях и нефтематеринских породах: Обзор. М.: ЗАО Геоинформмарк, 1995. Вып. 4. 42 с.

### References

1. Kraynov S.R., Ryzhenko B.N., Shvets V.M. Geokhimiya podzemnykh vod. Teoreticheskie, prikladnye i ekologicheskie aspekty [Groundwater geochemistry. Theoretical, applied and environmental aspects]. Moscow, Nauka, 2004. 677 p. (In Russian).
2. Abdrakhmanov R.F., Popov V.G. Geokhimiya i formirovanie podzemnykh vod Yuzhnogo Urala [Groundwater geochemistry and formation in the South Urals]. Ufa, Gilem, 2010. 420 p. (In Russian).
3. Shestov I.N., Shurubor A.V. Rol Urala kak oblasti pitaniya vostochnoy chasti Volgo-Kamskogo artezianskogo basseyna [The role of the Urals as an alimentation region of the Eastern Volga-Kama Artesian Basin]. Hidrogeologiya i karstovedenie [Geology and Karst Science]. Perm, Perm State University Publ., 1975, issue 7, pp. 98-103. (In Russian).
4. Popov V.G. Litologo-gidrogeokhimicheskie posledstviya ionoobmennyykh protsessov v sedimentatsionnykh basseynakh (na primere Volgo-Uralskogo basseyna) [Litho-hydrogeochemical consequences of ion exchange processes in sedimentation basins (with the Volga-Ural basin taken as an example)]. Litologiya i poleznyye iskopaemye – Lithology and Mineral Resources, 2004, no. 1, pp. 48-59. (In Russian).

5. Popov V.G., Abdrakhmanov R.F. Assinskije mineralnye vody na Yuzhnom Urale [Assy mineral waters in the South Urals]. *Otechestvennaya geologiya – Russian Geology*, 1999, no. 5, pp. 63–66. (In Russian).
6. Abdrakhmanov R.F., Popov V.G. Geokhimicheskie osobennosti i formirovanie Muldakkul'skogo mestorozhdeniya mineralnykh vod na Yuzhnom Urale [Geochemical features and formation of the Muldakkul mineral water deposit in the South Urals]. *Otechestvennaya geologiya – Russian Geology*, 2012, no. 1, pp. 70–78. (In Russian).
7. Mikhaylov Yu.V. *Gidrogeologicheskie massivy gornoskladchatogo Urala* [Hydrogeological massifs in the fold-mountain Urals]. Nizhniy Tagil, 2007. 292 p. (In Russian).
8. Makhnach A.A. *Katagenez i podzemnye vody* [Catagenesis and groundwaters]. Minsk, Nauka i tekhnika, 1989. 335 p. (In Russian).
9. Sudovikov N.G. *Regionalnyy metamorfizm i nekotorye problemy petrologii* [Regional metamorphism and some problems of petrology]. Leningrad, Leningrad State University Publ., 1964. 550 p. (In Russian).
10. Perry E., Hower J. Late-stage dehydration in deeply buried pelitic sediments. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 1972, vol. 56, no. 10, pp. 2013–2021.
11. Powers M.C. Fluid-release mechanisms in compacting marine mudrocks and their importance in oil exploration. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 1967, vol. 51, no. 7, pp. 1240–1254.
12. Kholodov V.N. *Postsedimentatsionnye preobrazovaniya v elizionnykh basseynakh (na primere Vostochnogo Predkavkazya)* [Post-sedimentation transformations in elision basins (with the Eastern Cis-Caucasian Region taken as an example)]. *Proceedings of the Geological Institute, Academy of Sciences of the USSR*, 1983, issue 372. 152 p. (In Russian).
13. Boles J.R., Franks S.G. Clay diagenesis in Wilcox sandstones of Southwest Texas: Implications of smectite diagenesis on sandstone cementation. *J. Sed. Petrol.*, 1979, vol. 49, no. 1, pp. 55–70.
14. Burst J.F. Postbiogenetic clay-mineral environmental relationship in the gulf coast. *Eocene. Proc. Natl. Conf. «Clay and Clay Minerals»*, 1969, vol. 6, p. 411.
15. Kozlov V.I., Puchkov V.N., Sergeeva N.D. *Novaya schema raschleneniya razreza parametricheskoy skvazhiny 1 Kulguninskaya (Yuzhnyy Ural)* [New subdivision scheme of the Kulguninskaya 1 parametric hole section (South Urals)]. Ufa, DizaynPoligrafServis, 2011. 60 p. (In Russian).
16. Popov V.G., Nosareva S.P. *Geokhimicheskaya zonalnost i proiskhozhdenie rassolov Preduralya* [Geochemical zonation and the origin of brines in the Cis-Ural Region]. Ufa, Gilem, 2009. 272 p. (In Russian).
17. Kolodiy V.V. *Podzemnye kondensatsionnye i solutsionnye vody neftyanykh, gazokondensatnykh i gazovykh mestorozhdeniy* [Condensation and solution groundwaters of oil, gas and gas condensate fields]. Kiev, Naukova Dumka, 1975. 122 p. (In Russian).
18. Frik M.G. *Zakonomernosti raspredeleniya inomarkerov v neftyakh i neftematerinskikh porodakh: Obzor* [Marker distribution regular features in oils and parent rocks: A review. Moscow, Geoinformmark, 1995, issue 4. 42 p. (In Russian).

---

## GEOCHEMISTRY AND NATURE OF DEEP-SEATED POORLY-MINERALIZED GROUNDWATERS IN THE URALS AND THE CIS-URAL TROUGH

© R.F. Abdrakhmanov, V.G. Popov

Institute of Geology, Ufa Scientific Centre, RAS,  
16/2, ulitsa Karla Marksa, 450077, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia

This paper is based on investigation into the geochemistry and genesis of gaseous–liquid fluids from deep interiors of the main tectonic elements (megazones) of the Urals: the West Ural outer zone of folding, the Central Ural uplift, and the Magnitororsk Megasyntlinorium. Vertical geochemical zoning and the origin of deep gaseous–liquid fluids of mountain areas are important, but poorly studied theoretical problems of modern hydrogeology. For a long time, there were ideas on orogenic areas as a whole and the Urals in particular as hydrogeologically open structures, with prevailing oxygen–nitrogen fresh hydrocarbonate waters formed under the influence of hypergenic factors. The paper presents our own results based on field observations of mineral sources and hydromineral deposits of the region, as well as results on ion–saline and gas composition of underground waters in deep holes drilled by different geological organizations mainly in the South and Middle Urals. Special attention is paid to analyzing the reasons for the occurrence of freshened waters creating hydrogeochemical inversions in the hydrolithosphere. Consideration is given to the association of hydrocarbon deposits and poorly-mineralized waters within the conjunction zone between the orogene and the trough. Analysis and generalization of these data allow us to consider geochemical peculiarities of gaseous–liquid fluids from deep parts of the section, their nature, and the type of hydrogeochemical zoning of the region.

Key words: brines, freshened deep groundwaters, geochemistry, genesis, Urals, Cis-Ural Trough.

УДК 39(470.57)

**ФИННО-УГОРСКИЕ НАРОДЫ В ЭТНОКУЛЬТУРНОЙ И КОНФЕССИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЕ НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН**

© Р.Р. Садиков

На основе опубликованных и архивных источников дается этнокультурная характеристика финно-угорских народов Республики Башкортостан. Из финно-угорских народов здесь проживают марийцы, мордва, удмурты и эстонцы. Все эти группы населения образовались в ходе миграционных процессов XVIII–XIX вв. Вместе с тем эти народы не представляют единые монолитные образования, а распадаются на ряд этнолокальных, диалектных и конфессиональных групп. Например, марийцы представлены прибельской и икско-сюньской группами, разговаривают на пяти диалектах, есть марийцы крещенные и исповедующие традиционную религию. Такие подразделения по этнокультурному, лингвистическому и конфессиональному признакам характерны и для других финно-угорских народов.

В этнокультурном пространстве Республики Башкортостан имеется мощный финно-угорский пласт. Здесь действуют национально-культурные объединения, существуют фольклорные коллективы, издаются газеты, в школах изучаются национальные языки. В республике также проводятся финно-угорские мероприятия международного масштаба.

Ключевые слова: финно-угорские народы, марийцы, мордва, удмурты, эстонцы.

Территория Республики Башкортостан является одним из регионов компактного проживания финно-угорских народов. По данным переписи населения 2010 г., в республике проживают 103 658 марийцев, 20 300 мордвы, 21 477 удмуртов [1, с. 19–23]. С конца XIX в. отмечается также небольшая группа эстонцев, в 2010 г. их насчитывалось 219 человек [1, с. 25]. В республике действуют национально-культурные центры и автономии финно-угорских народов, существуют фольклорные коллективы, издаются газеты, в школах изучаются национальные языки. В научных учреждениях республики накоплен богатый опыт изучения финно-угорских народов, в фондах музеев собраны уникальные коллекции [2, 3]. Республиканская государственная программа «Народы Башкортостана», разработанная под руководством чл.-корр. РАН Р.Г. Кузеева, предусматривает сохранение и возрождение языков и культур финно-угорских народов.

С 1993 г. по начало 2010-х гг. осуществляла свою деятельность Ассоциация финно-

угорских народов Республики Башкортостан. В 2005 г. учреждена Ассамблея финно-угорских народов РБ, входящая в состав Ассоциации финно-угорских народов Российской Федерации. Таким образом, в этнокультурном пространстве Башкортостана имеется мощный финно-угорский пласт. В связи с этим в республике также проводятся финно-угорские мероприятия международного масштаба: в феврале 1999 г. здесь состоялось заседание Совета международной Молодежной Ассоциации финно-угорских народов (МАФУН) [4], а в феврале 2005 г. – заседание Консультативного комитета финно-угорских народов [5]. В данной работе предпринята попытка дать краткую этнокультурную характеристику финно-угорских народов Республики Башкортостан.

*Марийцы.* Марийцы Башкортостана относятся к этнографической группе восточных марийцев (эрвел марий). Выделяются четыре подгруппы восточных марийцев: прикамские (чолман марий) – Татарстан, Удмуртия;

уральские (урал марий) – Свердловская область, Пермский край; икско-сюньские (белебей марий) – Бакалинский, Туймазинский и Шаранский районы РБ; прибельские (упо марий) – Балтачевский, Бирский, Благовещенский, Дюртюлинский, Караидельский, Калтасинский, Краснокамский, Мишкинский, Нуримановский, Янаульский районы РБ [6, с. 17].

В Республике Башкортостан марийцы являются носителями калтасинского, бирского, белебеевского, балтачевского и прибельского говоров восточного диалекта лугово-марийского языка.

Марийцы Башкортостана являются одной из локальных групп этого народа, которые придерживаются своих традиционных верований. Среди причин миграции марийцев на башкирские земли – стремление сохранить веру своих предков. Отделяя себя от крещеных марийцев, они называют себя «чи мари» – «истинные марийцы». Одну из причин сохранения среди марийцев Башкортостана высокого этнического самосознания исследователи видят именно в их приверженности традиционной религии [7, с. 223].

Небольшая часть марийцев Башкортостана все же подверглась крещению. В конце XIX – начале XX в. центрами распространения среди восточных марийцев православия стали с. Николо-Березовка Бирского уезда и уездный центр г. Бирск. В с. Николо-Березовке действовал мужской Камско-Березовский Богородицкий миссионерский общежительный монастырь, настоятелем которого был игумен Анастасий, мариец по происхождению, при монастыре действовала черемисская церковно-приходская школа. В 1895 г. была заложена, а в 1899 г. освящена т.н. «инородческая» церковь в Бирске, основными прихожанами которой являлись учащиеся Бирской инородческой учительской школы и крещеные «черемисы» Бирского уезда.

По статистическим данным, на начало XX в. крещеные марийцы в Бирском уезде проживали в 28 населенных пунктах, входивших в состав 10 приходов. Число крещеных марийцев оценивалось в 3145 человек обо-

его пола. В Уфимской епархии насчитывалось 5 священников-марийцев, но двое из них служили в русских приходах [8, с. 55]. Ныне, по нашим полевым данным, крещеные марийцы (крэшин) проживают в следующих населенных пунктах: Никольское, Арлан, Кувакино, Биктимирово, Апасево, Амзя, Шушнур Краснокамского района.

В постсоветские годы наблюдается определенный интерес марийцев к лютеранской религии. В данном случае миссионерами выступают финские лютеране. В г. Бирске построена лютеранская церковь.

Не избежали марийцы Башкортостана и влияния со стороны ислама. Мусульманская миссия особенно усилилась в конце XIX – начале XX в. Перейдя в ислам, марийцы меняли также свое этническое самосознание, вливаясь в состав татар. В настоящее время потомки принявших ислам марийцев считают себя татарами.

Первые общественно-политические организации марийцев были образованы среди восточных марийцев в Уфимской губернии: в 1917 г. действовали Уфимское городское объединение мари и Бирское общество черемис [9, л. 9, 37–45]. Первый Всероссийский съезд народа мари состоялся в июле 1917 г. в Бирске Уфимской губернии. На нем присутствовало 178 делегатов из разных губерний, населенных марийцами [10, с. 82–83]. Большевики из числа марийцев и удмуртов Уфимской губернии в ноябре 1919 г. провели в Уфе первый Уфимский губернский мари-вотский съезд [11, с. 103]. В 20-е гг. XX столетия в Уфимской губернии действовали Марийский подотдел Губернского отдела по делам национальностей и Марийская секция губкома РКП(б). В марте 1925 г. в Бирске была проведена марийская крестьянская беспартийная конференция. В 30-е гг. на территории Башкирской АССР Мишкинский и Калтасинский районы имели статус национальных.

Национальное движение марийцев Башкортостана возродилось в 80-е гг. прошлого столетия. Необходимо отметить, что это произошло раньше, чем в самой Марийской

АССР. В конце 1988 г. по инициативе марийской интеллигенции был создан Уфимский городской клуб марийской культуры «Мари». В июле 1989 г. на республиканском совещании марийской общественности в Уфе было создано Марийское республиканское общество. Председателем был избран Г.И. Ибулаев. С июня 1991 г. общество было переименовано в Марийский общественный центр Республики Башкортостан, а с октября 1994 г. – в Марийское общественное объединение «Марий Ушем» Республики Башкортостан. Задачами организации являлись: создание необходимых условий для свободного развития и применения марийского языка в РБ, сохранение и развитие духовной и материальной культуры марийского народа, изучение и возрождение марийских народных традиций, обычаев, фольклорного наследия. С 2004 г. общественная организация марийцев была преобразована в Региональную марийскую национально-культурную автономию «Эрвел Марий». Руководителем избран П.И. Бикмурзин. В том же году был создан марийский историко-культурный центр «Село Мишкино» в Мишкинском районе, который призван сохранять и развивать язык и этническую культуру марийцев Башкортостана.

В настоящее время различные мероприятия по поддержке марийской культуры проводятся в с. Мишкино Мишкинского, с. Калтасы Калтасинского районов, гг. Бирске и Нефтекамске. Начиная с 1991 г. в Нефтекамске ежегодно проводится республиканский фестиваль марийской культуры «Мурпеледыш». Также стало традицией проведение в этом городе фестиваля национальных культур и искусств финно-угорских народов «Самоцветы Прикамья». В республике к настоящему времени успешно работают более 50 марийских художественных коллективов, 17 из них удостоены звания «народный». Особой популярностью пользуется среди них ансамбль танца «Эрвел» из Мишкинского района.

Марийский язык и литературу изучают в 198 школах и их филиалах [12, с. 21]. Традиция подготовки учителей для местных марийских школ также имеет длительную историю.

С 1870 по 1891 год работала Уфимская черемисская школа. С 1882 по 1918 год действовала Бирская инородческая учительская школа, в 1918 г. она была преобразована в Марийскую учительскую семинарию, осенью 1919 г. – в Марийские педагогические курсы. С 1920 г. учебное заведение было переведено в с. Николо-Березовку, где с 1921 г. преобразовано в педтехникум, а в 1924 г. вновь возвращено в г. Бирск (Бирский педтехникум). С 1934 г. учебное заведение вновь функционировало в Николо-Березовке (Краснокамское педучилище), а в 1956 г. переведено в г. Благовещенск (Благовещенское педучилище, ныне педколледж). В настоящее время марийское отделение педколледжа готовит учителей начальных классов. В 1993 г. открыто марийское отделение филологического факультета Бирского пединститута (ныне Бирский филиал БашГУ).

Большую роль в сохранении и возрождении марийской культуры и языка играют газеты. Издание газет на марийском языке в Башкирии имеет давние традиции. 28 мая 1919 г. в Уфе был издан первый номер газеты «Шемер-Пашазе» («Трудящийся-рабочий») – печатный орган политотдела 5-й армии. Вышедший 17 сентября 1919 г. третий номер газеты был издан под названием «Совет умландырымаш» («Известия Советов»). Газета, издаваемая марийским подотделом Губернского отдела по делам национальностей выходила до 15 января 1921 г., затем она была переименована в «Маяк». В 1922 г. «за отсутствием средств и бумаги» выпуск газеты «Маяк» прекратился. Ввиду этого в газете «Бирская правда» отводится специальный «Уголок мари» [13, с. 87–95].

В 1930-е гг. в БАССР начали издаваться две районные газеты на марийском языке. В 1930 г. вышел первый номер колхозной газеты «Коммун корно», который в дальнейшем стал районной газетой Мишкинского района. В настоящее время она издается под названием «Дружба». С 1932 г. издается районная газета Калтасинского района «Ужара» («Заря»). 24 апреля 1991 г. в Нефтекамске был издан первый номер общественно-политической газеты на марийском языке «Чолман»

(«Кама»). В 1993 г. она приобрела республиканский статус.

*Мордва.* Основная часть мордвы Башкортостана – эрзя; мокша составляет лишь незначительную долю. Мокшанскими являются населенные пункты Кузьминовка и Булякай Федоровского района. В Республике Башкортостан проживает незначительная группа мордвы-эрзя, которая именуется себя «мурза». Проживают они в д. Кожай-Андреево Туймазинского и д. Кожай-Максимова Бижбулякского районов. Жители этих деревень хотя и относят себя к эрзе, но отмечают, что «мы – мурза». Главное отличие от остальных эрзи, по их мнению, заключается в их языке, где очень много русских заимствований [14]. М. Бурдуков в начале XX в. писал, что «мордва д. Кожай-Андреевой считает себя потомками какого-то мордовского князя (мурзы)» [15]. В другой публикации того же времени отмечается, что «С словом “мордвин” соединяется понятие о целом известном народе, а со словами “эрзя”, “мокша” и “мурза” соединяются понятия об отдельных племенах этого народа». Далее он отмечает, что «наречия эрзянское и мурзинское очень схожи, только у мурзы вошла в употребление масса русских слов» [16].

Мордва в Республике Башкортостан представлена разными конфессиональными группами. Основная масса мордвы-эрзи считает себя православными, незначительная часть – старообрядцами и молоканами. Мокша также придерживается православной веры.

Христианизация мордвы началась со вхождением их земель в состав Русского государства. Мордва на Южный Урал переселилась уже крещеной. В официальных документах их именовали «новокрещенами». Во второй половине XIX – начале XX в. во многих мордовских населенных пунктах были построены православные церкви и часовни. Но, к сожалению, почти все они в 30-е гг. XX столетия были уничтожены. В настоящее время православный храм имеется в с. Каменка Бижбулякского района. Деревянная церковь Михаила Архангела была построена в 1914 г.

на месте сгоревшей. Летом 2004 г. было завершено строительство церкви в честь Михаила Архангела в эрзянском селе Андреевка Кармаскалинского района. Нужно отметить, что она возведена на месте храма, где служил А.Ф. Юртов, первый мордовский просветитель, могила которого находится тут же, в церковной ограде.

В конце XIX в. в Уфимской и Оренбургской губерниях мордвы-старообрядцев насчитывалось 3073 чел. [17, с. 41]. Жили они компактными группами в нескольких населенных пунктах. Среди мордвы Башкортостана распространено старообрядчество спасовского и рябиновского согласий.

Мордва-молокане проживают в деревнях Петровка и Ивановка Федоровского района. Ныне эти населенные пункты являются смешанными, молокан в них осталось примерно 5–6 семей в каждом. Несмотря на то, что мордва подверглась христианизации и православная обрядность и вероучение достаточно глубоко укоренились в народном сознании, также сохранились некоторые языческие представления и верования.

В феврале 1924 г. была создана мордовская секция Башобкома РКП(б), которая в марте 1925 г. в Стерлитамаке провела Мордовскую областную беспартийную конференцию [18, л. 68–81].

В Республике Башкортостан в 1996 г. была проведена учредительная конференция, на которой был основан Республиканский мордовский (эрзяно-мокшанский) национально-культурный центр. У истоков общественной организации стоял ее первый руководитель А.В. Горшечников. В 2003 г. центр был преобразован в Мордовскую национально-культурную автономию Республики Башкортостан, руководителем которой был избран Н.Д. Герасимов. Основная цель общественной организации – возрождение и сохранение культуры и языка мордвы Башкортостана. В 2012 г. открыт Историко-культурный центр мордвы РБ «Село Федоровка», который призван сохранять и развивать культуру, традиции и язык мордовского населения Республики Башкортостан.

Центрами возрождения и развития национальной культуры мордвы в Башкортостане стали Федоровский и Стерлитамакский районы. В 1998 г. в Федоровском районе впервые был организован районный фестиваль мордовской народной песни. С тех пор проведение фестивалей мордовской культуры стало традицией. Из более чем 20 мордовских самодеятельных творческих коллективов, четыре удостоены звания «народный».

Ежегодно в республике проводится большое количество мероприятий, направленных на сохранение и развитие культуры мордвы. Это Дни мордовского языка и культуры (г. Стерлитамак, Аургазинский район); мордовский фольклорный праздник «Эрзянь ойме» (г. Стерлитамак); мастер-классы по обучению мордовской вышивке (Федоровский район), мордовский детский этнографический лагерь «Чи» (Кармаскалинский район) и т.д.

В Республике Башкортостан эрзянский язык изучают в 13 школах и филиалах. В 1996 г. при стерлитамакском педагогическом училище и салаватском педагогическом колледже были открыты мордовские отделения, готовящие учителей начальных классов. В настоящее время действует только мордовская группа при стерлитамакском педколледже.

*Удмурты.* По некоторым лингвистическим и этнокультурным особенностям удмурты Башкортостана объединяются в несколько подгрупп. Самая крупная из них – буйско-таныпская, которая в свою очередь сама подразделяется на несколько подгрупп: буйскую, таныпскую, канлинскую, ташкичинскую. К буйской подгруппе относятся удмурты нескольких деревень Янаульского района. К таныпской подгруппе относится население удмуртских деревень Янаульского района, а также удмурты Калтасинского, Бураевского и Балтачевского районов. Канлинскую и ташкичинскую подгруппы составляют соответственно жители д. Канлы Кушнаренковского и д. Ташкичи Илишевского районов. К последней относятся также удмурты д. Давлеканово Бураевского района.

Другую крупную самостоятельную подгруппу составляют татышлинские удмурты,

в которую входят жители удмуртских деревень Татышлинского района. Крещеных удмуртов деревень Вотский Менеуз и Князь-Елга Илишевского района можно объединить в князь-елгинскую подгруппу. Жители д. Купченеево относятся к бавлинской подгруппе, куда также относится население удмуртских деревень Бавлинского района Татарстана.

Все подгруппы удмуртов Башкортостана входят в состав закамской группы удмуртского народа, куда также объединяются удмурты Куединского района Пермского края, Красноуфимского района Свердловской области и Бавлинского района Татарстана.

Язык удмуртов Башкортостана относится к периферийно-южному диалекту южно-удмуртского наречия. В нем выделяется несколько говоров, четыре из которых характерны башкортостанским удмуртам: буйско-таныпский, татышлинский, ташкичинский, канлинский.

Большим своеобразием отличаются удмурты Башкортостана в конфессиональном плане. Основная их часть придерживается своих традиционных верований, в то время как удмурты в Удмуртии подверглись насильственной христианизации и лишь очень незначительная их часть сохранила традиционную религию. Противопоставляя себя крещеным удмуртам, удмурты Башкортостана называют себя «истинными удмуртами» (чын удмуртъес). В последнее время удмурты Башкортостана возрождают свою древнюю религию.

Проживает в Башкортостане и незначительное число крещеных удмуртов – жители деревень Купченеево Ермакеевского и Вотский Менеуз, Князь-Елга Илишевского районов. Удмурты д. Купченеево отмечают многие православные праздники, в то же время они сохраняют и традиционно удмуртские праздники и обряды. Удмурты деревень Князь-Елга и Вотский Менеуз восприняли христианство в большей степени. В 1895 г. в Князь-Елге была построена церковь в честь целителя и священномученика Пантелеймона [19, с. 152]. Жители этих двух населенных пунктов в настоящее время отделяют себя от удмуртского этноса, их самоназвание «крэ-

шин», при этом указывают, что их предками были «ары», т.е. удмурты. Крещено-татарское окружение, с которым они поддерживали тесные связи, обусловило переход их на татарский язык.

В прошлом немало удмуртов Уфимской губернии приняло ислам и подверглось тюркизации. Можно привести целый список деревень, жители которых удмурты по происхождению, в результате смены религии стали считать себя татарами.

В 20-е гг. XX в. в Уфимской губернии действовали Вотский подотдел Уфимского губисполкома и Мари-вотская коллегия Бирского губкома РКП(б). В начале марта 1925 г. в с. Красный Холм была проведена I Бирская кантонная крестьянская беспартийная конференция народа удмурт (вотяков) [20, л. 33–42].

После проведения I Всесоюзного съезда удмуртов (1991 г., г. Ижевск), в Татышлинском районе РБ была создана территориальная организация Общества удмуртской культуры «Дэмен» [21, с. 31]. В августе 1996 г. на учредительной конференции в с. Новые Татышлы был создан Национально-культурный центр удмуртов Башкортостана. Основной целью данной общественной организации стало проведение мероприятий, способствующих сохранению и развитию языка, традиций, обычаев удмуртов Башкортостана. Председателем Центра был избран Р.Б. Галамшин. В июне 2000 г. состоялся II съезд удмуртов Башкортостана (первым съездом считается учредительная конференция НКЦ удмуртов Башкортостана, проведенная в августе 1996 г.). В декабре 2005 г. и октябре 2011 г. состоялись соответственно III и IV отчетно-выборные конференции общественной организации (которые по традиции также называются съездами удмуртов Башкортостана). К настоящему времени во всех районах проживания удмуртов имеются отделения НКЦ, налажены связи со Всеудмуртской ассоциацией «Удмурт Кенеш».

С начала своей деятельности НКЦ удмуртов Башкортостана ведет многогранную деятельность по сохранению и развитию удмуртской культуры. Многие мероприятия стали

традиционными: Дни удмуртской культуры в районах и городах проживания удмуртов; Межрегиональный фестиваль молодых исполнителей удмуртской песни «Жужась кизилиос» («Восходящие звезды»); детские спортивные олимпиады учащихся удмуртских школ РБ; дни села и праздники родословной; республиканский конкурс красоты «Чеберина»; слет удмуртов Башкортостана, имеющих правительственные награды и почетные звания; республиканский фестиваль удмуртских фольклорных коллективов «Дуно марзанъес» («Драгоценные жемчужины»); фестиваль детского творчества среди учащихся удмуртских школ РБ; организация деятельности профильного межрегионального творческого лагеря «Усточикар» («Город мастеров»); удмуртские моления мер вось и элен вось; соревнования по волейболу и лыжные гонки и т.д.

В декабре 2004 г. в с. Новые Татышлы Татышлинского района состоялось открытие Историко-культурного центра удмуртов Башкортостана. ИКЦ удмуртов Башкортостана «Новые Татышлы» функционирует как филиал Дома Дружбы народов РБ, это методический и координационный центр этнокультурной работы среди удмуртов РБ [22, с. 47].

Центром возрождения удмуртской культуры в Башкортостане стал Татышлинский район. Татышлинские удмурты, и в советское время проявлявшие активность в национальном вопросе, с началом преобразований в стране стали усиленно заниматься возрождением национальной культуры. В июне 1990 г. по инициативе Министерства культуры и местной администрации в с. Нижнебалтачево Татышлинского района был проведен первый Республиканский фестиваль удмуртской культуры. В дальнейшем проведение таких мероприятий стало традицией. На сегодняшний день в республике имеются ряд фольклорных коллективов, шесть из которых удостоены звания «народный».

Удмуртский язык и литературу изучают в 22 основных школах и 21 филиале. В 1996 г. при нефтекамском педколледже открыто удмуртское отделение, готовящее преподавателей удмуртского языка в начальных классах.



В деле сохранения и развития языка и культуры удмуртов республики значительную роль играет еженедельная республиканская общественно-политическая газета «Ошмес» («Родник»), издающаяся с 1999 г. в с. Верхние Татышлы Татышлинского района. У истоков газеты стоял ее первый главный редактор А.В. Гильмаев. Необходимо отметить, что газета «Ошмес» не является первым периодическим изданием на удмуртском языке, издаваемом на территории Республики Башкортостан. С 1936 по 2001 год издавалась на удмуртском языке общественно-политическая газета Татышлинского района «Азылань» («Вперед»).

*Эстонцы.* Первые эстонские поселения в Башкирии появились в самом конце XIX в. – в 1890-е гг. Переселение эстонцев на Южный Урал было обусловлено общими тенденциями миграционного движения обезземеленных прибалтийских крестьян в восточные губернии Российской империи в конце XIX – начале XX в. В Уфимской губернии сложились два компактных очага расселения эстонских переселенцев: в Альшеевской волости Белебеевского и Аскинской – Бирского уездов.

В 1950-е гг. в БАССР имелись такие эстонские населенные пункты: в Альшеевском районе – п. Крымский, с. Сакалы-Эстонские, д. Линда; в Давлекановском районе – п. Койт, с. Сядэ; в Стерлибашевском районе – эстонско-латышская д. Банковка. Из этих населенных пунктов в настоящее время существуют только п. Крымский и д. Банковка, но эстонцы в них уже не проживают.

В настоящее время эстонцы Башкортостана не представляют собой сплоченную этническую общность и не имеют свои национально-культурные объединения. Но в первые годы советской власти, когда эстонцы представляли еще значительную диаспорную группу, в Уфимской губернии существовали несколько эстонских «объединений». В марте 1920 г. на общем собрании эстонцев Уфимской губернии был образован «Уфимский комитет для защиты интересов лиц эстонского происхождения». В июне 1920 г. был создан эстонский подотдел при Отделе по делам

национальностей Уфимского губисполкома. Основной задачей подотдела было ведение разъяснительной работы среди эстонских колонистов с целью проведения советских преобразований. Подобная же работа проводилась эстонской секцией Уфимского губкома РКП(б), образованного также в 1920 г. В феврале 1921 г. по инициативе эстонского подотдела и секции была проведена беспартийная конференция «уфимских колонистов эстов». Собравшиеся на нее 17 активистов обсуждали различные вопросы, связанные с жизнью эстонцев в Уфимской губернии [23, с. 58–61].

К настоящему времени в связи с исчезновением эстонских поселений и крайней дисперсностью их расселения этнические традиции эстонцев Южного Урала утрачены. Лишь некоторые пожилые люди стараются отмечать наиболее важные религиозные праздники.

### Литература

1. Национальный состав населения Республики Башкортостан по данным Всероссийской переписи населения 2010 г.: стат. бюллетень. Уфа, 2012.
2. Ахатова Ф.Г., Садиков Р.Р. Коллекции финно-угорских народов Южного Урала и Приуралья // Музей археологии и этнографии. Каталог музейной экспозиции Центра этнологических исследований Уфимского научного центра РАН. Уфа, 2007. С. 193.
3. Никонорова Е.Е. Традиционная мордовская одежда из белого холста в коллекциях уфимских музеев // Материальная культура башкир и народов Урало-Поволжья. Уфа, 2008. С. 263–284.
4. Никерина Н. Финно-угорские встречи на башкирской земле // Советская Башкирия. 6 апреля 1999 г. № 67.
5. Дороже всех богатств на свете. В Уфе продолжает свою работу Консультативный комитет финно-угорских народов // Республика Башкортостан. 19 февраль 2005 г. № 33.
6. Сепеев Г.А. Восточные марийцы. Историко-этнографическое исследование материальной культуры (середина XIX – начало XX в.). Йошкар-Ола, 1975.
7. Lallukka S. From Fugitive Peasants to Diaspora. The Eastern Mari in Tsarist and Federal Russia. Helsinki, 2003.
8. Матвеев С. О крещеных инородцах Уфимской епархии. Уфа, 1910.
9. Центральный архив общественных объединений Республики Башкортостан (ЦАОО РБ). Ф. 1832. Оп. 4. Д. 419(3).

10. Ибулаев Г.И. Марийцы Уфимской губернии и национальное движение // Этническая мобилизация во внутренней периферии. Волго-Камский регион начала XX в. Ижевск, 2000. С. 78–87.

11. Садиков Р.Р. Первый уфимский губернский мари-вотский съезд // Археография Южного Урала. материалы VI Межрегиональной научно-практической конференции. Уфа, 2006.

12. Фатхутдинова А.И. Этноязыковое развитие Республики Башкортостан (1970–2010 гг.): автореф. дис. ... канд. ист. наук. Казань, 2011.

13. Сергеев М.Т. Возникновение и развитие печати Марийской АССР. Йошкар-Ола, 1971.

14. Юнусова А.Б., Садиков Р.Р. Мордва Башкортостана // Панорама Башкортостана. 2011. № 2 (28). С. 30–35.

15. Бурдуков М. Мордва. Этнографический очерк // Уфимские губернские ведомости. 18 августа 1905 г. № 176.

16. С.В. Несколько слов по поводу очерка «Мордва» М. Бурдукова // Уфимские губернские ведомости. 3 сентября 1905 г. № 188.

17. Данилко Е.С. Старообрядчество на Южном Урале. Уфа, 2002.

18. ЦАОО РБ. Ф. 122. Оп. 3. Д. 143.

19. Сизов С. Построение церкви в селе Князеилге, Бирского уезда // Уфимские епархиальные ведомости. 1896. № 4.

20. ЦАОО РБ. Ф. 122. Оп. 4. Д. 165.

21. Гильмаев А.В. Фольклор татышлинских удмуртов: пути возрождения // Традиции и современность в культуре народов. Уфа, 1999.

22. Удмурты Башкортостана: Краеведческий сборник. Уфа, 2009.

23. Садиков Р.Р. Эстонцы на Южном Урале: Историко-этнографические очерки. Уфа, 2012. 132 с.

## References

1. Natsionalnyy sostav naseleniya Respubliki Bashkortostan po dannym Vserossiyskoy perepisi naseleniya 2010 [Ethnic composition of the population in the Republic of Bashkortostan: according to 2010 All-Russia population census]. Statistical Bulletin. Ufa, 2012. (In Russian).

2. Akhatova F.G., Sadikov R.R. Kolleksiya finno-ugorskikh narodov Yuzhnogo Urala i Priuralya [Collection of Finno-Ugric peoples of the South Urals and Cis-Urals]. Museum of Archeology and Ethnography. Museum exhibition catalogue of the Centre for Ethnological Studies, Ufa Scientific Centre, RAS. Ufa, 2007. 193 p. (In Russian).

3. Nikonorova E.E. Traditsionnaya mordovskaya odezhda iz belogo kholsta v kolleksiyyakh ufimskikh muzeev [Traditional Mordovian white linen costumes in Ufa museum collections]. Materialnaya kultura

Bashkir i narodov Uralo-Povolzhya [Material culture of the Bashkirs and other peoples of the Volga-Ural Region]. Ufa, 2008, pp. 263–284. (In Russian).

4. Nikerina N. Finno-ugorskie vstrechi na bashkirskoy zemle [Finno-Ugric events in the Bashkir land], Sovetskaya Bashkiriya – Soviet Bashkiria, April, 1999, no. 67. (In Russian).

5. Dorozhe vsekh bogatstv na svete. V Ufe prodolzhaet svoyu rabotu Konsultativnyy komitet finno-ugorskikh narodov [More precious than all treasures in the world. Finno-Ugric Peoples' Consultative Committee is continuing its work in Ufa]. Respublika Bashkortostan – Republic of Bashkortostan, February 19, 2005, no. 33. (In Russian).

6. Sepeev G.A. Vostochnye mariytsy. Istoriko-etnograficheskoe issledovanie materialnoy kultury (seredina 19th – nachalo 20th vv.) [The Eastern Maris. Historical and ethnographic research on material culture (mid-19th – early 20th centuries). Yoshkar-Ola, 1975. (In Russian).

7. Lallukka S. From Fugitive Peasants to Diaspora. The Eastern Mari in Tsarist and Federal Russia. Helsinki, 2003.

8. Matveev S. O kreshchenykh inorodtsakh Ufimskoy eparkhii [On baptized ethnic aliens of the Ufa eparchy]. Ufa, 1910. (In Russian).

9. Central Archive of Public Associations of the Republic of Bashkortostan. Fond 1832. Оп. 4, delo 419 (3). (In Russian).

10. Ibulayev G.I. Mariytsy Ufimskoy gubernii i natsionalnoe dvizhenie [The Maris of the Ufa Province and national movement]. Etnicheskaya mobilizatsiya vo vnutrenney periferii. Volgo-Kamskiy region nachala XX v. [Ethnic mobilization within the internal periphery. The Volga-Kama Region during the early 20th century]. Izhevsk, 2000, pp. 78–87. (In Russian).

11. Sadikov R.R. Pervyy Ufimskiy gubernskiy mari-votskiy sezd [First Ufa Provincial Congress of the Maris and Votyaks]. Arkheografiya Yuzhnogo Urala: Materialy VI Mezhhregionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. [Archeography of the South Urals: Proceedings of the 6th Intraregional Scientific and Research Conference]. Ufa, 2006. (In Russian).

12. Fatkhutdinova A.I. Etnoyazykovoe razvitie Respubliki Bashkortostan (1970–2010 gg.) [Ethnolinguistic development of the Republic of Bashkortostan (1970–2010). Ph.D. thesis in History]. Kazan, 2011. (In Russian).

13. Sergeev M.T. Vozniknovenie i razvitie pechati Mariskoy ASSR [Origin and evolution of mass media in the Mari Autonomous Soviet Socialist Republic]. Yoshkar-Ola, 1971. (In Russian).

14. Yunusova A.B., Sadikov R.R. Mordva Bashkortostana [The Mordvinians of Bashkortostan]. Panorama Bashkortostana – Panorama of Bashkortostan, 2011, no. 2 (28), pp. 30–35. (In Russian).

15. Burdukov M. Mordva. Etnograficheskiy ocherk [The Mordvinians. Ethnographic essay]. Ufimskie gubernskie vedomosti – Ufa Provincial Newspaper, August 18, 1905, no. 176. (In Russian).

16. S.V. Neskolko slov po povodu ocherka “Mordva” M. Burdukova [Some words concerning M. Burdukov’s essay “The Mordvinians”]. Ufimskie gubernskie vedomosti – Ufa Provincial Newspaper, September 3, 1905, no. 188. (In Russian).

17. Danilko E.S. Staroobryadchestvo na Yuzhnom Urale [Old Belief in the South Urals]. Ufa, 2002. (In Russian).

18. Central Archive of Public Associations of the Republic of Bashkortostan. Fond 122. Op. 3, delo 143. (In Russian).

19. Sizov S. Postroenie tserkvi v sele Knyazeilge, Birkskogo uezda [Church construction in the village of Knyazeilga, Birsk uezd]. Ufimskie eparkhialnye

vedomosti – Ufa Eparchial Newspaper, 1896, no. 4. (In Russian).

20. Central Archive of Public Associations of the Republic of Bashkortostan. Fond 122. Op. 4, delo 165. (In Russian).

21. Gilmaev A.V. Folklor tatyshlinskikh udmurtov: puti vrozhdeniya [Folklore of the Tatushly Udmurts: Paths to rebirth]. Traditsii i sovremennost v kulture narodov [Traditions and contemporaneity in the national culture]. Ufa, 1999. (In Russian).

22. Udmurty Bashkortostana [The Udmurts of Bashkortostan]. Collected works on local history. Ufa, 2009. (In Russian).

23. Sadikov R.R. Estontsy na Yuzhnom Urale [The Estonians in the South Urals]. Istoriko-etnograficheskie ocherki [Historical and ethnographic essays]. Ufa, 2012. 132 p. (In Russian).

---

**FINNO-UGRIC PEOPLES IN ETHNO-CULTURAL  
AND CONFESSIONAL STRUCTURE AMONG THE POPULATION  
OF THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN**

© **R.R. Sadikov**

Kuzeev Institute for Ethnological Studies, Ufa Scientific Centre, RAS,  
6, ulitsa Karla Marksa, 450077, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia

Based on published and archival sources, the article provides a brief description of the ethno-cultural characteristics of Finno-Ugric peoples living in the Republic of Bashkortostan. There are the Mari people, Mordvinians, Udmurts and Estonians. All these groups were formed during the migration process in the 18th and 19th centuries. However, they do not represent a single monolithic formation, but split themselves into a number of ethnic and local, dialect and religious groups. For example, the Mari people are represented by the Pribelsky and Ik-Syun groups and speak in five dialects. There are the Maris who are baptized and those who profess traditional religion. Such groups according to their ethno-cultural, linguistic and religious characteristics are also typical of other Finno-Ugric peoples.

The ethno-cultural space of the Republic of Bashkortostan has a large Finno-Ugric component with national-cultural associations, folk music companies, newspapers and native languages taught in schools. The Republic also held Finno-Ugric events on international scale.

Key words: Finno-Ugric peoples, the Mari people, the Mordva, the Udmurts, the Estonians.

УДК 911.3(075.8)

**СИСТЕМНО-СТРУКТУРНЫЙ ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ  
ЭТНОКУЛЬТУРНОГО РАЗВИТИЯ ЮЖНОГО ЗАУРАЛЬЯ  
(НА ПРИМЕРЕ КУРГАНСКОЙ ОБЛАСТИ)**

© О.Г. Завьялова, И.В. Абросимова

В настоящее время общепризнанными в науке являются ряд парадигм: пространственно-временная, территориальная, геосистемная. Так, пространственно-временная парадигма связана с системным определением и анализом «генетического кода» этноса, который сформировал тот или иной природно-хозяйственный ландшафт. Геосистемы в этом случае необходимо рассматривать с учетом их «природной» (ландшафтной) составляющей и особенностей природопользования главных «природопотребителей» – этносов. В результате взаимодействия этносистем и геосистем формируются интегральные образования, которые можно определить как «этногеосистемы».

Этногеосистемы – это устойчивые этнические общности людей, образующиеся в ходе освоения территории «материнских» ландшафтов (природопользования и хозяйствования) и их «общезития».

На основе разработанной авторами концепции этногеосистемного анализа территории Южного Зауралья, предлагается интегральный системно-структурный пространственный анализ эволюции природопользования и этнокультурного пространства Курганской области.

Авторами были выделены специфические особенности и закономерности развития территории лесостепного Зауралья на протяжении последнего тысячелетия, в частности, принцип структурной этноконтактности в формировании тюрко-славянской этноконтактной зоны, принцип бинарности в развитии и другие специфические этнокультурные особенности развития данной территории.

В статье детально анализируется и современная этническая и языковая структура населения Курганской области и существующие проблемы этнокультурного развития языковой среды.

Ключевые слова: этногеосистемный и пространственно-временной анализ, расселение, этнокультурное развитие и трансформация, этноконтактная зона, этническая и языковая структура населения.

Открытие В.И. Вернадским культурной биохимической энергии или энергии человеческой культуры как высшей известной нам формы биохимической энергии объясняет многие явления и соотношения физико-химического, биологического и социального. По мнению В.И. Вернадского, текучесть пространства – времени в живом веществе с неизбежностью порождает новый вид миграции химических элементов – культурную биохимическую энергию, или энергию человеческой культуры [1]. Именно энергия чело-

веческой культуры является тем связующим звеном, при помощи которого цивилизация, культура воздействуют на все процессы. С ее помощью происходит актуализация, извлечение из генетической программы этноса знаний, привычек, способов выживания. В.И. Вернадский приводит нас к такому пониманию «пространства – времени, в котором пространство яснейшим образом перестает быть неподвижным пространством геометрии. Оно становится неустойчивым, динамическим, текучим пространством» [2].

ЗАВЬЯЛОВА Ольга Георгиевна – д.г.н., Курганский государственный университет,  
e-mail: kaf\_bgd@rambler.ru

АБРОСИМОВА Ирина Викторовна – к.г.н., Курганский государственный университет,  
e-mail: abrosimova45@mail.ru

В настоящее время общепризнанными в науке являются ряд парадигм: пространственно-временная, территориальная, геосистемная. Пространственно-временная парадигма связана с определением своего «генетического кода» того или иного природно-хозяйственного ландшафта региона, этноса. О реальности этнического пространства как «своеобразного порядка существования и осуществления через социальные формы генетически тождественного сообщества» свидетельствуют выводы И.Ю. Гладкого [3].

Оно охватывает генетический, экологический, социокультурный порядок бытия этноса. Через этническое пространство реализуются и этнос, и этноформы в единстве взаимодействия биологического и социального («крови и почвы»).

Территориальная парадигма рассматривает территорию как «арену взаимодействия» и «колыбель» этносов, различных движущих сил и факторов в развитии природы и общества, их обусловленность и сопряженность. Геосистемная парадигма, базируясь на положениях общей теории систем, позволяет решать вопросы комплексного и целостного функционирования геосистем (природных, социальных, экономических, интегральных и др.), определять факторы их устойчивости и изменчивости. По мнению Л.Н. Гумилева, общество является глобальной этносистемой, в которой базисную роль играют процессы этноприродного взаимодействия, эволюция этносов в «кормящих» ландшафтах [4].

Интегральный системно-структурный пространственный анализ этнокультурного развития того или иного региона позволяет включать исторические, географические, демографические и общественные факторы и условия развития природы и общества (природопользования и хозяйствования, демографических процессов и расселения), этнокультурную трансформацию в единое целое, что позволяет лучше видеть современные тренды развития. На основе этого подхода был предложен и апробирован этногеосистемный метод анализа тысячелетнего развития и эволюции этногеосистем лесостепного Заура-

лья [5]. Он позволил подтвердить ряд принципиальных закономерностей этнокультурного развития, в частности, принцип структурной этноконтактности в формировании в этом регионе (Южном Зауралье) тюрко-славянской этноконтактной зоны. Кроме того, был сформулирован принцип бинарности в развитии и выделены другие специфические особенности этнокультурного развития данной территории.

Развитие территориальных структур в полиэтнических или этноконтактных регионах (к таковым исторически относится и территория лесостепного Зауралья) происходит, как показал анализ, в особых условиях. Геосистемы в этом случае необходимо рассматривать с учетом их «природной» (ландшафтной) составляющей и особенностей природопользования главных «природопотребителей» – этносов. В результате взаимодействия этносистем и геосистем формируются интегральные образования, которые можно определить как «этногеосистемы».

Этногеосистемы – это устойчивые этнические общности людей, образующиеся в ходе освоения территории «материнских» ландшафтов (природопользования и хозяйствования) и их «общежития».

Этногеосистемы являются фундаментальной базой развития этноконтактных территорий. Контактные зоны, с одной стороны, сохраняют континуальность (единство) пространства, с другой стороны, подчеркивают его дискретность. Появление контактной зоны по существу означает появление качественно нового объекта со своими закономерностями и взаимосвязями, вырастающими из прошлого, но в которых заложены уже иные качественные и количественные отношения и сопряжения. Примеров контактных зон (экотонов) в геOVERСУМЕ множество. Таким образом, появление этносов, их расселение, освоение территории на основе разнообразных средоформирующих и ресурсовоспроизводящих свойств материнских ландшафтов – «обитателей» этносов – приводит к формированию интегральных этногеосистем, со всеми вытекающими этнокультурными

атрибутами (системами расселения, хозяйствования, природопользования).

Эволюция этногеосистем есть процесс развития пространственно-временной и структурной организации в результате смены инноваций в природопользовании (ресурсозамещения), смены технологических укладов. В точках бифуркаций (выбора) развития в этногеосистемах действуют не случайности, а этноконстанты (культурные коды этносов, их архетипические особенности), вокруг которых и сталкиваются различные варианты выбора. На их основе и выкристаллизовывается приемлемый путь развития. Таким образом, этнокультурное развитие означает эволюционно-заданный, необратимый процесс структурного усложнения и совершенствования этногеосистем, их качественного изменения.

Изучение положительного опыта совместного мирного сосуществования и взаимодействия тюркских и славянских народов Южного Зауралья в течение XVIII–XX вв., освоения ими зауральских земель имеет непреходящее значение. Феномен культурной смешанности, гибридности этнических культур в настоящее время остается менее изученным явлением в отличие от исследований межэтнической конфликтологии.

Современная этнокультурная ситуация в регионе на рубеже XX и XXI вв. характеризуется все большей внешней унификацией и трансформацией основных форм жизнедеятельности этносов, но это только видимая часть айсберга, гораздо большая его составляющая – этнокультурная, которая гораздо слабее проявляется количественно и, тем более, качественно.

Для примера рассмотрим этническую структуру населения Курганской области на основе показателей Всероссийских переписей населения 2002 и 2010 гг. Для определения территориальности в размещении основных этносов Курганской области нами был использован коэффициент локализации. Коэффициент локализации (Кл) вычисляется как соотношение двух относительных величин: А – численность представителей конкретного этноса в пределах того или иного админи-

стративного района к численности данного этноса в области; В – общая численность населения района к численности населения области:  $Кл = A/B$  [6].

Числовые значения коэффициента локализации, превышающие единицу, говорят об «избытке» явления: чем больше значение коэффициента локализации, тем больше концентрация данного этноса в районе (рис. 1).

Среди областей Уральского региона в Курганской области наиболее высок процент русского населения – 90.8% (2010 г): Свердловская область – 90.6%, Пермский край – 87.1%, Челябинская область – 83.8%, Оренбургская область – 75.9%, Республика Удмуртия – 62.2%, Республика Башкортостан – 36.32%, превышает этот показатель и средний по России – 83% [7].

Русские преобладают во всех районах и городах области, за исключением Сафакулевского района, где они лишь третьи по численности. В Альменевском районе русское население составляет треть. Выше среднеобластных показателей имеют тринадцать районов области (центральные, северные, северо-западные), еще четыре района (восточные и западные) – близки к этому параметру. Согласно расчетам, Кл русского населения характеризуется равномерностью (в 22 районах из 24), он составляет от 1 до 2.

Показатели удельного веса татарского населения (1.9%) в этнокультурном пространстве области меньше, чем в целом по России (3.83%). Они минимальны и среди регионов Урала, так, в Республике Башкортостан – 24.14%, Оренбургской области – 7.6%, Республике Удмуртия – 6.7%, Челябинской области – 5.4%, Свердловской области – 3.5%, Пермском крае – 4.6%. Согласно материалам переписей (2002, 2010), 2/3 татар Курганской области проживают в сельской местности. Территориально татары сосредоточены в Альменевском (20%), Сафакулевском (30%) районах, превышение среднеобластного показателя по удельному весу татарского населения наблюдается еще в шести районах области (Звериноголовском, Целинном, Шадринском, Шатровском, Шуми-

хинском, Щучанском). Показатели коэффициента локализации татар также свидетельствуют о компактности размещения татарского населения в пяти районах области, среди которых выделяются Сафакулевский и Альменевский районы, где Кл составляет 18.7 и 13.6 соответственно. В числе лидеров по показателю Кл татар стоит и Шадринский район – 2.1–2.3.

Третьим по численности этносом Курганской области является башкирский этнос – 13.66 тыс. человек. Относительные показатели численности башкирского населения составляют 1.4%, что больше среднего по России – 1.15%, а в Уральском регионе область занимает четвертое место, уступая Республике Башкортостан (29.76%), Челябинской облас-

ти (4.8%), Оренбургской (2.3%), превышая показатели Пермского края (1.29%), Свердловской области (0.83%), Республики Удмуртия (0.2%).

Среди районов области лидерами по удельному весу и концентрации башкирского населения являются Сафакулевский и Альменевский районы, в которых проживает около 62% всех башкир. Данные районы имеют и самые высокие показатели коэффициента локализации башкир – 32.68 и 21.95 соответственно. Выше среднеобластного показателя удельного веса башкир имеет Щучанский район, Кл 2.6. Эти данные свидетельствуют о достаточно компактном размещении представителей башкирского этноса в пределах области.

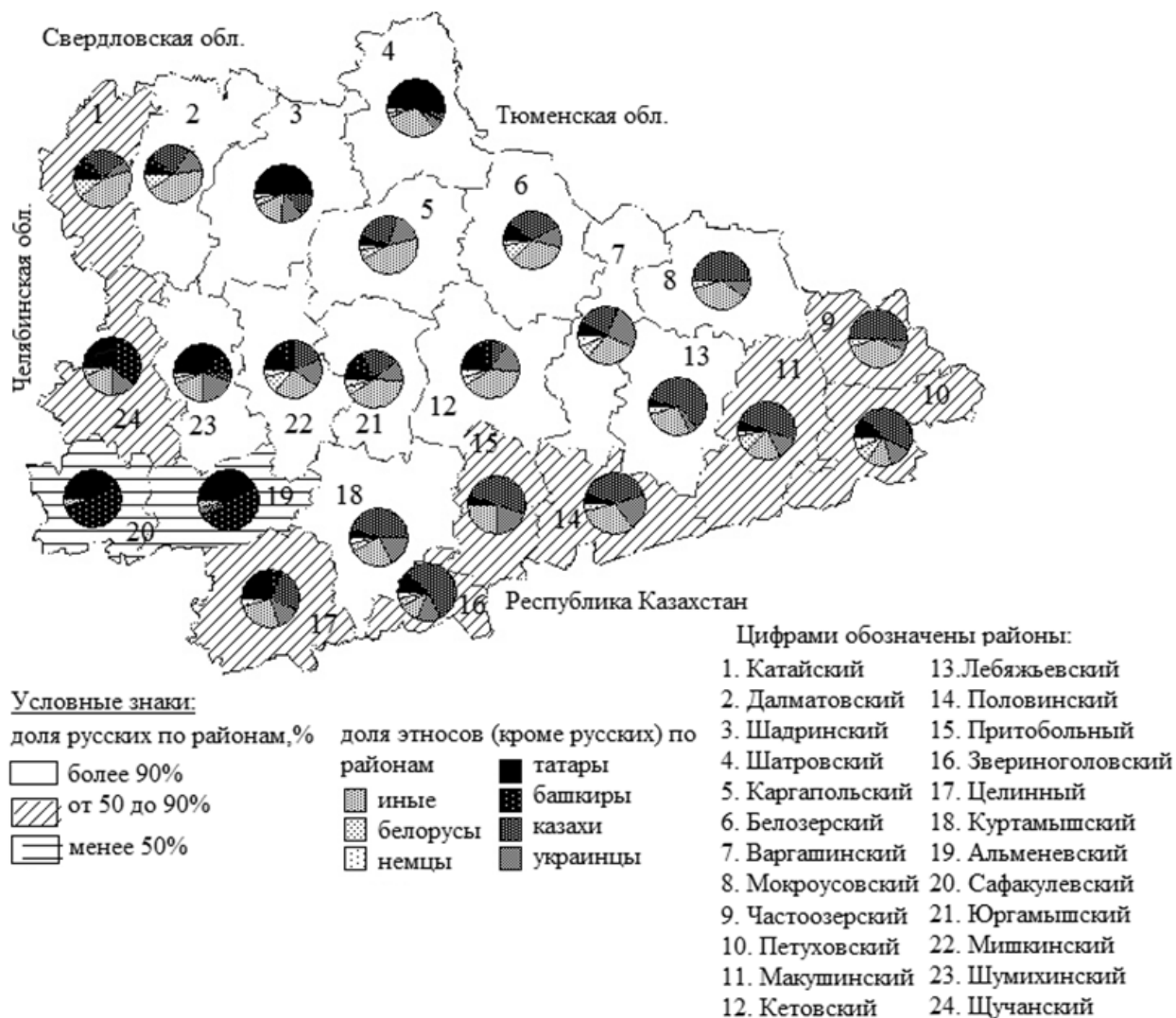


Рис. 1. Этническая структура населения Курганской области

Казахское население области имеет повышенную долю (1.3%) по сравнению с Россией (0.45%) и большинством регионов Урала, уступая только Оренбургской области (6.0%). В остальных субъектах Уральского региона доля казахского населения крайне низка, в силу географических и исторических особенностей развития. Концентрация казахов по районам области не превышает 13% (Макушинский и Куртамышский районы – по 12.1% в каждом, Звериноголовский, Половинский районы – по 8.3%, а в остальных районах – менее 8%). Коэффициент локализации колеблется от 0.16 в Сафакулевском до 6.6 в Звериноголовском районе. Пять районов имеют КЛ выше единицы, большая часть представителей данной этнической группы тяготеет к пограничным, этноконтактным с Казахстаном районам области (Притобольный – ок. 3%, Частоозерский – 5%, Макушинский – 8.3%, Звериноголовский – 9.9%).

Казахское население дисперсно, не образует компактных районов проживания. Дисперсность расселения казахов объясняется тем, что они значительно позже образовывали постоянные поселения, т.к. данная территория продолжительное время входила в состав татарского Сибирского ханства.

Таким образом, несмотря на довольно продолжительное по времени и исторически разнообразное этнокультурное пространство, современная ситуация в Курганской области отличается значительной унификацией основных форм этнокультурной жизнедеятельности.

Отмечается доминирование русского языка, что связано с его интегративной и этноконтактной ролью. Русский язык выступает в качестве универсального средства культурного диалога. Наиболее высокий уровень интегрирования (99–100%) отмечается у изначально нерусскоязычных представителей славянской группы (украинцев, белорусов), а также этнофоров татар, башкир и казахов, которые в силу исторических причин долгое время взаимодействовали с русскими в Южном Зауралье. К менее интегрированным относятся представители этнических образова-

ний, являющиеся выходцами из азиатских стран, как входящих, так и не входящих в состав СНГ.

В зависимости от владения русским языком и языком своей национальности среди представителей (этнофоров) изначально нерусскоязычных этнообразований можно выделить три типа «языковых коллективов»:

- владеющих как русским языком (в разной степени), так и языком своего этноса (в разной степени);

- владеющих только русским языком;

- владеющих только языком своей национальности.

По итогам переписи 2010 г., на владение татарским языком указали 59.6% от численности данного этноса, башкирским – 67.7%, казахским – 49.5, украинским – 36.6%. Максимальную степень владения родным языком показывают жители сельской местности, владеющих только языком своего народа в Курганской области немного – около 1%.

Материалы социологического опроса свидетельствуют о несколько большем владении: так, первые два типа языковых коллективов представлены соответственно: у татар – 73 и 27%; у башкир – 84 и 16%; у казахов – 97 и 3%; у украинцев – 44 и 56%; у белорусов – 35 и 65%. В 1993–1994 гг. среди татарского населения доля владеющих русским языком и языком своего народа была еще большей – 81%, у башкир – 89%.

Вместе с тем владение русским языком изначально у нерусскоязычных представителей не всегда означает, что они признают русский язык родным. Так, в качестве родного языка на русский указывают: среди татар около 9%, башкир – 5, казахов – 2%. В большинстве случаев русский в качестве родного языка характерен для городских жителей.

Таким образом, мы сталкиваемся с явлением *этнической реиндификации*. Процессы этнической реиндификации (увеличение доли языкового коллектива, например, владеющего только русским языком среди нерусских этнических образований) свидетельствуют о глубоких трансформационных процессах внутри этнических групп. Утрата знания на-



ционального языка (даже частичная) грозит рисками этнокультурной утраты.

Отрицательное влияние на развитие языкового компонента оказала и существовавшая в рамках СССР политика языковой русификации. Развивалась тенденция вытеснения национальных языков в сферу семейно-бытового общения, зачастую в форме смешанной (русско-татарской, русско-башкирской и т.д.) речи. Так, в районах компактного проживания башкирского и татарского этносов в рамках области только 42% татар и 24% башкир используют язык своей национальности в профессиональной деятельности.

Однако данные ассимиляционные тенденции во многом являются вынужденными, «ложными» в силу недостаточности изучения языков в школах, центрах национальных культур. Так, в 30–40-х гг. XX в. на территории современных Альменевского и Сафакулевского районов насчитывалось 67 татаро-башкирских школ, в т.ч. 9 неполных средних и 58 начальных, обучением родному языку было охвачено 87% детей татарской и башкирской национальностей. В настоящее же время таких школ насчитывается 21. Кроме того, одна в Шадринском районе, где язык изучается как самостоятельный предмет, еще в одной школе казахский язык изучается факультативно (Петуховский район) и работает т.н. воскресная школа в р.п. Лебяжье.

По национальным языкам школы распределяются следующим образом: башкирский язык – 18 школ, татарский язык – 5 школ, казахский язык – 2 школы. Помимо школ, национальные языки изучаются при центрах национальных культур и в Домах народного творчества. В частности, казахский язык изучается в селах компактного проживания казахов: Обутковское, Деулино, Большое Приютное, Каманганское, Лебяжье. Белорусский, украинский языки преподаются при центрах национальных культур «Батьковщина» и «Ясень» в г. Кургане, при которых действуют воскресные школы и лингвистические курсы.

Таким образом, системным изучением национальных языков охвачена только

треть школьников. В регионе в целом и в отдельных его районах зачастую наблюдается искусственное сужение области их применения, что приводит к риску утраты и обеднению этнокультурного пространства региона.

*Работа выполнена в рамках гранта РФФИ 14-46-00008 Теория и методология оценки профессиональных рисков работников промышленного комплекса РФ.*

### Литература

1. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы и ее окружения. М.: Наука, 1987. 340 с.
2. Вернадский В.И. Философские мысли натуралиста. М.: Наука, 1988. С. 225.
3. Гладкий И.Ю. Географические основы этнической экологии: автореф. дис. ... д.г.н. СПб., 2006. 45 с.
4. Гумилев Л.Н. Этногенез и биосфера Земли. 2-е изд. Л.: ЛГУ, 1989. 495 с.
5. Завьялова О.Г. Природопользование и развитие: этногеосистемный анализ (на примере Южного Зауралья). Тюмень: ТГУ, 2004. 252 с.
6. Абросимова И.В. Формирование и современное состояние этноконфессионального пространства Курганской области: автореф. дис. ... к.г.н. Пермь, 2013. 23 с.
7. Окончательные итоги Всероссийской переписи населения 2010 года. URL: <http://www.perepis-2010.ru>.

### References

1. Vernadskiy V.I. Khimicheskoe stroenie biosfery i ee okruzheniya [The chemical structure of the Earth's biosphere and its surroundings]. Moscow, Nauka, 1987. 340 p. (In Russian).
2. Vernadskiy V.I. Filosofskie mysli naturalista [Philosophical thoughts of a naturalist]. Moscow, Nauka, 1988. 225 p. (In Russian).
3. Gladkiy I.Yu. Geograficheskie osnovy etnicheskoy ekologii [Geographical basics of ethnic ecology]. Doct. sci. thesis in Geography. St. Petersburg, 2006. 45 p. (In Russian).
4. Gumilev L.N. Etnogenez i biosfera Zemli [Ethnogenesis and the Earth's biosphere]. Second edition. Leningrad, Leningrad State University Publ., 1989. 495 p. (In Russian).
5. Zavyalova O.G. Prirodopolzovanie i razvitie: etnogeosistemnyy analiz (na primere Zauralya) [Nature management and development: Ethnogeosystemic

analysis (with the Trans-Urals used as an example)]. Tyumen, Tyumen State University Publ., 2004. 252 p. (In Russian).

6. Abrosimova I.V. Formirovanie i sovremennoe sostoyanie etnokonfessionalnogo prostranstva Kurganskoy oblasti [Formation and current condition of

the ethno-confessional space in the Kurgan region]. Ph.D. thesis in Geography. Perm, 2013. 23 p. (In Russian).

7. Okonchatelnye itogi Vserossiyskoy peripisi naseleniya 2010 goda [Final results of the 1010 All-Russia population census]. Available at: <http://www.perepis-2010.ru>. (In Russian).

---

**SYSTEM-STRUCTURAL SPATIAL ANALYSIS OF ETHNO-CULTURAL DEVELOPMENT IN THE SOUTHERN TRANS-URALS (WITH THE KURGAN REGION USED AS AN EXAMPLE)**

© O.G. Zavyalova, I.V. Abrosimova

Kurgan State University,  
25, ulitsa Gogolya, 640000, Kurgan, Russia

Today there are a number of paradigms recognized in science, such as spatio-temporal, geographical and geosystemic. Thus, the spatio-temporal paradigm is associated with the systemic definition and analysis of the «genetic code» of an ethnic group that has formed a particular natural and economic landscape. In this case, geosystems should be considered with regard to their «natural» (landscape) component and peculiar features of nature management performed by ethnic groups as major «nature consumers». The interaction between ethnosystems and geosystems results in the formation of integrated units, which can be defined as «ethnogeosystems».

Ethnogeosystems are stable ethnic communities formed during the development of «parent» landscapes (natural resource management) and their «symbiosis».

Based on their own concept of ethnogeosystemic analysis of the Southern Trans-Urals, the authors propose an integrated system-structural spatial analysis of the evolution of nature management and ethno-cultural space in the Kurgan region.

The authors reveal specific characteristics and regular features in the development of the forest-steppe Trans-Urals during the past millennium, in particular, the principle of structural ethnic contactness in the formation of the Turkic-Slavic ethno-contact area, the binarity principle in the development and others.

The paper thoroughly analyzes contemporary ethnic and linguistic composition of the population in the Kurgan region as well as the existing problems in ethnic and cultural development of the language environment.

Key words: ethnogeosystemic and spatio-temporal analysis, resettlement, ethno-cultural development and transformation, ethno-contact area, ethnic and linguistic composition of the population.

УДК 316.3

## ПОНЯТИЕ ЗДОРОВЬЯ. ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ

© Ю.В. Мигунова

Исследуется проблема состояния здоровья населения, обусловливается актуальность выбранной темы, раскрывается ее приоритетный характер для общества и государства. Отмечается, что состояние здоровья населения и успешное развитие системы отечественного здравоохранения в первую очередь зависят от социальной устойчивости современного российского общества, от степени социальной безопасности и качества жизни в целом.

Раскрываются особенности понятия здоровья, многообразие подходов его определения. Анализ представленных трактовок показал, что наиболее точно понятие здоровья отразилось в концепции ценностно-социальной модели, предложенной П.И. Калью.

Выделены виды здоровья, подразделяющиеся на индивидуальное и общественное. В соответствии с ними разработаны ряд показателей оценки его состояния. Особое внимание требуют показатели оценки общественного здоровья, поскольку в них сконцентрирована социальная составляющая данной проблемы. Индивидуальные показатели оценки в основном характеризуются в рамках медицинской науки. Кроме того, в рамках статьи очерчены факторы, влияющие на состояние здоровья населения (условия и образ жизни людей, состояние окружающей среды, генетические факторы, медицинское обеспечение), выявлены их процентное соотношение и уровень значимости в соответствии друг с другом.

Ключевые слова: здоровье населения, здравоохранение, факторы, детерминирующие здоровье человека, ценностно-социальная модель.

Одним из факторов социальной устойчивости является состояние здоровья населения. Оно представляет собой своеобразный индикатор, показывающий как изменения в социальной жизни отражаются на населении в целом, а также на развитии системы отечественного здравоохранения в частности. Уровень состояния здоровья населения является реакцией на новые условия жизнедеятельности людей. Несмотря на то, что данная проблема в РФ ни раз была признана приоритетной, ее острота и актуальность продолжают оставаться на прежнем уровне. Естественно, что состояние здоровья населения и успешное развитие системы отечественного здравоохранения в первую очередь зависят от социальной устойчивости современного российского общества, от степени социальной безопасности и качества жизни в целом.

Состояние и перспективы развития здравоохранения России во многом определяются уровнем здоровья населения и социально-экономическими преобразованиями, происходящими в обществе. Это проявляется в таких процессах, как демонополизация системы здравоохранения, децентрализация управления отраслью, возникновение новых экономических отношений, развитие современных форм оказания медицинской помощи и технологий [1].

Если не решать проблему состояния здоровья населения, то ее социальным следствием может быть рост заболеваемости, инвалидизации, смертности, причем не только взрослых, но и детей. Поэтому состояние здоровья населения, а также сама система здравоохранения РФ нуждается в пристальном исследовательском внимании.

МИГУНОВА Юлия Владимировна – к.соц.н., Институт социально-экономических исследований Уфимского научного центра РАН, e-mail: ignatenko\_isei@mail.ru

Эта тема требует внимания и изучения еще и потому, что выход страны на траекторию инновационной экономики предполагает создание качественно новой рабочей силы, человека, обладающего не только профессиональными знаниями, но и психофизиологической устойчивостью, позволяющими принимать единственно верное решение в сложных нестандартных ситуациях. Формирование такого человека начинается со здорового образа жизни и должно стать приоритетной задачей государства.

Определяя понятие здоровья, необходимо обратиться к историческому аспекту характеристики этого термина. Так, например, в энциклопедическом словаре Брокгауза и Эфрона дается следующее определение «здоровья»: «**Здоровье** (sanitas) – есть состояние организма, все части которого нормально развиты и правильно функционируют. Такое состояние абсолютного здоровья едва ли существует, так как трудно найти организм, все части которого имели бы нормальные величины, силу, форму и структуру и все отправления которых совершались бы вполне правильно. В жизни довольствуются не идеальным, но относительным здоровьем, при котором развитие и отправление одних частей хотя и бывает сильнее других, но недостатки последних не отзываются вредно на всем организме. Здоровье в указанном смысле зависит от условий наследственности, влияний внешнего мира на живой организм, правильного физического и умственного воспитания, окружающей среды и проч. Все эти влияния подробно изучаются наукой о здравоохранении, т.е. гигиеной, правила которой приобрели в наше время полное право гражданства» [2].

Это определение представляет собой одну из первых попыток научного осмысления такого многоуровневого понятия, как «здоровье».

В 1948 г. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) в своем Уставе охарактеризовала здоровье как «состояние полного физического, духовного и социального благополучия, а не только отсутствие болезней и физических дефектов» [1]. Такая характеристика термина «здоровье» является основой,

принятой в большинстве стран мира. Несмотря на это, с нашей точки зрения, оно не раскрывает всего разнообразия и глубины соответствующего понятия, поскольку в нем отсутствует понимание ценности здоровья, его важности для человека.

В 1975 г. академик РАМН, профессор В.П. Казначеев (1975) дал следующее определение данного понятия: «**Здоровье** – это процесс сохранения и развития биологических, психических, физиологических функций, оптимальной трудоспособности и социальной активности человека при максимальной продолжительности его активной жизни» [3].

Данное определение более полно подчеркивает и раскрывает сущность категории «здоровья», его наивысшую ценность для человека.

Необходимо отметить, что такая сложная и многоуровневая категория, как здоровье, не может быть описана двумя-тремя определениями. Так, например, исследователь П.И. Калью в работе «Сущностная характеристика понятия «здоровье» и некоторые вопросы перестройки здравоохранения: обзорная информация» рассмотрел 79 соответствующих определений, сформулированных в разных странах мира, в различное время и представителями различных научных дисциплин [4].

Среди определений встречаются следующие [5]:

1. **Здоровье** – нормальная функция организма на всех уровнях его организации, нормальный ход биологических процессов, способствующих индивидуальному выживанию и воспроизводству.
2. Динамическое равновесие организма и его функций с окружающей средой.
3. Участие в социальной деятельности и общественно полезном труде, способность к полноценному выполнению основных социальных функций.
4. Отсутствие болезни, болезненных состояний и изменений.
5. Способность организма приспособляться к постоянно изменяющимся условиям внешней среды.

Согласно П.И. Калью, все возможные характеристики здоровья могут быть сведены к следующим концепциям:

- Медицинская модель – для определенных, содержащих медицинские признаки и характеристики; здоровье как отсутствие болезней и их симптомов.

- Биомедицинская модель – отсутствие субъективных ощущений нездоровья и органических нарушений.

- Биосоциальная модель – включаются рассматриваемые в единстве медицинские и социальные признаки, при этом приоритет отдается социальным признакам.

- Ценностно-социальная модель – здоровье как ценность человека.

Трудно переоценить значение категории «здоровья» для человека, поэтому ценностно-социальная модель трактовки этого понятия должна быть положена в основу государственной и социальной политики в сфере здравоохранения. Такое понимание здоровья должно детерминировать цели государственной социальной политики, направленные не только на снижение общего уровня заболеваемости, смертности в стране, но и на достижение высокого качества жизни, общего социального благополучия. Совокупность этих факторов в целом и определяет социальную устойчивость региона.

Основываясь на приведенных определениях категории «здоровья», необходимо выделить следующие его **признаки**.

1. Оптимальное функционирование организма на всех уровнях его организации – клеточном, гистологическом, органном и др. Нормальное течение физиологических и биохимических процессов, способствующих индивидуальному выживанию и воспроизводству.

2. Динамическое равновесие организма, его функций и факторов внешней среды или статическое равновесие (гомеостаз) организма и среды. Критерием оценки равновесия является соответствие структур и функций организма окружающим условиям.

3. Способность к полноценному выполнению социальных функций, участие в соци-

альной деятельности и общественно полезном труде.

4. Способность человека приспособиться к постоянно меняющимся условиям существования в окружающей среде (адаптация). Здоровье отождествляют с понятием адаптации, так как, чтобы система могла сохраняться, она должна изменяться, приспосабливаться к переменам, происходящим в окружающей среде.

5. Отсутствие болезней, болезненных состояний и болезненных изменений.

6. Полное физическое, духовное, умственное и социальное благополучие, гармоническое развитие физических и духовных сил организма, принцип его единства, саморегуляции и гармоничного взаимодействия всех его органов [3].

Здоровье как социальное явление имеет многоуровневую структуру. Поэтому выделяют **индивидуальное** и **общественное здоровье**. Существуют разнообразные показатели оценки определенных видов здоровья. Научно обоснованное понимание проблемы состояния здоровья населения характеризуется двухаспектным анализом оценки здоровья. *Медицинский аспект* понимания проблемы представлен показателями оценки индивидуального здоровья, а *социальный* – показателями оценки общественного здоровья, исследуемыми с помощью статистических данных.

Показатели оценки индивидуального здоровья:

- антропометрические (рост, вес, объем грудной клетки, геометрическая форма органов и тканей);

- физические (частота пульса, артериальное давление, температура тела);

- биохимические (содержание химических элементов в организме);

- биологические (наличие вирусных и инфекционных болезней) и др. [6].

*Показатели оценки общественного здоровья:*

- показатели заболеваемости населения;

- инвалидности;

- показатели здоровья матери и ребенка (материнская и детская смертность).

**Заболееваемость населения** – это важнейшая составляющая комплексной оценки здоровья населения. Учет заболеваемости ведется практически всеми медицинскими учреждениями. Анализ заболеваемости необходим для выработки управленческих решений как на федеральном, так и на региональном и муниципальном уровнях управления системой здравоохранения. Только на ее основе возможны правильное планирование и прогнозирование развития сети учреждений здравоохранения, оценка потребности в различных видах ресурсов. Показатели заболеваемости служат одним из критериев качества работы медицинских учреждений, системы здравоохранения в целом.

Так, например, на территории РФ в январе–феврале 2014 г., по сравнению с соответствующим периодом 2013 г., эпидемиологическая обстановка характеризовалась ростом заболеваемости населения по ряду инфекционных заболеваний, в их числе: болезнь, вызванная вирусом иммунодефицита человека, и бессимптомный инфекционный статус, вызванный вирусом иммунодефицита человека (ВИЧ), острый гепатит А, острый гепатит С, бактериальная дизентерия.

В феврале 2014 г., по сравнению с соответствующим месяцем 2013 г., на 22.4% больше выявлено пациентов с болезнью, вызванной вирусом иммунодефицита человека, и бессимптомным инфекционным статусом, вызванным вирусом иммунодефицита человека (ВИЧ), на 21.9% – с острым гепатитом А, на 4.2% – с острым гепатитом С, на 0.7% – с острыми кишечными инфекциями.

Среди заболевших инфекционными болезнями в январе–феврале 2014 г. дети в возрасте 0–17 лет составляли: по коклюшу – 96.4%, острым кишечным инфекциям – 71.8%, менингококковой инфекции – 66.5%, паротиту эпидемическому 60.9%, острому гепатиту А – 29.2%, краснухе – 11.8%.

В январе–феврале 2014 г. зарегистрировано 11 079 человек с болезнью, вызванной вирусом иммунодефицита человека, и с бессимптомным инфекционным статусом, вызванным вирусом иммунодефицита человека

(ВИЧ), в том числе детей в возрасте 0–17 лет – 182 человека. Более половины (51.3%) всех выявленных больных ВИЧ-инфекцией учтено в 11 субъектах РФ: в Кемеровской области, Санкт-Петербурге, Иркутской, Самарской областях, Красноярском крае, Нижегородской области, Республике Башкортостан, Пермском крае, Свердловской, Омской и Новосибирской областях [7].

**Показатели инвалидности** служат важными медико-социальными индикаторами общественного здоровья, характеризуют экологическое состояние территории, уровень социально-экономического развития общества. В РФ на учете в органах социальной защиты населения состоит свыше 10 млн инвалидов. Ежегодно впервые признаются инвалидами свыше 1 млн человек [1].

Уровень инвалидизации населения оценивается показателем первичной инвалидизации. В 2012 г. в РФ этот показатель составил 69.1 на 10 тыс. населения [8]. Для анализа инвалидности по причинам рассчитывают *показатель структуры первичной инвалидности по заболеваниям*.

В структуре первичной инвалидности взрослого населения за 2012 г. первое место занимают болезни системы кровообращения (25.1 на 10 тыс. чел. населения), далее – злокачественные новообразования (15.8), болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани (6.9), психические расстройства и расстройства поведения (2.9), болезни нервной системы (2.5) и т.д. [8].

С помощью показателей здоровья матери и ребенка производится качественная оценка состояния здоровья населения. Данные показатели представлены уровнем материнской и детской смертности.

**Материнская смертность** – это смерть женщины, наступившая в период беременности, независимо от ее продолжительности, или в течение 42 дней после окончания беременности вне зависимости от причины, связанной с беременностью,отягощенной ею или ее ведением, но не от несчастного случая или внезапно возникшей причины. Данный показатель позволяет оценить все потери бере-

менных (от аборт, внематочной беременности и т.д.), а также рожениц и родильниц в течение 42 дней после окончания беременности. За последние 5 лет коэффициент материнской смертности (на 100 тыс. родившихся живыми) в РФ значительно снизился: 2009 г. – 22; 2010 г. – 16.5; 2011 г. – 16.2; 2012 г. – 11.5 [9].

**Показатели детской смертности** характеризуют не только состояние здоровья детского населения, но и уровень социальной устойчивости общества в целом. Правильный и своевременный анализ детской смертности позволяет разработать ряд конкретных мер по улучшению здоровья беременных и детей, оценить эффективность проводимых профилактических мероприятий, работу местных органов управления здравоохранением по охране материнства и детства. Детская смертность имеет сложную структуру, детерминированную причинами смерти и возрастом умерших детей. В статистике детской смертности выделяют младенческую смертность (показатели смертности детей на 1 году жизни) и показатели смертности детей в возрасте от 1 года до 17 лет включительно [1]. Важной составляющей этого показателя является младенческая смертность. По мнению ВОЗ, показатели младенческой смертности отражают зрелость и эффективность национальной системы здравоохранения.

Анализируя динамику младенческой смертности, следует подчеркнуть, что в конце 2011 г. был достигнут самый низкий ее уровень за всю историю нашей страны – 7.4 промилле на 1000 родившихся живыми по отечественным критериям. Важно подчеркнуть, что в регионах РФ с качественно выстроенной системой службы родовспоможения и неонатологии, имеющих действующие перинатальные центры, младенческая смертность продолжает снижаться, несмотря на новые критерии регистрации, и достигла от 4.3 до 6.5 промилле на 1000 родившихся живыми, тогда как в других регионах увеличилась до 12–21 промилле [10].

Однако есть и негативные тенденции. Так, по данным Федеральной службы госу-

дарственной статистики, рост младенческой смертности произошел во всех федеральных округах РФ, в большей степени в Приволжском Федеральном округе (на 22.2%) [11].

Исследуя коэффициенты младенческой смертности в РБ, нужно подчеркнуть, что на протяжении последних лет наша республика относится к числу регионов с устойчивым снижением уровня данного показателя. Но в некоторых районах Башкортостана показатели из года в год остаются высокими и даже ухудшаются. В целом по республике этот показатель составляет 7.6 промилле, что заметно ниже, чем в среднем по России (8.4) и Приволжскому Федеральному округу (8.2). Целевой показатель младенческой смертности на 2014 г. в РБ – 7.4 промилле [12].

Такая плачевная ситуация связана с неудовлетворительным уровнем здравоохранения в республике. В частности, по данным Минздрава РБ, одним из главных негативных факторов, обуславливающих рост младенческой смертности, является низкая укомплектованность учреждений здравоохранения врачами по целому ряду специальностей. Так, укомплектованность акушерами-гинекологами составляет 60%, неонатологами – 50%, педиатрами – 63%, реаниматологами-анестезиологами – 47% [12]. Естественно, что недостаток детских врачей негативно сказывается на всей системе здравоохранения детей, в частности, приводит к увеличению младенческой смертности.

Состояние здоровья населения детерминировано влиянием факторов, характеризующих наследственность, образ жизни человека, среду его обитания и, наконец, саму систему здравоохранения. Выделены факторы, влияющие на здоровье человека, и их процентное соотношение: условия и образ жизни людей (50–55%); состояние окружающей среды (20–25%); генетические (15–20%); медицинское обеспечение (10–15%) [3].

Анализ представленных факторов демонстрирует, что именно социальная среда, качество жизни, социальная безопасность в целом детерминируют необходимый уровень здоровья населения. Естественно, что состо-

яние окружающей среды, наследственная предрасположенность к определенным заболеваниям также играют не последнюю роль в научном осмыслении факторов роста общей заболеваемости, но социальное самочувствие человека, качественное питание, социально адаптированный образ жизни являются приоритетными в снижении заболеваемости. Интересно, что такой, казалось бы, важный фактор, как состояние здравоохранения страны, поставлен экспертами на последнее место. В этой ситуации снова прослеживается детерминирующее воздействие социальных факторов, поскольку качественное здравоохранение априори невозможно без соответствующего уровня жизни населения, его социальной адаптации.

В практической деятельности обычно оценивается здоровье отдельного человека, но для принятия управленческих решений нужно анализировать здоровье определенных многочисленных групп людей. Правильно собранные и проанализированные статистические данные о состоянии здоровья населения определяют планирование оздоровительных мероприятий по сохранению и укреплению здоровья на государственном и муниципальном уровнях, разработку современных форм и методов работы организаций здравоохранения, контроля их эффективности.

Итак, собственно жизнь, психофизиологическое и социальное здоровье человека, обеспечение оптимальных возможностей его социализации как необходимого условия формирования личности, ее активной жизненной позиции, гражданственности, профессиональной зрелости делают решение проблем здоровья приоритетными для государства и актуальными для исследования.

### Литература

1. Медик В.А., Юрьев В.К. Общественное здоровье и здравоохранение: учебник. URL: [http://vmede.org/sait/?id=Obshesyvennoe\\_3d\\_medik\\_2012&menu=Obshesyvennoe\\_3d\\_medik\\_2012&page=4](http://vmede.org/sait/?id=Obshesyvennoe_3d_medik_2012&menu=Obshesyvennoe_3d_medik_2012&page=4).
2. Здоровье, состояние организма / Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: В 86 томах. 82 т. СПб., 1890–1907 // Википедия: Свобод-

ная энциклопедия. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/>.

3. Основы медицинских знаний и здорового образа жизни / Медицинский портал про здоровье Valeologija.ru. URL: <http://valeologija.ru/knigi/posobie-po-omz/488-factory-obespecheniya-zdorovya-sovremennogo-cheloveka>.

4. Калью П.И. Сущностная характеристика понятия «здоровье» и некоторые вопросы перестройки здравоохранения: обзорная информация. М., 1988.

5. Психология здоровья : учеб. для вузов / под ред. Г.С. Никифорова. СПб.: Питер, 2003. 607 с.

6. Здоровье. Википедия: свободная энциклопедия. URL: <http://ru.wikipedia.org/>

7. Социально-экономическое положение России – 2014 г. / Федеральная служба государственной статистики. URL: [http://www.gks.ru/bgd/regl/b14\\_01/Main.htm](http://www.gks.ru/bgd/regl/b14_01/Main.htm)

8. Здравоохранение / Федеральная служба государственной статистики. URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/population/healthcare/#](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/healthcare/#)

9. Демография / Федеральная служба государственной статистики. URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/population/](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/)

10. Доклад о положении детей и семей, имеющих детей, в Российской Федерации на 2012 г. / Министерство труда и социальной защиты РФ. URL: <http://www.rosmintrud.ru/docs/mintrud/protection/69>

11. Федеральная служба государственной статистики. URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/#](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/#)

12. Правительство Башкирии разберется в причинах резкого роста младенческой смертности в ряде районов / Новости Mail.Ru. URL: <http://news.mail.ru/inregions/volgaregion/2/politics/17866817/?frommail=1>

### References

1. Medik V.A., Yuryev V.K. Obshchestvennoe zdorovye i zdravookhranenie [Public health and healthcare]. Manual. Available at: [http://vmede.org/sait/?id=Obshesyvennoe\\_3d\\_medik\\_2012&menu=Obshesyvennoe\\_3d\\_medik\\_2012&page=4](http://vmede.org/sait/?id=Obshesyvennoe_3d_medik_2012&menu=Obshesyvennoe_3d_medik_2012&page=4). (In Russian).
2. Zdorovye, sostoyanie organizma [Health, organism status]. Brockhaus and Efron Encyclopedic Dictionary. In 86th volumes. Vol. 82. St. Petersburg, 1890–1907. Wikipedia, the free encyclopedia. Available at: <http://ru.wikipedia.org/wiki/>. (In Russian).
3. Osnovy meditsinskikh znaniy i zdorovogo obraza zhizni [Fundamentals of medical knowledge and healthy lifestyle]. Health portal Valeologija.ru. Available at: <http://valeologija.ru/knigi/posobie-po-omz/488->



factory-obespecheniya-zdorovya-sovremennogo-cheloveka. (In Russian).

4. Kalju P.I. Sushchnostnaya kharakteristika ponyatiya "zdorovye" i nekotorye voprosy perestroyki zdravookhraneniya [Health concept essential characteristics and some issues of healthcare modernization]. Survey Information. Moscow, 1988. 158 p. (In Russian).

5. Nikiforov G.S, ed. Psikhologiya zdorovya [Health psychology]. Manual for institutions of higher education. St. Petersburg, Piter, 2003. 607 p. (In Russian).

6. Zdorovye [Health]. Wikipedia, the free encyclopedia. Available at: <http://ru.wikipedia.org/>. (In Russian).

7. Sotsialno-ekonomicheskoe polozhenie Rossii – 2014 g. [Socio-economic situation in Russia – 2014]. Federal State Statistics Service. Available at: [http://www.gks.ru/bgd/regl/b14\\_01/Main.htm](http://www.gks.ru/bgd/regl/b14_01/Main.htm). (In Russian).

8. Zdravookhranenie [Public healthcare]. Federal State Statistics Service. Available at: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/population/healthcare/#](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/healthcare/#). (In Russian).

9. Demografiya [Demography]. Federal State Statistics Service. Available at: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/#](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/#). (In Russian).

10. Gosudarstvennyy doklad o polozhenii detey i semej, imeyushchikh detey, v Rossiyskoy Federatsii na 2012 g. [State report on the status of children and families having children in the Russian Federation for 2012]. Russian Ministry of Labour and Social Care. Available at: <http://www.rosmintrud.ru/docs/mintrud/protection/69>. (In Russian).

11. Federalnaya sluzhba gosudarstvennoy statistiki [Federal State Statistics Service]. Available at: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/#](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/#). (In Russian).

12. Pravitelstvo Bashkirii razberetsya v prichinakh rezkogo rosta mladencheskoy smertnosti v ryade rayonov [The Government of Bashkortostan will investigate the reasons for sharply growing infant mortality rate in some districts]. News.Mail.Ru. Available at: <http://news.mail.ru/inregions/volgaregion/2/politics/17866817/?frommail=1>. (In Russian).



## **HEALTH CONCEPT. INDICATORS OF PUBLIC HEALTH ASSESSMENT**

© **Yu.V. Migunova**

Institute for Social and Economic Studies, Ufa Scientific Centre, RAS,  
71, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia

The paper investigates the problem of public health, substantiates the relevance of the chosen topic and reveals its priority for the state and society. It is noted that public health and successful development of the national healthcare system are primarily dependent on social sustainability of the modern Russian society and the degree of social security and quality of life in general.

The paper describes the peculiar features of health concept and diverse approaches to its definition. Analysis of the interpretations suggests that health concept has found its finest reflection in the social value model proposed by P.I. Kalyu.

Types of health are highlighted and subdivided into individual and community ones. Accordingly, a number of indicators have been developed to assess health status. Special attention are given to the indicators of public health assessment, as they concentrate the social component of the problem. Individual assessment indicators are generally characterized as part of medical science. In addition, the paper outlines the factors affecting health status (people's living conditions and lifestyle, state of the environment, genetic factors, health service support) and determines their percentage and the level of importance.

Key words: population health, public healthcare, factors determining human health, social value model.

УДК 364.65

## СОЦИАЛЬНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ДЕТЕЙ-СИРОТ И ДЕТЕЙ, ОСТАВШИХСЯ БЕЗ ПОПЕЧЕНИЯ РОДИТЕЛЕЙ, В УСЛОВИЯХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ НЕУСТОЙЧИВОСТИ

© Р.М. Садыков

Рассматривается социальное положение детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей, в условиях социально-экономической неустойчивости общества. Неустойчивость социально-экономической и политической жизни значительно расширила круг различных факторов, активно стимулирующих сиротство, особенно социальное сиротство. Необходимость изучения сиротства как социальной проблемы обусловлена постоянным ростом числа детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей, а также обострившейся проблемой социального сиротства в современном обществе. Определено, что основную массу детей-сирот составляют социальные сироты.

Выделены основные причины появления детей-сирот в современном российском обществе: изменение ценностных ориентаций в обществе; падение престижа института семьи; нарушение структуры и функций семьи; ухудшение условий содержания детей в семье; увеличение числа родителей, ведущих аморальный образ жизни; рост внебрачной рождаемости; материальные и жилищные трудности семей и другие. Современная семья как социальный организм подверглась разрушительному воздействию различных социальных экспериментов. Формально ведущие функции семьи сохранились, но реализация их стала иной. Снижение уровня воспитательного воздействия семьи привело к тому, что ее позиции в духовном, социальном и психологическом становлении нового поколения потеснили другие субъекты и институты.

Приводятся статистические данные о положении детей-сирот в Российской Федерации и Республике Башкортостан. Показано, что приоритетной формой устройства детей, оставшихся без попечения родителей, является передача их в семьи: усыновление (удочерение), опека (попечительство) или приемная семья.

Ключевые слова: дети-сироты, дети, оставшиеся без попечения родителей, причины появления детей-сирот, социальные проблемы детей-сирот, социальное положение детей-сирот.

В условиях социально-экономической неустойчивости общества ситуация с детьми-сиротами складывается крайне неблагоприятно. Неустойчивость социально-экономической и политической жизни значительно расширила круг социальных, экономических, психосоциальных, педагогических факторов, активно стимулирующих сиротство, особенно социальное сиротство. Современная семья как социальный организм подверглась разрушительному воздействию различных социальных экспериментов. Формально ведущие функции семьи сохранились, но реализация их стала иной. Снижился уровень репродуктивного поведения женщин. Свообразным методом социальной

защиты взрослых россиян явился отказ от рождения детей. Наблюдается снижение прочности семейных уз, нарастание равнодушия членов семьи друг к другу. Преобладание в качестве типичной российской семьи малодетной ячейки, где «каждый сам по себе», способствовало распространению среди детей школьного возраста феномена социального одиночества, повышенной тревожности, низкой способности к эмпатии (сопереживанию). Снижение уровня воспитательного воздействия семьи привело к тому, что ее позиции в духовном и психологическом становлении нового поколения потеснили средства массовой информации и неформальные группировки [1].

САДЫКОВ Рамиль Мидхатович – к.соц.н., Институт социально-экономических исследований Уфимского научного центра РАН, e-mail: SadikovRM@mail.ru

Динамика численности выявленных детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей, за 2008–2012 гг.

Годы	2008	2009	2010	2011	2012
РФ	115 627	106 716	93 806	82 177	74 724
Темп роста	–	0.92	0.88	0.88	0.90
Темп прироста	–	0.92	0.81	0.71	0.64
РБ	4 166	3 933	3 367	2 982	2 544
Темп роста	–	0.94	0.86	0.89	0.85
Темп прироста	–	0.94	0.81	0.72	0.61

Основную массу детей-сирот составляют не прямые сироты, у которых родители умерли по каким-либо причинам, а дети, чьи родители живы, но по каким-то жизненным обстоятельствам отказываются от воспитания детей. Массовый характер этого явления породил новый термин – «социальное сиротство», т.е. сиротство при живых родителях (более 80% детей-сирот в России являются социальными сиротами). Понятие социального сиротства определяется как социальное явление, обусловленное наличием в обществе детей, родители которых умерли, а также детей, оставшихся без попечения родителей вследствие лишения их родительских прав [2, с. 335].

Причинами появления детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей, являются: изменение ценностных ориентаций в обществе; падение престижа института семьи; нарушение структуры и функций семьи; ухудшение условий содержания детей в семье; увеличение числа родителей, ведущих аморальный образ жизни; рост внебрачной рождаемости; материальные и жилищные трудности семей и другие [3, с. 107–113]. Причинами отказа от ребенка являются также социальная несостоятельность родителей, обусловленная тяжелой болезнью ребенка (синдром Дауна, микроцефалия, ДЦП и другие); отсутствие условий для содержания и воспитания детей; тяжелая болезнь самих родителей (рождение детей у психически больных и умственно отсталых лиц почти в три раза превышает средний уровень рождаемости в стране); рост женской преступности,

когда ребенок остается без матери, и другие [4, 5]. Еще одной из существенных причин появления социальных сирот является неблагоприятная обстановка в семье, алкоголизм родителей, наркомания, проституция и т.д. Это семьи, где не занимаются воспитанием ребенка, отсутствует элементарная забота о нем [6, с. 15–23].

В Российской Федерации количество детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей, в 2010 г. составило 665 тыс. чел., в 2011 г. – 654 тыс. чел., в 2012 г. – около 650 тыс. чел. [7, 8]. В Республике Башкортостан на начало 2013 г. насчитывалось 18 336 детей сирот и детей, оставшихся без попечения родителей [9].

В табл. 1 приведена динамика численности выявленных детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей, их индексы роста (изменение численности по сравнению с прошлым годом) и прироста (изменение численности по сравнению с базисным, т.е. с 2008 г.) за 2008–2012 гг. в Республике Башкортостан и Российской Федерации в целом. Численность выявленных детей-сирот как в России в целом, так и в Башкортостане, с каждым годом снижается. Чтобы проиллюстрировать соотношение численности выявленных детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей, в РФ и РБ, на рис. 1 приведена динамика численности данного показателя на 10 000 человек населения [7, 9].

По рис. 1 видно, что с каждым годом снижается количество выявленных в отчетном году детей-сирот, приходящихся на

10 000 человек населения, с темпом в 5%. К 2012 г., по сравнению с 2008 г., их количество снизилось практически в 1.5 раза (в РФ на 24%, в РБ на 33%), что говорит о положительной стороне данного показателя. В Республике Башкортостан численность детей-сирот на 10 000 человек больше, чем по Российской Федерации в целом.

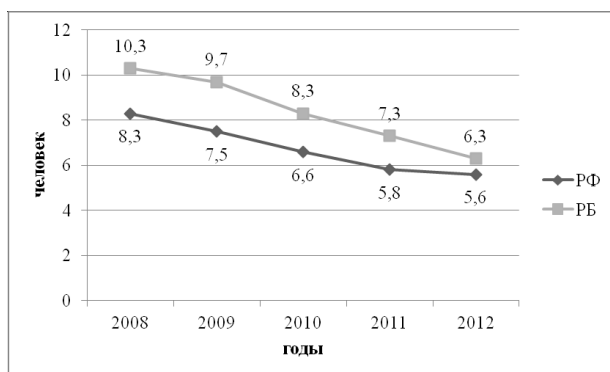


Рис. 1. Динамика численности детей-сирот, приходящихся на 10 000 человек населения

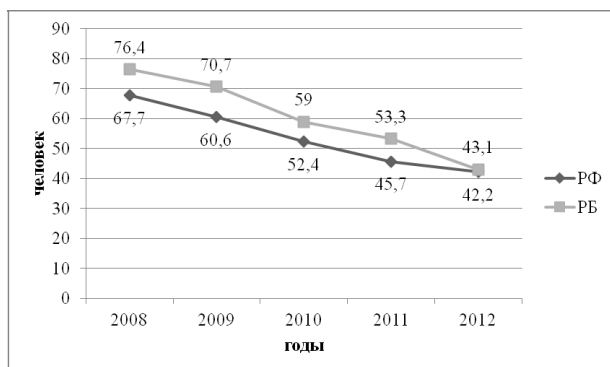


Рис. 2. Численность детей-сирот, приходящихся на 1000 рожденных детей

Далее, чтобы определить, не связано ли снижение выявленного количества сирот с рождаемостью, на рис. 2 представлено отношение приходящихся детей-сирот и детей,

оставшихся без попечения родителей, на 1000 рожденных детей за 2008–2012 гг. [7, 9].

Данный показатель численности детей-сирот, приходящихся на 1000 рожденных детей, ежегодно снижается, притом что относительные показатели к 2012 г. практически сравниваются, что является положительным эффектом, но для более подробного описания в табл. 2 приведены индексы роста и прироста показателей.

По табл. 2 видно, что количество сирот, приходящихся на 1000 рожденных детей, в Республике Башкортостан с каждым годом снижается примерно на 7–19% (в РФ до 14%), а к 2012 г., по сравнению с 2008 г., анализируемый показатель снизился практически в 2 раза (44% – максимальное снижение). В свою очередь, данный показатель по РБ значительно выше, чем по России в целом на 26% (в 0.4 раза), притом том что рождаемость на 1000 человек населения в Республике Башкортостан выше, чем по России, но все же к 2012 г. этот показатель восстанавливается. Это говорит о том, что в республике эффективность деятельности по снижению сиротства была ниже, чем по Российской Федерации в целом, но к 2012 г. проводимые мероприятия по уменьшению количества детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей, стали эффективнее, чем в прошлых годах.

Детьми, оставшимися без опеки родителей, занимаются органы опеки и попечительства. На них возлагаются обязанности по выявлению, учету и избранию форм устройства детей, оставшихся без попечения родителей, а также по контролю за условиями их содержания, воспитания и образования. Дети,

Таблица 2

Индексы роста и прироста количества детей-сирот, приходящихся на 1000 рожденных детей

Годы	2008	2009	2010	2011	2012
Темп роста					
РФ	–	0.90	0.86	0.87	0.92
РБ	–	0.93	0.83	0.90	0.81
Темп прироста					
РФ	–	0.79	0.77	0.68	0.62
РБ	–	0.93	0.77	0.70	0.56

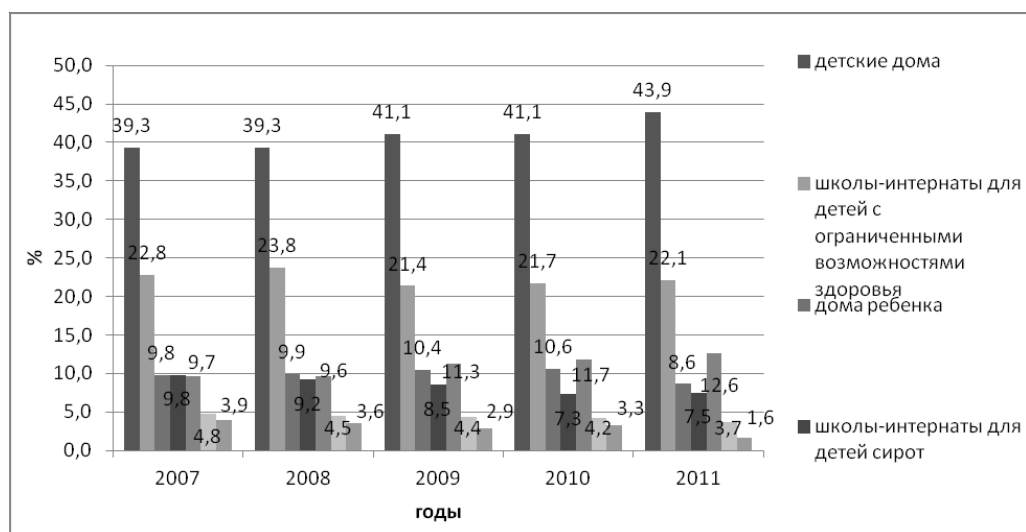


Рис. 3. Процентное соотношение численности детей-сирот, воспитывающихся в интернатных учреждениях

оставшиеся без попечения родителей, подлежат передаче на воспитание в семью, а при отсутствии такой возможности – в соответствующие учреждения. На рис. 3 приведена динамика численности детей, воспитывающихся в интернатных учреждениях [7].

По рис. 3 видно, что более 40% детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей, содержатся в детских домах, в 2 раза меньше (20%) – в школах-интернатах для детей с ограниченными возможностями здоровья. Наблюдается тенденция роста количества детей, воспитываемых в детских домах, по

сравнению с другими интернатными учреждениями, притом что количество детских домов и численность детей, воспитываемых в детских домах, с каждым годом уменьшается в среднем на 4–6%.

На рис. 4 приведена динамика количества детей и подростков, которые находятся на воспитании в семьях, в процентах от общего числа устроенных детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей, по Российской Федерации [7].

Более половины детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей, приня-

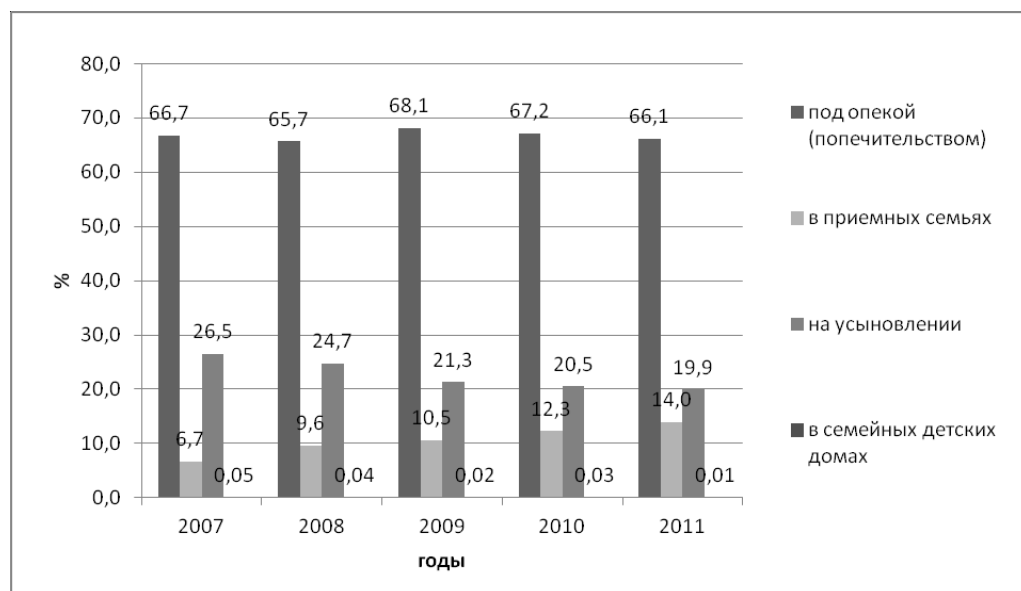


Рис. 4. Численность детей и подростков, находящихся на воспитании в семьях в % от общего числа устроенных детей

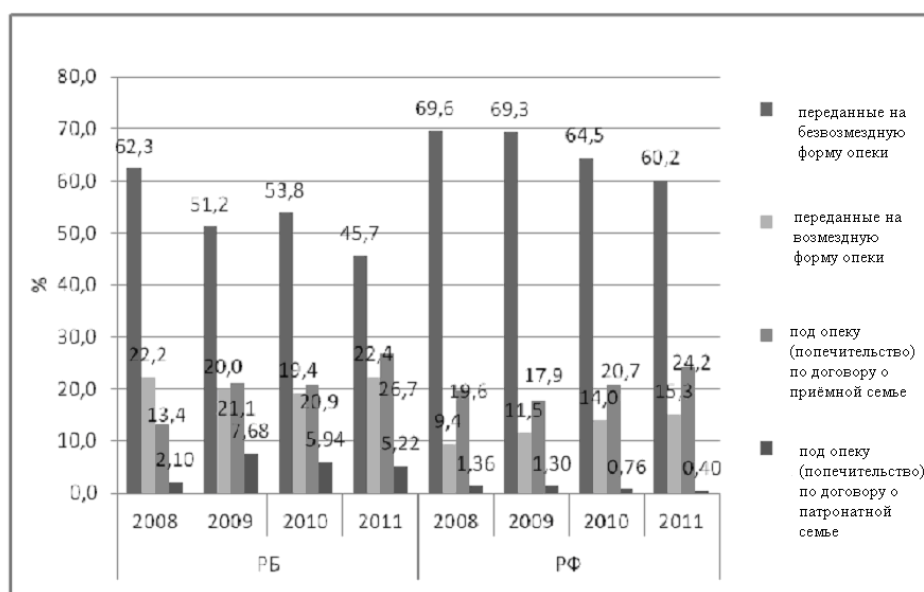


Рис. 5. Устройство детей под опеку в Республике Башкортостан и Российской Федерации в % от общего числа устроенных детей

тых на воспитание в семье, отданы под опеку (попечительство). С каждым годом растет численность детей, принятых в приемные семьи. На 2011 г. 20% устроенных детей усыновлены, но, к сожалению, численность усыновленных детей в отношении к общему числу устроенных детей с каждым годом уменьшается в среднем на 2%.

Приоритетной формой устройства детей, оставшихся без попечения родителей, является передача их в семью. Семейный кодекс Российской Федерации устанавливает, что дети, оставшиеся без попечения родителей, подлежат передаче на воспитание в семью – на усыновление (удочерение), под опеку (попечительство) или в приемную семью, а при отсутствии такой возможности – в учреждения всех типов (воспитательные учреждения, в том числе детские дома семейного типа, лечебные учреждения, учреждения социальной защиты населения и другие аналогичные учреждения).

В Республике Башкортостан так же, как и по России в целом, большинство детей переданы на безвозмездную форму опеки, причем с каждым годом данный показатель снижается. Детей, переданных на возмездную форму опеки, в РБ в 1,5 раза больше, чем по России, а тенденция роста детей, переданных в

приемные семьи, практически на одном уровне в обоих регионах. В РБ преобладает устройство детей в патронатные семьи (в 5–6 раз больше, чем по России в целом). Причем данный показатель с каждым годом снижается, наибольшая часть детей в патронатных семьях наблюдалась в 2009 г. [10, с. 66–71].

Далее нами рассмотрено устройство детей-сирот под опеку в Республике Башкортостан, по сравнению с Российской Федерацией (2008–2011 гг.) [7] (рис. 5).

Таким образом, необходимость изучения сиротства как социальной проблемы обусловлена прежде всего постоянным ростом числа детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей, а также обострившейся проблемой социального сиротства [11, с. 98–103]. В первую очередь все усилия нужно направить не только на улучшение условий содержания детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей, их обучение и воспитание, но и на устранение ориентиров, способствующих росту социального сиротства [12, с. 100–104]. Иначе говоря, нужно бороться прежде всего не с устранением неблагоприятных последствий, а непосредственно с самой причиной [13, с. 107–114]. В современных условиях перспективы развития детей будут зависеть от того, насколько

успешно проводится работа по их защите и поддержке семей, воспитывающих детей.

### Литература

1. Мигунова Ю.В., Моисеева Т.П. Детская безнадзорность в России: монография. Уфа: ИСЭИ УНЦ РАН, 2010.
2. Социальная энциклопедия. М., 2000.
3. Моисеева Т.П., Мигунова Ю.В. Признаки и причины детской безнадзорности как деформирующие факторы позитивной динамики трансформации российского общества // Известия Уфимского научного центра РАН. 2014. № 1.
4. Буянов М.И. Ребенок из неблагополучной семьи. М., 1998.
5. Каримов А.Г., Моисеева Т.П. Городская бедность как социальное явление в современном российском обществе: монография. Уфа: ИСЭИ УНЦ РАН, 2010.
6. Гайфуллин А.Ю. Социальная защищенность детей и подростков в современных условиях // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Социальное положение детей, подростков и молодежи в современном обществе». Ч. 1. Уфа: ИСЭИ УНЦ РАН, 2010.
7. Федеральная служба государственной статистики. URL: <http://www.gks.ru>
8. О положении детей в РФ: ежегодный государственный доклад. 2012.
9. МО ГБУ Республиканский центр семейного устройства детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей. URL: <http://rcsu.ucoz.ru>
10. Региональный опыт формирования института патронатной семьи (по материалам Республики Башкортостан): монография / Э.Р. Алексеева, А.А. Алексеев. Уфа: ИСЭИ УНЦ РАН, 2009.
11. Садыков Р.М. Использование научных методов в практике социальной работы // Известия Уфимского научного центра РАН. 2013. № 4.
12. Садыков Р.М. Проблемы детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей в современных условиях и технологии их решения // Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Инновационные технологии управления социально-экономическим развитием регионов России». В 3 ч. Ч. 3. Уфа: ИСЭИ УНЦ РАН, 2013.
13. Садыков Р.М., Шакирова Д.Д. Совершенствование системы социальной защиты детей-сирот и детей, оставшихся без попечения родителей // Материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Инновационные технологии управления социально-экономическим развитием регионов России». В 2 ч. Ч. 2. Уфа: ИСЭИ УНЦ РАН, 2011.

### References

1. Migunova Yu.V., Moiseeva T.P. Detskaya beznadzornost v Rossii [Child neglect in Russia]. Ufa, ISEI UNTs RAN, 2010. (In Russian).
2. Sotsialnaya entsyklopediya [Social encyclopedia]. Moscow, 2000. (In Russian).
3. Moiseeva T.P., Migunova Yu.V. Priznaki i prichiny detskoj beznadzornosti kak deformiruyushchie factory pozitivnoy dinamiki transformatsii rossiyskogo obshchestva [Signs and causes of child neglect as deforming factors in the positive dynamics of the Russian society's transformation]. Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN – Bulletin of the Ufa Scientific Centre of RAS, 2014, no. 1. (In Russian).
4. Buyanov M.I. Rebenok iz neblagopoluchnoy semyi [Child from a dysfunctional family]. Moscow, 1998. (In Russian).
5. Karimov A.G., Moiseeva T.P. Gorodskaya bednost kak sotsialnoe yavlenie v sovremennom rossiyskom obshchestve [Urban poverty as a social phenomenon in the Russian modern society]. Ufa, ISEI UNTs RAN, 2010. (In Russian).
6. Gayfullin A.Yu. Sotsialnaya zashchishchennost detey i podrostkov v sovremennykh usloviyakh [Social protection of children and adolescents under modern conditions]. Materuialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Sotsialnoe polozhenie detey, podrostkov i molodezhi v sovremennom obshchestve” [Proceedings of the All-Russian Scientific and Research Conference on Social Status of Children, Adolescents and Youths in Modern Society]. Part 1. Ufa, ISEI UNTs RAN, 2010. (In Russian).
7. Federalnaya sluzhba gosudarstvennoy statistiki [Federal State Statistics Service]. Statisticheskiy ezhegodnik ROSSIYA 2012 [Statistic Annual Report RUSSIA 2012]. Available at: <http://www.gks.ru>. (In Russian).
8. Ezhegodnyy gosudarstvennyy doklad “O polozhenii detey v RF” [Annual state report on children's status in the Russian Federation], 2012. (In Russian).
9. Respublikanskiy tsentr semeynogo ustroystva detey-sirot i detey, ostavshikhsya bez popecheniya roditeley [Republican centre for family placement of orphans and children left without parental care]. Available at: <http://rcsu.ucoz.ru>. (In Russian).
10. Alekseeva E.R., Alekseev A.A. Regionalnyy opyt formirovaniya instituta patronatnoy semyi (po materialam Respubliki Bashkortostan) [Regional experience in forming the foster family institution (according to data on the Republic of Bashkortostan)]. Ufa, ISEI UNTs RAN, 2009. (In Russian).
11. Sadykov R.M. Ispolzovanie nauchnykh metodov v praktike sotsialnoy raboty [Using scientific methods in social practice]. Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN – Bulletin of the Ufa Scientific Centre of RAS, 2013, no.4. (In Russian).

12. Sadykov R.M. Problemy detey-sirot i detey, ostavshikhsya bez popecheniya roditel'ey v sovremennykh usloviyakh i tekhnologii ikh resheniya [Problems of orphans and children left without parental care under modern conditions and their solution technologies]. Materialy V Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Innovatsionnye tekhnologii upravleniya sotsialno-ekonomicheskim razvitiem regionov Rossii" [Proceedings of the 5th All-Russian Scientific and Research Conference with International Participation "Innovation Technologies for Managing Social and Economic Development in the Regions of Russia"]. In three parts. Part 3. Ufa, ISEI UNTs RAN, 2013. (In Russian).

13. Sadykov R.M., Shakirova D.D. Sovmeshchivanie sistemy sotsialnoy zashchity detey-sirot i detey, ostavshikhsya bez popecheniya roditel'ey [Improving the system for social protection of orphans and children left without parental care]. Materialy V Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Innovatsionnye tekhnologii upravleniya sotsialno-ekonomicheskim razvitiem regionov Rossii" [Proceedings of the 5th All-Russian Scientific and Research Conference with International Participation "Innovation Technologies for Managing Social and Economic Development in the Regions of Russia"]. In two parts. Part 2. Ufa, ISEI UNTs RAN, 2011. (In Russian).



## SOCIAL STATUS OF ORPHANS AND CHILDREN LEFT WITHOUT PARENTAL CARE UNDER SOCIO-ECONOMIC INSTABILITY

© R.M. Sadykov

Institute for Social and Economic Studies, Ufa Scientific Centre, RAS,  
71, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia

The author examines the social status of orphans and children left without parental care in the context of the society's social and economic instability. The instability of the socio-economic and political life has significantly expanded the range of different factors that stimulate actively orphanhood, especially social orphanhood. The need to study orphanhood as a social problem is caused by constant increase in the number of orphans and children left without parental care, as well as the aggravating problem of child abandonment in modern society. It is revealed that social orphans constitute the majority of parentless children.

The basic causes for the occurrence of orphans in the modern Russian society include changes in social value orientations; declining prestige of the family institution; deformation of the family structure and functions; worse conditions of child support in family; increase in the number of parents leading an immoral lifestyle; growth of out-of-wedlock births; financial and housing problems and others. Modern family as a social organism has undergone a destructive impact of various social experiments. Formally, the leading functions of the family are still preserved, but their actualization has become quite different. Reduced impact of family upbringing has led to the fact that its positions in spiritual, social and psychological development of a new generation have become almost superseded by other subjects and institutions.

Statistical data on the status of orphans in the Russian Federation and the Republic of Bashkortostan are given as well. It is shown that the preferred family placement of children without parental care is adoption, custody or foster family.

Key words: orphans, children left without parental care, causes of orphanhood, social problems of orphans, social status of orphans.



## ПАМЯТИ СОФИИ АЛЕКСАНДРОВНЫ АВИЖАНСКОЙ

20 января 2014 г. в Бостоне (США) на 94-м году жизни скончалась София Александровна Авижанская – фольклорист, музеолог, этнолог, крупный специалист по традиционной культуре народов Волго-Уральского региона, внесший большой вклад в комплектование башкирских этнографических коллекций в Российском этнографическом музее (г. С.-Петербург) и в изучение декоративно-прикладного искусства башкир.

Софья Александровна родилась 5 декабря 1920 г. в г. Петрограде в семье служащих. В 1938 г. после окончания школы она поступила в Ленинградский государственный университет на этнографическое отделение филологического факультета. В 1945 г. Авижанская под руководством выдающегося фольклориста и этнографа В.Я. Проппа защитила диссертацию по материалам русского эпоса на соискание ученой степени кандидата филологических наук. Ее диссертация была посвящена русскому фольклору, в частности, изучению эпических жанров. После этого она стала работать научным сотрудником в Государственном музее этнографии народов СССР (в настоящее время Российский этнографический музей). Через год София Александровна стала старшим научным сотрудником Отдела народов Поволжья и Приуралья. В 1964 г. С.А. Авижанскую назначили заведующей методическим сектором ГМЭ, а еще через два года – заместителем директора по науке. Софья Александровна 35 лет плодотворно работала в ведущем этнографическом музее страны, в 1980 г. она вышла на заслуженный отдых и впоследствии выехала на постоянное место жительства в США.

Работая в Отделе народов Поволжья и Приуралья, С.А. Авижанская внесла большой вклад в башкирскую этнографию. В 50-х гг. после длительного перерыва были возобновлены, начатые еще С.И. Руденко поэтапные, систематические полевые этнографические исследования традиционной культуры башкир, охватившие основные территории их расселения: БАССР, Курганское и Челябин-

ское Зауралье. В 1956–1959 гг. совместно с сотрудниками ИИЯЛ БФ АН СССР (Р.Г. Кузеевым, Н.В. Бикбулатовым, С.Н. Шитовой, Т.М. Гариповым, С.Ф. Миржановой и др.) С.А. Авижанская осуществила четыре этнографические экспедиции. В экспедиции 1956 г. в северные районы БАССР от РЭМ вместе с С.А. Авижанской работала Т.А. Крюкова – известный этнограф, специалист по традиционной культуре народов Поволжья. Экспедиция 1957 г. охватывала центральные районы БАССР, экспедиция 1958 г. – южные и восточные, 1959 г. – северные районы БАССР и сопредельные территории Свердловской области, челябинское и курганское Зауралье. В 1969 г. после десятилетнего перерыва С.А. Авижанская вновь принимает участие в этнографической экспедиции отдела этнографии ИИЯЛ в западных и юго-западных районах БАССР.

Итогом проведенных этнографом исследований стали 6 коллекции по этнографии башкир в фондах РЭМ общей численностью 279 предметов (коллекции №№ 6910, 6973, 7082, 7145, 7892, 8387), а также 7 коллекций полевых фотографий в фототеке РЭМ, которые значительно дополняют собранные вещевые материалы (фф. 163, 213, 214, 305, 330, 406). Ценность собранного этнографом материала заключается в том, что они позволили восполнить пробелы предыдущих собраний по башкирам и во всем многообразии показали сохранение и развитие национальных традиций в убранстве жилища, одежде и декоративно-прикладном искусстве башкир в середине XX в.

Но главным результатом проведенных многолетних исследований, весомым вкладом в башкирскую этнографию стала коллективная монография С.А. Авижанской, Н.В. Бикбулатова, Р.Г. Кузеева «Декоративно-прикладное искусство башкир» (1964). В основу книги легли материалы экспедиций и башкирские коллекции, хранящиеся в музейных фондах. Значительная часть материала для книги была собрана в экспедиции 1956–1959 гг. А проспект будущей книги был на-

писан прямо в поле. Никогда ранее башкирское народное искусство не представало перед читателем в такой полноте. Эта книга стала эталонной для исследователей-современников и исследователей будущих поколений. Уникальность издания заключается в редком сочетании широты охвата (в ней рассмотрены все основные виды декоративного творчества башкир) с подробностью и детальностью в описании каждого из видов, что позволяет получить не только общие представления о художественных традициях, но и о их локальных особенностях, проявляющихся в технологии, орнаменте, терминологии. При этом этнографическая подробность в коллективной монографии – не самоцель, она позволяет осуществить анализ истоков традиции. Огромный корпус собранных материалов не подчинил себе исследователей, не стал самоцелью, но стал основой для глубокого исторического анализа и обобщений. С.А. Авижанской были подготовлены разделы «Узорное вязание», «Художественная обработка металла», «Украшения из кораллов, бисера и монет». Эта книга до сих пор сохраняет свою научную актуальность. Формат издания не позволял насытить его цветными иллюстрациями высокого качества. Впервые башкирское искусство предстало во всем многоцветии в альбоме «Народное искусство башкир» (1968 г.), подготовленном теми же авторами на материалах преимущественно музейных собраний.

Софья Александровна Авижанская много сделала для систематизации этнографических коллекций по народам Поволжья и Приуралья, в том числе коллекций по башкирской этнографии. В 1975 г. С.А. Авижанской в соавторстве с М.А. Браун и Т.А. Крюковой был опубликован каталог-указатель и краткое описание этногра-

фических коллекций отдела Поволжья и Приуралья. При ее активном участии в музее были подготовлены также десятки постоянных и временных выставок по башкирской этнографии.

Софию Александровну Авижанскую, внесшую крупный вклад в башкирскую этнографию, в историю комплектования музейных коллекций по этнографии башкир, всегда будут помнить будущие поколения отечественных исследователей, все, кто будет соприкасаться с культурой и бытом башкирского народа.

Основные труды С.А. Авижанской:

1. Авижанская С. А. Бой отца с сыном в русском эпосе: автореф. дис. ... канд. филол. наук // Вестник Ленинградского университета. 1947. № 3. С. 142–144.
2. Авижанская С.А., Кузеев Р.Г. Этнографические коллекции по башкирам Государственного музея этнографии народов СССР // Археология и этнография Башкирии. Уфа, 1962. Т. 1. С. 344–357.
3. Авижанская С.А., Бикубулатов Н.В., Кузеев Р.Г. Декоративно-прикладное искусство башкир. Уфа, 1964. 260 с.
4. Авижанская С.А., Бикубулатов Н.В., Кузеев Р.Г. Народное искусство башкир: Альбом. Уфа, 1968.
5. Авижанская С.А. Браун М.А., Крюкова Т.А. Каталог-указатель (краткое описание коллекций отдела народов Поволжья и Приуралья ГМЭ народов СССР) // Музеи и современность. М., 1975. С. 186–281.
6. Авижанская С.А. Новая экспозиция ГМЭ народов СССР // СЭ. 1978. № 1. С. 155–160.
7. Авижанская С.А. Этнографические коллекции мирового значения ГМЭ народов СССР // Музейное дело в СССР. М., 1980. С. 105–112.
8. Авижанская С.А., Галкина Е.Л. К вопросу об изучении и научном описании предметов этнографии в процессе комплектования и научной обработки // Тр. НИИ культуры. М., 1980. Вып. 90. С. 81–102.

*Материалы сообщения  
подготовили к печати  
И.Г. ПЕТРОВ, к.и.н.  
Е.Е. НЕЧВАЛОДА, к.и.н.*

IN COMMEMORATION OF SOFIYA A. AVISHANSKAYA

© I.G. Petrov, E.E. Nechvaloda

Kuzeev Institute for Ethnological Studies, Ufa Scientific Centre, RAS,  
6, ulitsa Karla Marksa, 450077, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia

## УРАЛ–АЛТАЙ: ЧЕРЕЗ ВЕКА В БУДУЩЕЕ

12–14 мая 2014 г. в г. Уфе состоялась VI Всероссийская тюркологическая конференция с международным участием «Урал–Алтай: через века в будущее» с участием ведущих специалистов из Башкортостана, других регионов Российской Федерации. В работе конференции с докладами приняли участие ученые из Азербайджана, Турции.

Конференцию открыла директор Института истории, языка и литературы УНЦ РАН, доктор филологических наук, профессор Ф.Г. Хисамитдинова. На пленарном заседании, в секциях и на симпозиуме было заслушано более 130 докладов и выступлений. Среди них особенно актуально прозвучали доклады доктора исторических наук, профессора Л.Т. Яблонского (Москва), посвященного юбилею «Сарматского совещания», доктора филологических наук, профессора Т.Г. Владыкиной (Ижевск), отразившей в своем докладе понятийно-терминологическую систему мировоззренческих аспектов традиционной культуры, доктора филологических наук, главного научного сотрудника ИИЯЛ УНЦ РАН (Уфа) Р.А. Султангареевой, представившей научное исследование живых традиций исполнения и новые свидетельства по мифопоэтике и антропологии эпоса «Урал-батыр» и др. Большой интерес вызвала презентация книги «Грамматика башкирского языка» для турецких студентов заместителя директора Института Евразии Стамбульского Университета, доктора филологии Исмета Бинера.

На конференции работали научные секции и симпозиумы по следующим направлениям: история, материальная и духовная культура, языкознание, фольклористика и литературоведение. Работа секций и симпозиума подтвердила высокий уровень представленных исследований. В области языкознания

особо отмечены доклады к.ф.н. Н.С. Уртегешева (Новосибирск), к.ф.н. Ш.В. Нафикова (Уфа), к.ф.н. Н.Н. Фединой (Новосибирск), К.С. Садыкова (Тобольск) и др. Их выступления доказывают, что исследование проблем языкознания вышло на качественно новый уровень, подтверждая перспективность направлений научного поиска. Доктор филологических наук, заведующий отделом литературоведения ИИЯЛ УНЦ РАН М.Х. Надергулов (Уфа) ознакомил присутствующих с докладом «Легенда и быль башкирских тарихнаме»; к.ф.н. В.И. Гарифуллина (Набережные Челны) выступила с докладом на тему «Своеобразие первых сатирических журналов», большой интерес вызвал доклад к.ф.н. Е.Т. Чамзырын (Тува) «Роль народной поэтики в повести “Белолобый рыжий конь” Монгуша Кенин-Лопсана» и др. В области исторических исследований особо отмечены доклады д.и.н. Р.Н. Сулеймановой (Уфа) «Обращения населения Башкирии в 1953 – начале 1960-х гг. как показатель отношения к власти», д.и.н. Р.А. Хазиева «Рыночный анклав в Башреспублике и “тайные миллионщики” на Урале в период “военного коммунизма”», к.пед.н. С.П. Тагиева (Баку) «Тюркские христианские памятники в Азербайджане» и др. Проблемам развития материальной и духовной культуры урало-алтайских народов было уделено особое внимание. Здесь следует отметить доклады д.и.н. Ю.Б. Серикова (Нижний Тагил) «Золотые бляшки гуннского периода на Урале», к.и.н. В.Г. Котова (Уфа) «Урало-Алтайские связи в раннем железном веке: семантика сцены на Филипповском акинаке», к.и.н. З.М. Давлетшиной (Уфа) «Общие черты в культуре кочевников-скотоводов и оседлых овцеводов Евразии». Симпозиум «Фольклорное наследие народов урало-алтайского реги-

она: традиции и современность» отразил важнейшие направления в области фольклористики, подытожив многолетние плодотворные исследования в данной сфере ученых из разных регионов Урало-Алтая.

На конференции был разработан проект резолюции, в котором участники форума, учитывая актуальность проблем, связанных с изучением истории, языка и культуры народов Урало-Алтайского региона, в целях дальнейшего сохранения научного и культурного наследия народов России, приняли следующие решения:

- укрепить материально-организационную основу для проведения на базе ИИЯЛ УНЦ РАН регулярных тематических конференций для Урало-Алтайского региона по различным проблемам гуманитарного знания в целях дальнейшего развития созидательной деятельности специалистов-гуманитариев, обмена научными достижениями;

- на уровне федеральных округов и субъектов Российской Федерации последовательно осуществлять программы поддержки культур и языков малых народов и защиты национальных меньшинств, наряду с программой развития русского языка и общероссийской культуры на всей территории страны;

- необходима реализация целевых долгосрочных программ в области гуманитарных наук на Южном Урале (создание единой базы данных арабографичных рукописей и их перевод на современный башкирский, русский и английский языки, углубленное антропологическое исследование этнических

массивов в регионе, выявление и публикация исторических источников по различному кругу проблем);

- организовывать совместные исследования по языку и фольклору тюркских народов Урало-Алтая. Создать единую базу данных и информационных ресурсов по духовной культуре народов урало-алтайского региона, при содействии комплексных интеграционных проектов различных региональных научных центров;

- необходимо проведение работы по изучению и изданию башкирских эпосов на языки народов СНГ, выделение значимых объектов материальной и духовной культуры башкирского народа для внесения в список объектов, охраняемых ЮНЕСКО (курай, башкирский эпос и т.д.).

Как отметили участники конференции, состоявшийся научный форум внес значительный вклад в исследование актуальных проблем гуманитарных и общественных наук России и Башкортостана. Материалы научной конференции свидетельствуют, что Институт истории, языка и литературы Уфимского научного центра Российской академии наук является координационным центром, объединяющим ученых Урало-Алтайского региона, сохраняя заслуженную репутацию крупного центра академической науки Российской Федерации.

К началу конференции был подготовлен и издан сборник материалов «Урал–Алтай: через века в будущее» объемом 48.13 усл.-печ. л. (414 с.)

*Материалы сообщения  
подготовила к печати  
Н.В. АХМАДИЕВА, к.и.н.*

---

## URAL–ALTAY: THROUGH CENTURIES TO THE FUTURE

© N.V. Akhmadieva

Institute of History, Language and Literature, Ufa Scientific Centre, RAS,  
71, prospekt Oktyabrya, 450054, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia