

СОДЕРЖАНИЕ

2014. № 2

МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

<i>Sh.U. Galiev, T.Sh. Galiyev</i>	
Nonlinear scalar field as a model describing the birth of the Universe	5
<i>Р.Ш. Гимадиев, Т.З. Гимадиева, Ф.Ф. Динмухаметов</i>	
Моделирование деформирования проводов воздушных ЛЭП	32
<i>М.С. Ганеева, М.А. Ильгамов, В.Е. Моисеева</i>	
Нелинейный изгиб плоских предохранительных мембран под действием давления жидкости и температуры	41
<i>С.И. Спивак, А.С. Исмагилова</i>	
Обратные задачи химической кинетики и декомпозиция кинетической модели на основе независимых маршрутов сложной реакции	48
<i>А.А. Аганин, Т.С. Гусева, Л.А. Косолапова, В.Г. Малахов, Н.А. Хисматуллина</i>	
Моделирование импульсного воздействия кавитационных пузырьков на тело	53
<i>С.И. Спивак, О.Г. Кантор, Д.С. Юнусова</i>	
Оценка погрешности и значимости измерений методами линейного программирования	62

БИОЛОГИЯ, БИОХИМИЯ И ГЕНЕТИКА

<i>А.А. Мулдашев, В.Б. Мартыненко</i>	
К характеристике флоры и растительности шиханов Тра-Тау и Юрак-Тау	68

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

<i>Т.Т. Казанцева</i>	
Метаморфические комплексы домозозоя Большого Кавказа и Южного Урала (сравнительный анализ)	75
<i>В.И. Сначёв</i>	
Динамика становления Ахуново-Карагайского гранитного массива и некоторые вопросы методики поисковых работ по его периферии	91

ЯЗЫКОЗНАНИЕ И ЛИТЕРАТУРОВЕДЕНИЕ

Т.Г. Мухтаров, Ф.Г. Хисамитдинова

Языки народов Республики Башкортостан: состояние и перспективы 100

ПОРТРЕТ УЧЕНОГО

Ш.У. Галиев

Рядом и вдалеке 105

ПАМЯТИ УЧЕНОГО

Т.И. Пенькина

Памяти академика Г.А. Толстикова – выдающегося ученого 113

Е.М. Кайнова

Вспоминая Г.А. Толстикова 115

ОФИЦИАЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

Знаменательный день для уфимской науки 117

CONTENTS

2014. № 2

MATHEMATICS AND MECHANICS

<i>Sh.U. Galiev, T.Sh. Galiyev</i>	
Nonlinear scalar field as a model describing the birth of the Universe	5
<i>R.Sh. Gimadiev, T.Z. Gimadieva, F.F. Dinmukhametov</i>	
Simulation of deformation in overhead power line wires	32
<i>M.S. Ganeeva, M.A. Ilgamov, V.E. Moiseeva</i>	
Nonlinear bending of plane safety membranes under the action of liquid pressure and temperature	41
<i>S.I. Spivak, A.S. Ismagilova</i>	
Inverse problems of chemical kinetics and decomposition of the kinetic model on the basis of independent routes from of a complex reaction	48
<i>A.A. Aganin, T.S. Gyseva, L.A. Kosolapova, V.G. Malakhov, N.A. Khismatyllina</i>	
Modeling of cavitation bubble impact on a body	53
<i>S.I. Spivak, O.G. Kantor, D.S. Yunusova</i>	
Error estimates and significance measured by linear programming	62

BIOLOGY, BIOCHEMISTRY AND GENETICS

<i>A.A. Muldashev, V.B. Martinenko</i>	
On the characteristics of flora and vegetation of shikhan mountains Tra-Tau and Yurak-Tau	68

EARTH SCIENCES

<i>T.T. Kazantseva</i>	
Comparative analysis of Pre-Mesozoic metamorphic complexes of the Greater Caucasus and the Southern Urals	75
<i>V.I. Snachev</i>	
Dynamics of formation Akhunovo-Karagai Granite Massif and some methodological issues of prospecting in its periphery	91

LINGUISTICS AND LITERATURE

T.G. Mukhtarov, F.G. Khisamitdinova

Languages of the peoples of Bashkortostan: current state and prospects 100

PORTRAIT OF A SCIENTIST

Sh.U. Galiev

Near and far 105

IN MEMORIAM

T.I. Penkina

In commemoration of the prominent Russian scientist Academician Genrikh A. Tolstikov 113

E.M. Kaynova

Remembering Genrikh A. Tolstikov 115

OFFICIAL SECTION

Momentous day for science Ufa 117

УДК 524.85

*К 80-летию члена-корреспондента РАН М.А. Ильгамова***NONLINEAR SCALAR FIELD AS A MODEL DESCRIBING THE BIRTH OF THE UNIVERSE**

© Sh.U. Galiev, T.Sh. Galiyev

No one yet knows how the universe came into existence. Some people think it was created by god, some people think the whole thing is the chance result of a quantum fluctuation in the nothingness beforehand. Here the birth of the Universe is being studied as an evolution of an initial scalar field into other fields (particles), energies, waves and vortices.

We investigate a scalar field described by a cubic nonlinear Klein-Gordon equation. Using approximate solutions we study the models for the scalar fields and the scalar potentials. The evolution of the field is determined by the quantum perturbations, bifurcations and resonances. We believe that the solutions give coherent model for the emergence and initial evolution of the Universe.

Solutions describe a scalar field which may be considered as a weakly oscillating pra-Universe. At any moment this multidimensional structure gives birth to the billions of ‘seeds’ of rapidly evolving Universes. One of them accidentally formed our Universe. A scenario is developed, when the Universe begins in a state that differs greatly from that of the theories of the Big Bang and the inflation.

The Universe is considered as a wave system. The Universe was born having a finite volume. After the birth its evolution is determined by a fall into a potential energy well. This fall is accompanied by quantum effects. They yield resonances and bifurcations within the scalar fields.

Key words: pre-Universe, multidimensional spacetime, nonlinearity, scalar field, quantum actions, bifurcations, resonances, evolution, the birth of particles of mass and energy, four-dimensional spacetime, very early Universe.

1. The introduction and versions of the nonlinear Klein-Gordon equation (NKGE).

The birth of the Universe is one of the greatest mysteries. Over the last few decades several models of that birth were developed. For example, the standard Big Bang model states that the Universe appeared from some singular point. But that raises a question of what was there before ‘the Big Bang’. According to another theory the Universe is born not just once, but multiple times in an endless cycle of fiery death and rebirth. However, it was impossible to validate or deny such theories up to very recently.

In the last decade more and more precise studies of temperature anisotropies of the cosmic microwave background (CMB) radiation allowed scientists to glimpse how the Universe was born. In particular, on March 17, 2014 the Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics confirmed the indirect detection of the ‘primordial gravitational waves’ and vortex-like structures on CMB.

Many of the models do not predict gravitational waves. If the 17 March results are confirmed, they will rule out a number of cosmic evolution models. On the other hand, these results support the models which describe the ripples of the spacetime.

We will consider a model presented by Galiev and Galiyev in 2013 (GG2013). Scalar field described by Klein-Gordon equation is considered as a fundamental field in this model. It describes prahistory, birth and first instants of the evolution of the Universe. The origin of the Universe is described as a great bifurcation instead of the Big Bang.

According to the traditional point of view the Universe emerged from a point of infinite energy and density, a singularity where the laws of physics break down. The GG2013 excludes this singularity. The fundamental field exists everywhere and absolutely everything is made from this or similar fields. What we call ‘particles’ are tiny vibrations in these fields. These key ideas used in the GG2013 theory.

ГАЛИЕВ Шамиль Усманович – профессор Оклендского университета,
e-mail: s.galiyev@auckland.ac.nz

ГАЛИЕВ Тимур Шамильевич – бакалавр, RSL Systems Limited, e-mail: s.galiyev@auckland.ac.nz

Versions of NKGE. The classical NKGE has the following form

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

Here c_* denotes a constant, I is an integer value ($I \geq 1$) and V is the scalar field potential. Index i denotes the differentiation; $\hat{\Phi}_{ii} = \partial^2 \hat{\Phi} / \partial x_i^2$, here x_i are the coordinates. Different expressions for the function V can be found in many books.

We assumed that

$$V(\hat{\Phi}) = V_0 + \alpha(\hat{\Phi}^2 - 1)^2 + \beta\hat{\Phi}^4. \quad (2)$$

Here V_0 , α and β are constants. If the scalar field and the potential are known, one can calculate the pressure p and the energy density ρ according to expressions (Serjeant 2010),

$$p = \frac{1}{2}\hat{\Phi}_t^2 - \frac{1}{6}(\nabla\hat{\Phi})^2 - V(\hat{\Phi}), \quad (3)$$

$$\rho = \frac{1}{2}\hat{\Phi}_t^2 + \frac{1}{2}(\nabla\hat{\Phi})^2 + V(\hat{\Phi}). \quad (4)$$

Expressions (3) and (4) show that the density and the pressure depend very strongly on the gradient of a scalar field. In points where the field changes rapidly the pressure and the density can be very large. There they can create new fields corresponding to the birth of high-energy particles.

A solution of (1) is represented as a sum,

$$\hat{\Phi} = \bar{\Phi} + \Phi. \quad (5)$$

Here $\bar{\Phi}$ is a stationary component and Φ is a dynamic component of the scalar field.

Using (5) we can obtain from (1) two equations for $\bar{\Phi}$ and Φ :

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

$$\begin{aligned} \Phi_{tt} - c_*^2 \sum_{i=1}^I \Phi_{ii} &= -m^2 \Phi + \\ &+ \lambda(3\bar{\Phi}^2 \Phi + 3\bar{\Phi}\Phi^2 + \Phi^3). \end{aligned} \quad (7)$$

The following notations were introduced:

$$4\alpha = -m^2, \text{ and } \lambda = -4(\alpha + \beta). \quad (8)$$

Here m and λ are constants.

New variables and a simplified model of NKGE. Equation (1) is not integrable in the general

case. Therefore we sought approximate solutions. The following new variables were used to describe different scenarios of the evolution of the field:

$$\xi = B \sin^2 \omega t - K \sum_i^I (a_i + \sin \vartheta x_i)^2,$$

$$\eta = -\bar{K} \sum_i^I (a_i + \sin \vartheta x_i)^2. \quad (9)$$

Using (9) we rewrite equations (6) and (7) in the form

$$\begin{aligned} -2c_*^2 \vartheta^2 \bar{K}^2 \left(\sum_{i=1}^I a_i^2 + \frac{1}{4} I \right) \bar{\Phi}_{\eta\eta} + \\ + m^2 \bar{\Phi} - \lambda \bar{\Phi}^3 = 0, \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} [\frac{1}{2} \omega^2 B^2 - 2c_*^2 \vartheta^2 K^2 \left(\sum_{i=1}^I a_i^2 + \frac{1}{4} I \right)] \Phi_{\xi\xi} = \\ = -m^2 \Phi + \lambda(3\bar{\Phi}^2 \Phi + 3\bar{\Phi}\Phi^2 + \Phi^3). \end{aligned} \quad (11)$$

Here B , ω , K , a_i , ϑ and \bar{K} are constants. In (10) and (11) we ignored terms explicitly dependent on harmonics containing t and x_i . We hope that these equations allow us to study qualitatively the change of the scalar field inside the multidimensional spacetime.

Remark 1. The linear Klein-Gordon equation was named after the physicists Oskar Klein and Walter Gordon who in 1926 proposed that it describes relativistic electrons. This equation is considered as relativistic version of the Schrödinger equation. The nonlinear Klein-Gordon equation (1) is used in nonlinear optics, plasma physics, fluid mechanics and cosmology.

Remark 2. It is important that the Klein-Gordon equation explicitly contains the d'Alembertian operator. This operator can equal zero or a very small value (the “small” divider or the “resonance” term). In particular, in (11) the value $\frac{1}{2} \omega^2 B^2 - 2c_*^2 \vartheta^2 K^2 \left(\sum_{i=1}^I a_i^2 + \frac{1}{4} I \right)$ may be the small divider. At the same time this value determines the width of the resonant band.

2. A landscape of the scalar potential.

The localised solutions of (10) and (11) are sought in the form

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

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

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

$$g^2 \bar{K}^2 = 2m^2 c_*^{-2} I^{-1}, \quad (14)$$

$$\omega^2 B^2 = -2m^2 K^{-2} + c_*^2 g^2 K^2 \left(4 \sum_{i=1}^I a_i^2 + I\right).$$

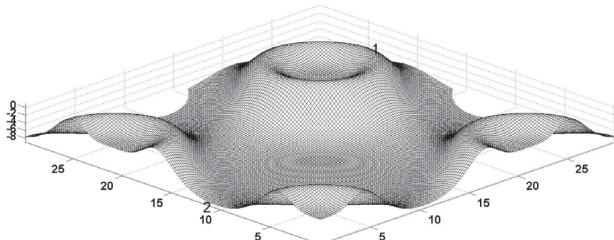
The three amplitudes (13) are determined by the values m and λ . We can not really comprehend what scalar fields are represented by these formulas. It is however possible that these three fields are certain analogues of true and false vacuums. Values g , \bar{K} , B , ω and K are not completely determined by (14). We will consider these values as arbitrary.

The expressions (12)–(14) allow us to consider the scalar potential. Namely, the two-dimensional landscape of the scalar potential will be studied. Substituting (5) into (2) we found approximately that

$$V(\hat{\Phi}) = V(\bar{\Phi}) + V^*(\Phi), \quad (15)$$

where

$$V(\bar{\Phi}) = V_0 + \alpha(\bar{\Phi}^2 - 1)^2 + \beta\bar{\Phi}^4 \text{ and}$$



$$V^*(\Phi) = -\alpha + \alpha(\bar{\Phi}^2 - 1)^2 + \beta\bar{\Phi}^4. \quad (16)$$

In Figs. 1 and 2 the results of the model calculations are presented. The scalar potentials $V(\bar{\Phi})$ (15) and $V^*(\Phi)$ (16) are determined by the constants: $V_0 = 7.5$, $\alpha = -18$ and $\beta = -10$. For the stationary and dynamical parts of the scalar field we assume the following values of constants (13) and (14): $g = 0.15$ and $\bar{A} = A = 1$, $\bar{K} = 2$, $\omega = 1$, $B = 30$, $K = 100$. We also assume that $a_i = 0$.

The stationary part of the scalar field potential describes a landscape which consists of the hills and the valleys (Fig. 1, left). The highest energy density is reached at the top of the hill. The lowest energy density is reached in the valleys. At the hill tops there are craters.

The dynamic part of the potential corresponds to a multidimensional sphere which has a very thin wall. The scalar field changes only near the sphere wall. Within the sphere the field is practically constant. The dynamic part was calculated at three dimensionless moments of time: 0.1, 1.57 and 2.4 (Fig. 1, right).

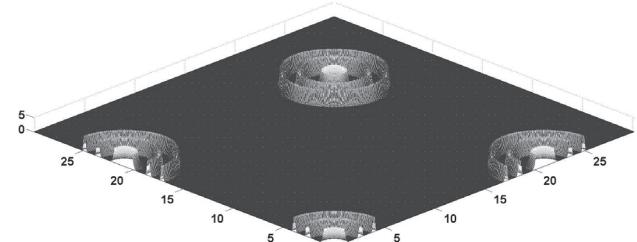


Fig. 1. The two-dimensional landscape of the stationary part of the potential. Number 1 corresponds to the hill tops, and the number 2 – the valleys of the potential (left). The oscillations of the dynamic part (right). (Galiev, Galiyev, 2013)

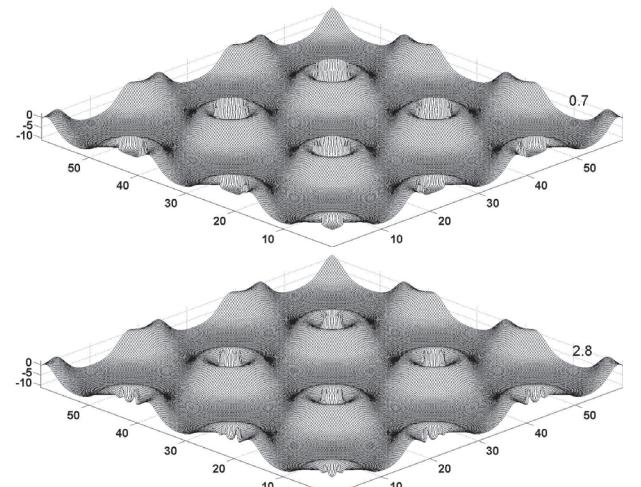
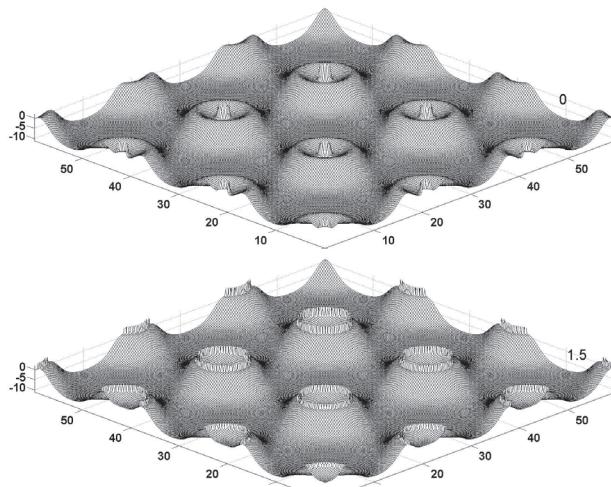


Fig. 2. The two-dimensional maps of the combined landscape calculated for different times. The calculations were made at four dimensionless moments of time: 0.1, 0.7, 1.5 and 2.8. (Galiev, Galiyev, 2013)

The actual landscape is determined by the sum of the stationary and the dynamic components of the potential. The dynamic part of the potential oscillates inside of an energy barrier, which is formed by the crater wall (Fig. 2).

We can tell that the energy clot (the dynamic part—the sphere) oscillates inside of the energy well. This clot cannot cross the barrier unless it is given a large enough energy influx.

Thus, we have determined the shape of the energy landscape which contains the oscillating clots of energy.

We approximately described the version of the scalar field dynamics. We believe that similar dynamics may take place for different fields having different sizes and exist in different spacetimes.

We will consider the scalar field, which is described by the Klein-Gordon equations, as a fundamental field. According to the quantum field theory, absolutely everything is made of a field or a combination of them. What we call ‘particles’ are tiny vibrations in these fields.

Every particle is, deep down, a vibrating wave in a particular field. The photons that carry electromagnetism are waves in the electromagnetic field that stretches through space. Gravitations are waves in the gravitational fields, gluons are waves in the gluon fields, and so on. Just like sound waves propagate through the air, waves propagate through quantum fields, and we observe them as particles.

Each field exerts a tiny influence on the others. Two fields or a few fields can resonate together, as a result a new field and a particle may be formed in spacetime.

Scalar field waves can have a huge energy. The energy depends on the wave length. The shorter the wave, the larger its energy.

Mass is just a form of energy. Therefore very short waves can carry a lot of energy and a lot of mass. In particular, the dynamic component of the field (Fig. 1, right) corresponds to a huge energy and mass.

We assume that NKGE describes all quantum wave phenomena. Quantum waves explain the appearance of mass and different energies. We assume that solutions of NKGE describe the situation before the birth of our Universe, the process of its birth and the beginning of evolution of our Universe.

Remark. There are a certain similarity between the oscillations of the dynamic part of the potential (Fig. 2) and the data from the experiments studying the wave processes in the Bose-Einstein condensate and on a granular layer, shown in Figs. 3 and 4.

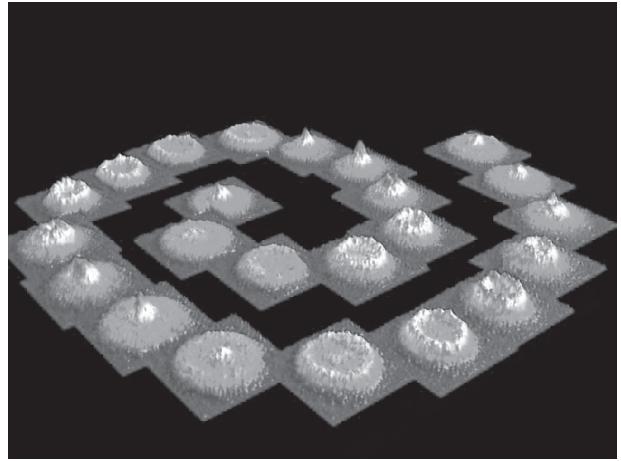


Fig. 3. Oscillations of a rotating Bose-Einstein condensate. (Stock et al 2004; http://www.lkb.ens.fr/recherche/atfroids/anglais/vortex_an.html)

3. The tunnelling of the energy clot through the potential wall.

The scalar potential landscape described above is subject to quantum fluctuations. Let us consider an impact of a quantum fluctuation on the energy clot.

Instant quantum action. First we consider equation (11) subject to an instant quantum fluctuation. The interaction of $\bar{\Phi}$ and Φ is ignored. In this case we have

$$\begin{aligned} & [\frac{1}{2}\omega^2 B^2 - 2c_*^2 \mathfrak{g}^2 K^2 (\sum_{i=1}^I a_i^2 + \frac{1}{4} I)]\Phi_{\xi\xi} + \\ & + \partial V(\Phi) / \partial \Phi = f(\Phi)C\delta(\bar{\xi}). \end{aligned} \quad (17)$$

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

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

Let us consider the field in the vicinity of $\bar{\xi}$. We assume that there the value of the field can change discontinuously as a result of a quantum kick (fluctuation). This discontinuous change in the field is computed by integration (17) from $\xi_j = \bar{\xi} - \varepsilon$ to $\xi_{j+1} = \bar{\xi} + \varepsilon$:

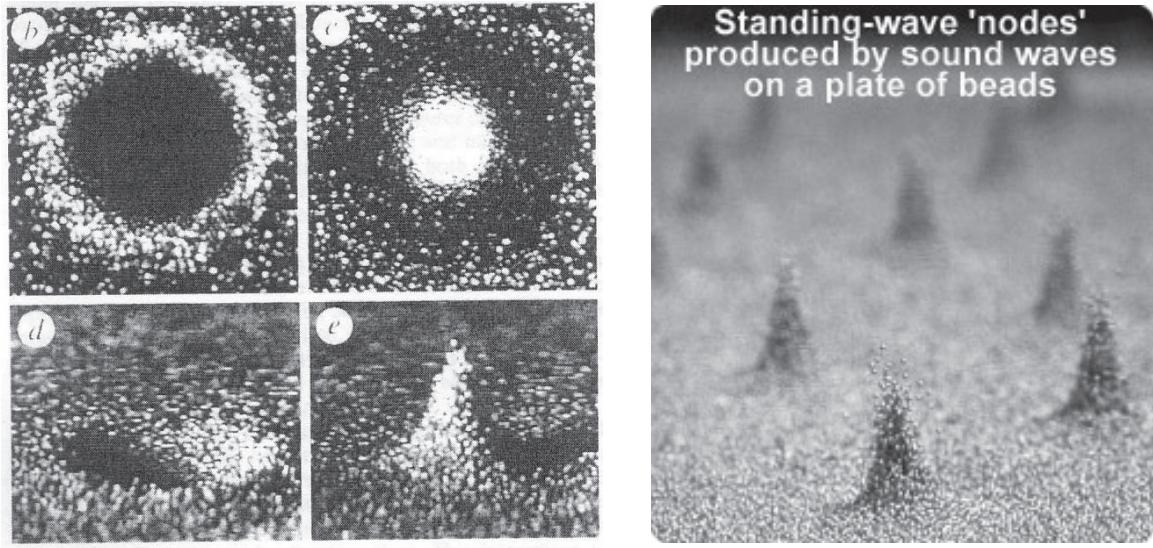


Fig. 4. The typical wave formation on granular layers arising at strong vertical vibrations. The periodical granular peak and crater on a surface of the vertically excited layer: *b* and *c* are a bird view, *d* and *e*, are a side view (left), Localized excitations in a vertically vibrating granular layer. (Umbanhowar et al., 1996; Galiev, 2011)

$$\begin{aligned}
 & [\frac{1}{2}\omega^2 B^2 - 2c_*^2 g^2 K^2 (\sum_{i=1}^I a_i^2 + \frac{1}{4}I)] \\
 & [\Phi_{\xi}(\bar{\xi} + \varepsilon) - \Phi_{\xi}(\bar{\xi} - \varepsilon)] + \\
 & + \int_{\bar{\xi}-\varepsilon}^{\bar{\xi}+\varepsilon} (m^2 c_0^2 \hbar^{-2} A \sec hK\xi - \lambda A^3 \operatorname{sech}^3 K\xi) d\xi = \\
 & = C \int_{\bar{\xi}-\varepsilon}^{\bar{\xi}+\varepsilon} f(\Phi) \delta(\bar{\xi}) d\xi.
 \end{aligned} \tag{19}$$

Let $\varepsilon \rightarrow 0$ and $A_{\bar{\xi}+\varepsilon} \gg A_{\bar{\xi}-\varepsilon}$. In this case the equation (19) approximately yields that

$$\begin{aligned}
 & A_{\bar{\xi}+\varepsilon}^3 + 2\lambda^{-1} K^2 [\frac{1}{2}\omega^2 B^2 - 2c_*^2 g^2 K^2 \times \\
 & \times (\sum_{i=1}^I a_i^2 + \frac{1}{4}I)] A_{\bar{\xi}+\varepsilon} + 2C\lambda^{-1} K = 0.
 \end{aligned} \tag{20}$$

Here $2C\lambda^{-1} K$ is a constant. Its value is determined by the amplitude of the quantum fluctuation C . We will study cases when $2C\lambda^{-1} K$ is varied from 10^{-15} till 10^{-30} and

$$\frac{1}{2}\omega^2 B^2 \approx 2c_*^2 g^2 K^2 (\sum_{i=1}^I a_i^2 + \frac{1}{4}I). \tag{21}$$

We will consider a small fluctuation of $2\lambda^{-1} K^2 [\frac{1}{2}\omega^2 B^2 - 2c_*^2 g^2 K^2 (\sum_{i=1}^I a_i^2 + \frac{1}{4}I)]$. Let its amplitude varies from 10^{-5} to 10^{-15} . As a result the

increasing in the amplitude of the scalar field may be up to 10^{-2} .

We note again that NKGE explicitly contains the d'Alembertian operator. Therefore, the amplitude of the dynamic part can change very strongly when the value $\frac{1}{2}\omega^2 B^2 - 2c_*^2 g^2 K^2 (\sum_{i=1}^I a_i^2 + \frac{1}{4}I)$ corresponding to this operator changes its sign. Thus, the field changes when the resonant condition (21) takes place. This resonant situation corresponds to a bifurcation (Fig. 5).

Finite time quantum action. Fig. 5 shows the possibility of a very strong change in the amplitude of the dynamic part. It becomes possible for the energy clot to escape the potential well. However, we think that this process of tunnelling through the energy barrier is not instant. Let us assume that the quantum action is described by a function $f(\xi)$. In this case the equation (17) yields

$$\begin{aligned}
 & [\frac{1}{2}\omega^2 B^2 - 2c_*^2 g^2 K^2 (\sum_{i=1}^I a_i^2 + \frac{1}{4}I)] \Phi_{\xi\xi} + \\
 & + \partial V(\Phi) / \partial \Phi = f(\xi).
 \end{aligned} \tag{22}$$

Changing $f(\xi)$ we will model the tunnelling processes. For the calculations we assume $[\frac{1}{2}\omega^2 B^2 - 2c_*^2 g^2 K^2 (\sum_{i=1}^I a_i^2 + \frac{1}{4}I)] \Phi_{\xi\xi} \approx 0$ in (22). In this case we have

$$\Phi^3 + \bar{R}\Phi = \lambda^{-1} f(\xi). \tag{23}$$

Here $\bar{R} = -\lambda^{-1}m^2$ is the transresonant parameter. The function $\lambda^{-1}f(\xi)$ can describe a group of waves. As a result of the quantum action the amplitude and the form of oscillations of the dynamic part can change strongly inside the potential well. We assumed that

$$f(\xi) = l\lambda(\sec h\Omega\xi \cos \bar{\Omega}\xi)^J, \quad (24)$$

where l , Ω , $\bar{\Omega}$ and J are constants. Below several examples of the action are presented.

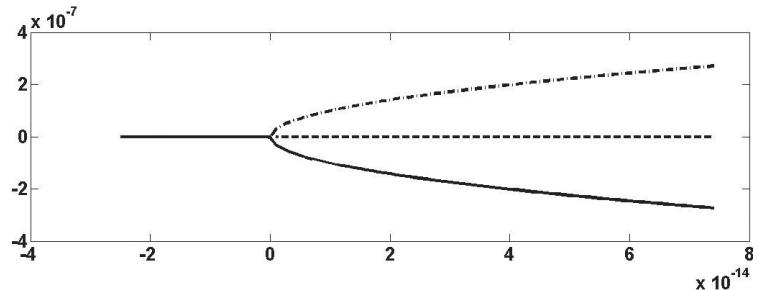


Fig. 5. Bifurcations of the amplitude of the dynamic part calculated for different values $2\lambda^{-1}K^2[\frac{1}{2}\omega^2B^2 - 2c_*^29^2K^2(\sum_{i=1}^I a_i^2 + \frac{1}{4}I)]$. (Galiev, Galiyev, 2013)

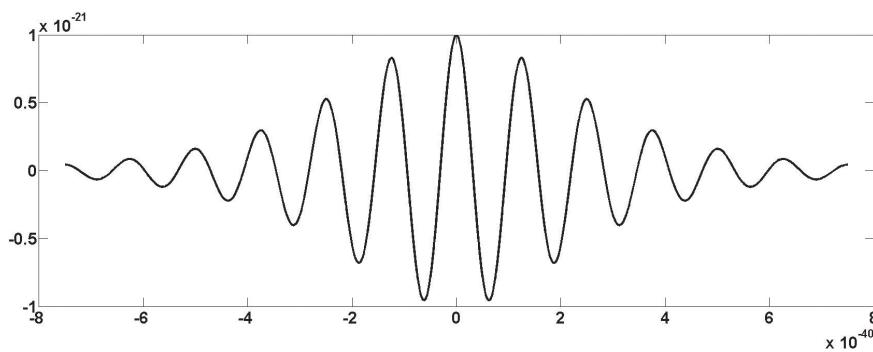


Fig. 6. The quantum fluctuation as a group of waves: $l = -10^{-21}$, $\Omega = 5 \times 10^{39}$, $\bar{\Omega} = 5 \times 10^{40}$ and $J=1$

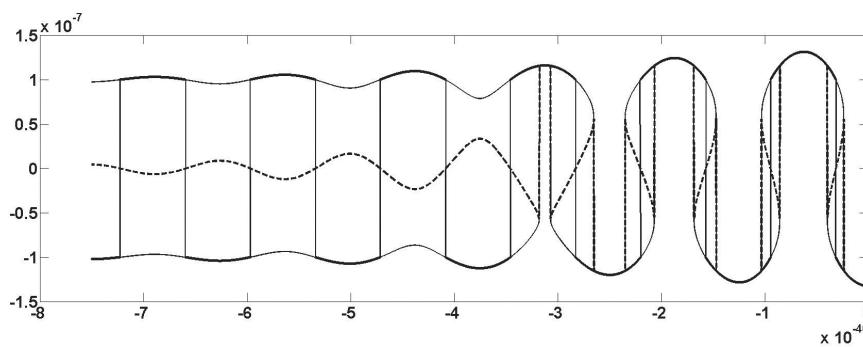


Fig. 7. The evolution of the scalar fields at the resonance ($\lambda^{-1}m^2 = 10^{-14}$)

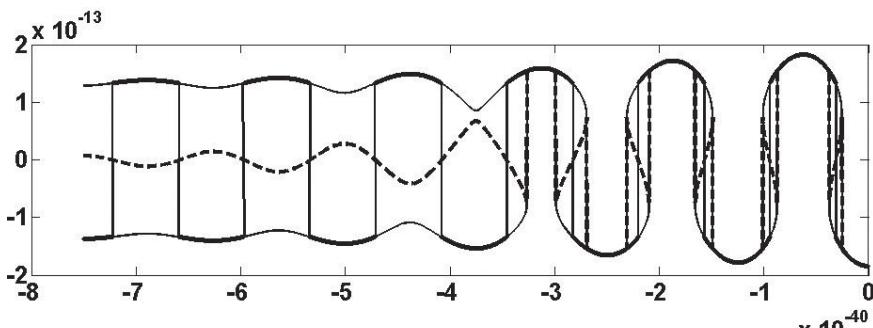


Fig. 8. The evolution of the scalar fields at the resonance ($\lambda^{-1}m^2 = 10^{-25.75}$)

We found that the amplification of the waves and the strongly nonlinear evolution of their forms took place when the resonant conditions for coefficients $\lambda^{-1}m^2$ and l of the equation (23) were satisfied. We considered cases when these resonant conditions are met. Then we studied the influence of the change of the amplitude of the quantum fluctuation on the amplitude and the form of the resulting nonlinear wave.

At first we consider three cases of the calculations when $J=1$ in (24).

1. Let the parameters of the quantum fluctuation (24) be (Fig. 6): $l = -10^{-21}$, $\Omega = 5 \times 10^{39}$, $\bar{\Omega} = 5 \times 10^{40}$, $J=1$.

In this case the resonant condition is satisfied at $\bar{R} = -10^{-14}$ and the resulting field is presented in Fig. 7.

Far from resonance the three fields (13) are described. However, as we approach resonance the fields begin to interact and the amplitudes of oscillations of these fields begin to increase.

The same behaviour is observed in the following two

cases where we consider a quantum fluctuation with a different set of parameters.

2. Let the parameters of the quantum fluctuation be $l = -3 \times 10^{-39}$, $\Omega = 5 \times 10^{39}$, $\bar{\Omega} = 5 \times 10^{40}$, $J=1$.

In this case the resonant condition is satisfied at $\bar{R} = -10^{-25.75}$ (Fig. 8).

3. Let the parameters of the quantum fluctuation be $l = -3 \times 10^{-51}$, $\Omega = 5 \times 10^{39}$, $\bar{\Omega} = 10^{41}$, $J=1$. In this case the resonant condition is satisfied at $\bar{R} = -3 \times 10^{-34}$ and the resulting field is presented in Fig. 9.

In the cases considered above we found resonant parameters at which the three source independent scalar fields begin to interact and form a new composite field. The amplitude of the composite field's oscillations increases beyond that of the original fields. It may increase to a point where

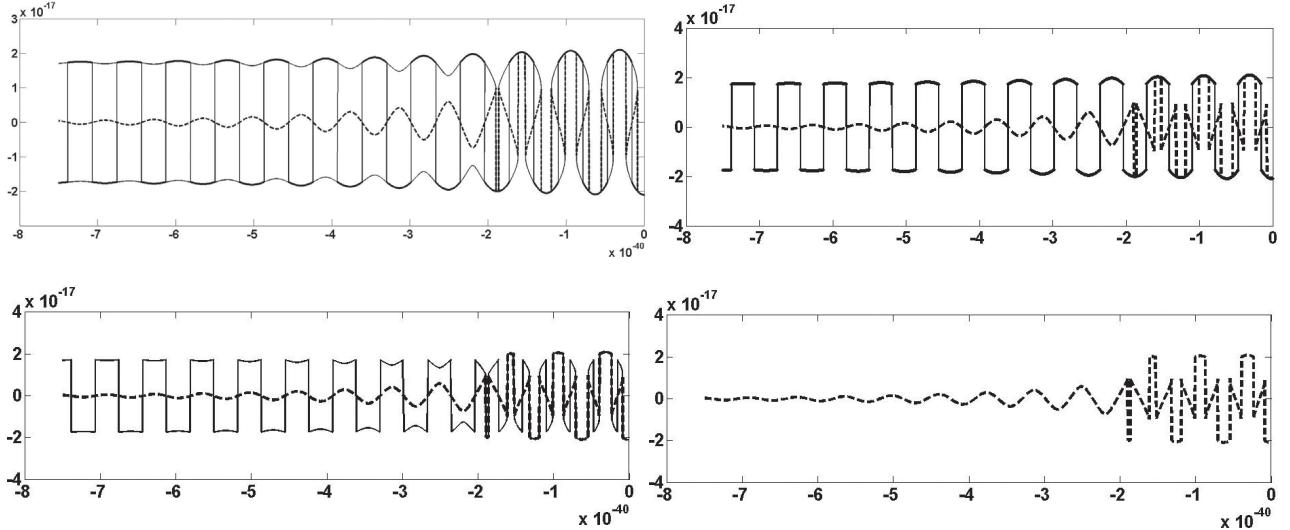


Fig. 9. The evolution of the scalar fields during the tunnelling: the interaction of three fields (upper row, the left picture); the interaction of two fields (upper row, right picture and bottom row, the left picture); the discontinuous oscillations of one field (bottom row, the right picture)

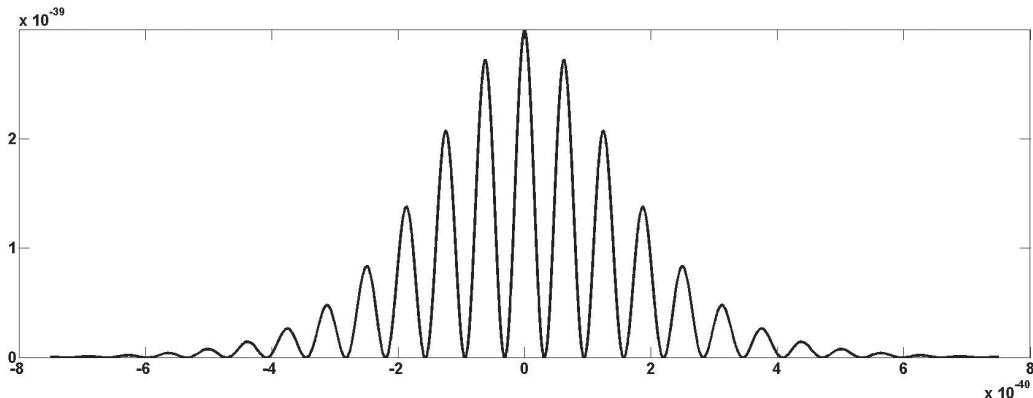


Fig. 10. The quantum fluctuation as a group of peaks: $l = -3 \times 10^{-39}$, $\Omega = 5 \times 10^{39}$, $\bar{\Omega} = 5 \times 10^{40}$ and $J=2$. (Galiev, Galiyev, 2013)

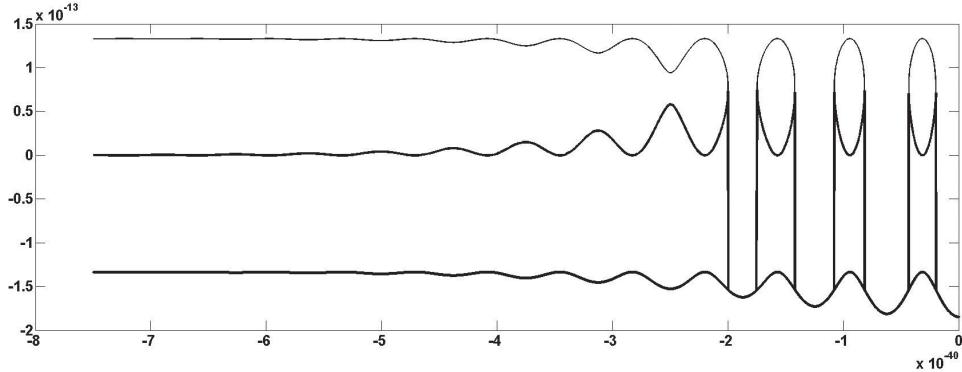


Fig. 11. The evolution of the scalar fields during the action of the group of peaks: $\lambda^{-1}m^2 = 10^{-25.75}$. (Galiev, Galiyev, 2013)

Let the parameters of the quantum fluctuation be: $J=3$, $l = -3 \cdot 10^{-39}$, $\Omega = 5 \cdot 10^{39}$, $\bar{\Omega} = 5 \cdot 10^{40}$ (Fig. 12).

In this case the resonant condition is satisfied at $\bar{R} = -10^{-26.45}$ and the resulting field is presented in Fig. 13.

Remark. We studied the instability of a scalar field which is caused by a quantum fluctuation. We can expect that the wave shapes shown in Figs. 7–9, 11 and 13 may form in different unstable systems during impact actions. And indeed, there are certain

similarities of the wave forms presented in Figs. 7–9 and 13 with the wave shapes which were studied by Niederhaus, Jacobs (2003). They investigated the Richtmyer-Meshkov instability of an interface of two-liquid system experimentally. The initially stratified fluids are contained within a rectangular tank mounted on a sled that rides on a vertical set of rails. The instability is generated by dropping the sled onto a coil spring, producing a nearly impulsive upward acceleration. Some results of experiments are shown in Fig. 14.

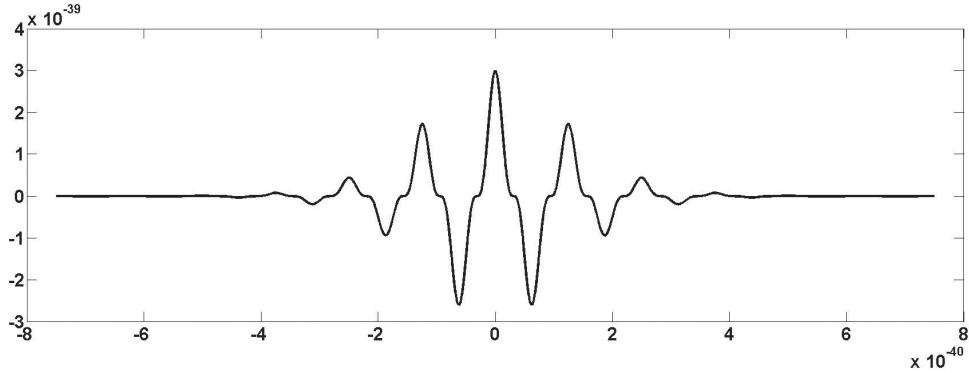


Fig. 12. The quantum fluctuation: $l = -3 \cdot 10^{-39}$, $\Omega = 5 \cdot 10^{39}$, $\bar{\Omega} = 5 \cdot 10^{40}$ and $J=3$. (Galiev, Galiyev, 2013)

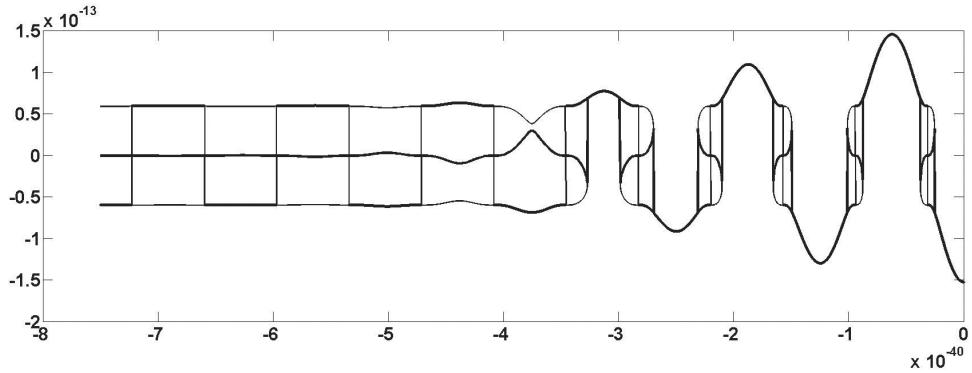


Fig. 13. The evolution of the scalar fields at the resonance: $\lambda^{-1}m^2 = 10^{-26.45}$. (Galiev, Galiyev, 2013)

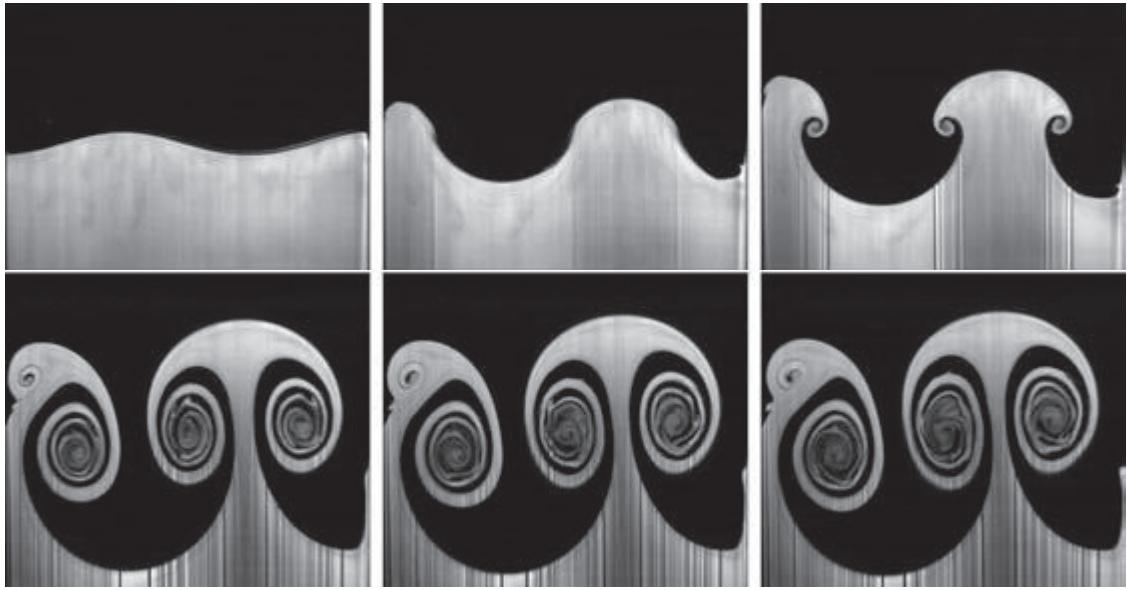


Fig. 14. A sequence of images of waves generated due to the Richtmyer–Meshkov instability of incompressible liquids. (Niederhaus, Jacobs, 2003)

The last results are applicable to problem of the formation of the Universe. It has been found (see Galiev, Galiyev 2001) that the mushroom-like waves and trans-resonant vortices can develop from ripples in nonlinear and dense enough media, if certain critical condition holds. The early Universe was very dense and highly nonlinear. Therefore, the mushroom-like waves and trans-resonant vortices could form there.

Fig. 15 demonstrates the initial growth of the wave. Then the wave evolves into the shock waves and the mushroom-like waves. The picture becomes complicated, when $\bar{R} \approx -0.1$. As a result, two kinds of structures similar to ellipses and a sawtooth curve are formed. Structures similar to an ellipse decrease

and disappear, when $\bar{R} \approx -1.2$, while the sawtooth curve is transformed into the harmonious curve. Galiev and Galiyev (2001) have assumed that the ellipse –like structures correspond to condensed cosmic matter. These structures were considered as seeds of the galaxy systems. The harmonious curve can be considered as certain image of the primordial electromagnetic waves. The jumps are possible from one branch of the solutions to another branch of the solutions for small value \bar{R} .

As a whole, Fig. 15 can be treated as certain model of the processes accompanying formation of the Kármán vortex street. On the other hand, Fig. 15 may be treated as a ‘pitchfork’ bifurcation diagram, which describes the evolution of initial waves into

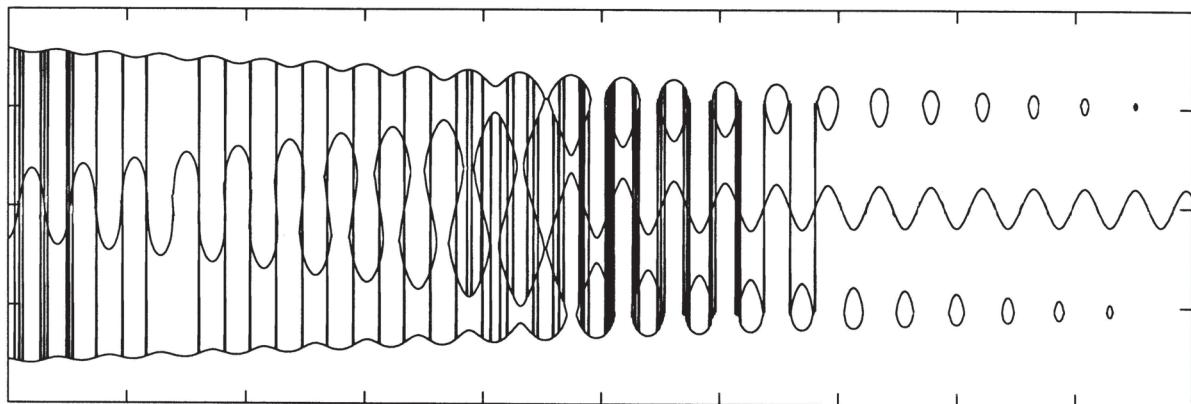


Fig. 15. The growth of ripples, formation of mushroom-like waves, loops and the groups of elliptic isolated structures (vortices). Along the axis the transresonant parameter \bar{R} changes from 0.4 till -1.25. (Galiev, Galiyev, 2001)

mushroom-like forms, the ellipse structures and the sawtooth curve. The harmonious wave first evolves into the shock waves and further into the mushroom-like forms. In certain sense, this site of this transformation corresponds to the ‘handle’ of ‘the pitchfork’. There is the transitive zone behind the site, where the jumps from solutions to solutions (from the branch to the branch) may be. The zone corresponds to the bifurcating zone of the pitchfork. Behind this zone the sawtooth curve and two chains of the ellipse structures are being formed. In some sense, they form the ‘pitchfork teeth’. Certainly, the described scheme is only very rough diagram of possible wave bifurcations. It was underlined (Galiev,

Galiyev 2001) that Fig. 15 corresponds to the transresonant wave evolution. In particular, perhaps, Fig. 15 gives also some understanding of the Universe evolution (Galiev, Galiyev 2001).

Results determined by Figs. 6–15.

We considered many examples of the effect of the quantum fluctuations on the scalar field. According to the calculations tiny quantum perturbation can amplify very strongly. Three fields defined by NKGE (23) and (24) are normally stationary. However, in certain circumstances the fields lose stability. They begin to vibrate. We found the examples of parameters at which the fields begin to interact. We will call these parameters – resonant. The resulting combinational field consists from the elements of those previously independent fields

The transition of the elements from one to another is not necessarily smooth and continuous. Discontinuous transitions are possible. We can say that in the resonant situations the field becomes fragmented.

The results of calculations presented in Figs. 6–15 may be considered as waves, closed loops and pinwheel-like swirls in the scalar field which appeared as a result of the quantum fluctuations.

It possible that in the course of fragmentation the size of the field increased. The process could be visualised by imagining a three-dimensional drop of oil hitting the surface of water. As a result of the impact the oil drop is separated into many particles which spread over the two-dimensional surface of water. The particles of oil occupy in the two-dimensional space much bigger volume than they had in the initial moment. At the same time each particle continues to be a three dimensional object.

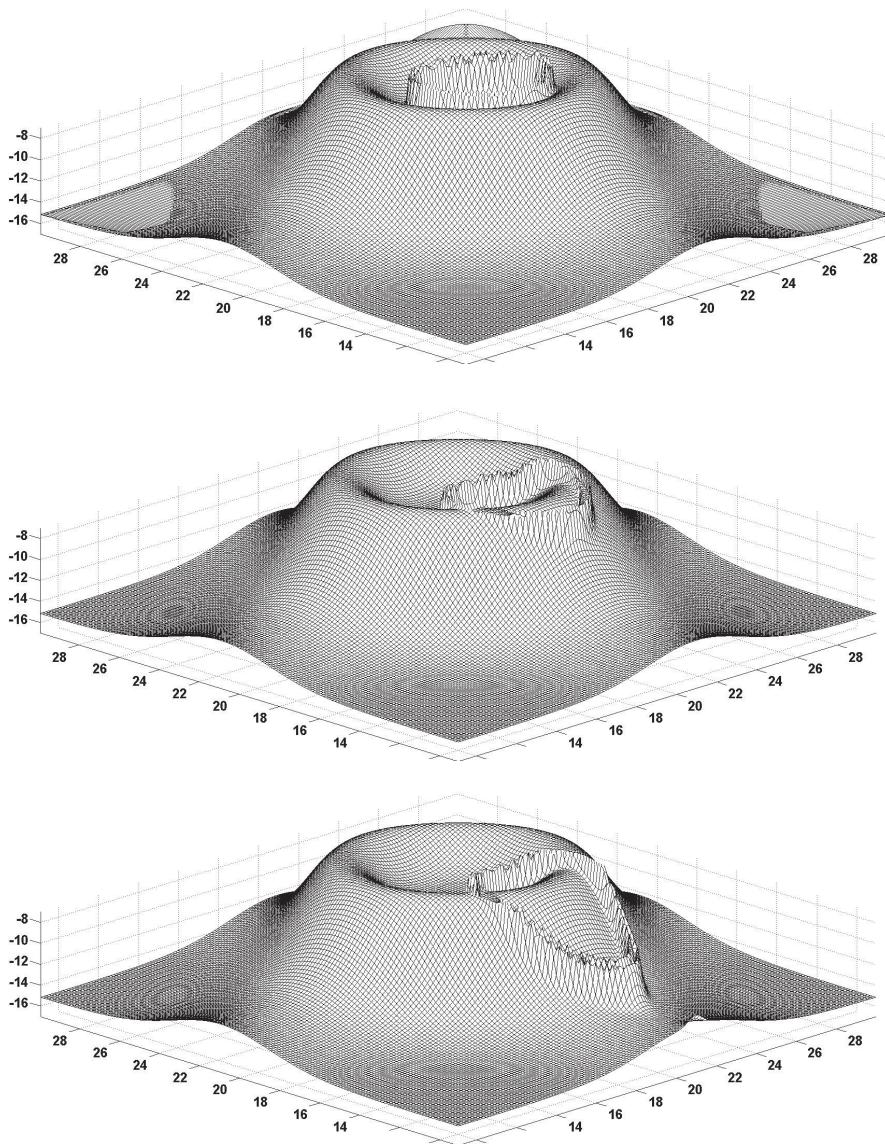


Fig. 16. The tunnelling of the scalar field potential from the well. Two-dimensional case is considered when $a_2 = 0$ and $a_1 = -0.1$ (top), $a_1 = -0.4$ (middle) and $a_1 = -0.6$ (down) in (9). (Galiev, Galiyev, 2013)

Another important result of the calculations is that a very small quantum action can increase the amplitude of the oscillations of the composite field beyond that of the original fields. As a result the energy clot can escape (tunnel) from the potential well.

Of course, the ways of tunnelling through the potential wall may be different. One of them is illustrated by Fig. 16. It shows a picture of the crossing of the energy barrier by the energy clot.

4. The birth of the particles of energy and matter.

A large number of small finite elements appear in the scalar field as a result of its fragmentation. We assume that a large number of small open string-like elements can appear in the scalar field. They begin to vibrate (Fig. 17).

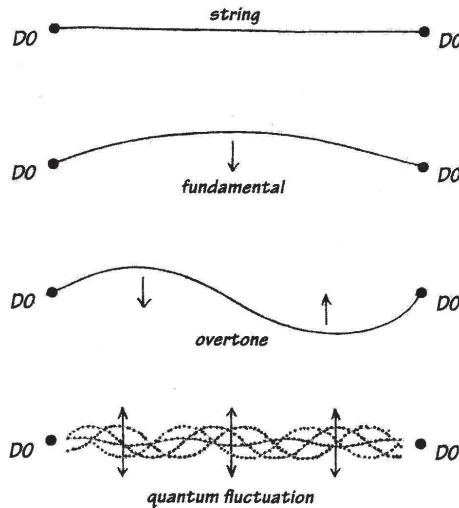


Fig. 17. Linear oscillations and a quantum fluctuation of a string stretched between two D0-branes. (Gubser, 2010)

We can study these vibrations as a strongly nonlinear problem which is described by NKGE (1). This equation has the cubic nonlinear term and the d'Alembertian operator. Near the resonant frequencies the influence of this operator is small. Using this we constructed multivalue models which describe the birth of the highly energetic particles.

4.1. Boundary conditions $\Phi=0$ at $x_i = 0; L$.

The multidimensional model of the element is considered. We write the equation (7) in the form

$$\Phi_{tt} - c_*^2 \sum_{i=1}^I \Phi_{ii} + m^2 \Phi - \lambda \Phi^3 = 0. \quad (25)$$

We assume at the ends of the element that

$$\Phi=0 \text{ at } x_i = 0; L. \quad (26)$$

New coordinates r and s are introduced

$$r = ct - \sum_{i=1}^I k_i x_i, \quad s = ct + \sum_{i=1}^I k_i x_i. \quad (27)$$

Here c is a constant. Let its value is very close to $c_* (\sum_{i=1}^I k_i^2)^{0.5}$,

$$c = c_* (\sum_{i=1}^I k_i^2)^{0.5} + \bar{c}, \quad (28)$$

where \bar{c} is the perturbation of the speed c . The function Φ is represented as a sum:

$$\Phi = \Phi^{(1)} + \Phi^{(2)}, \quad (29)$$

where $\Phi^{(1)} \gg \Phi^{(2)}$. It is assumed that

$$\Phi^{(1)} = J(r) - J(s) \text{ and } \Phi^{(2)} = j(r) - j(s). \quad (30)$$

Substituting (29) into (25) we write two equations

$$2(c^2 + c_*^2)(\Phi^{(1)} + \Phi^{(2)})_{rs} = 0, \quad (31)$$

$$\begin{aligned} & [2c_*\bar{c}(\sum_{i=1}^I k_i^2)^{0.5} + \bar{c}^2][(\Phi^{(1)} + \Phi^{(2)})_{rr} + \\ & + (\Phi^{(1)} + \Phi^{(2)})_{ss}] + m^2(\Phi^{(1)} + \Phi^{(2)}) - \\ & - \lambda(\Phi^{(1)} + \Phi^{(2)})^3 = 0. \end{aligned} \quad (32)$$

Let

$$\begin{aligned} \Phi^{(1)} &= A(\sin \omega c^{-1} r - \sin \omega c^{-1} s) \quad \text{and} \\ \omega L c^{-1} &= 2\pi N \quad (N=\pm 1 \pm 2 \pm 3, \dots). \end{aligned} \quad (33)$$

It is also suggested that the function j is periodical having the period equal L . In this case the conditions (26) and equation (31) are satisfied. Let us now consider (32). We will construct the approximate solution of (32) which is valid where

$$\Phi^{(1)}_{rr} \gg \Phi^{(2)}_{rr} \text{ and } \Phi^{(1)}_{ss} \gg \Phi^{(2)}_{ss}. \quad (34)$$

The interaction of the opposite travelling waves is not taken into account. In this case equation (31) yields

$$j^3 + \bar{R}j + q \sin \omega c^{-1} r = 0, \quad (35)$$

where

$$q = [2c_*\bar{c}(\sum_{i=1}^I k_i^2)^{0.5} + \bar{c}^2]\lambda^{-1}\omega^2 c^{-2} A. \quad (36)$$

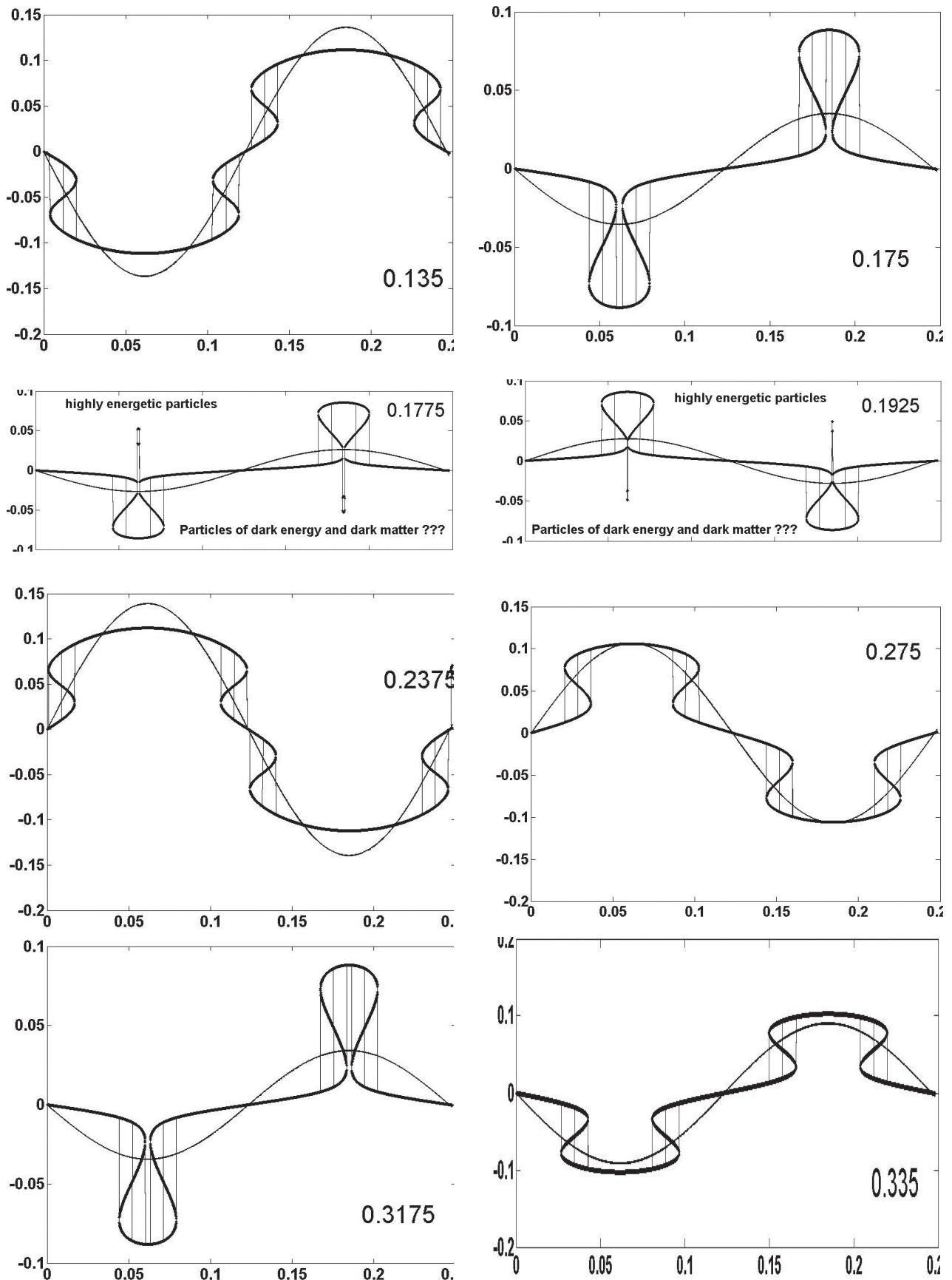


Fig. 18. Resonant oscillations of the scalar field elements according to the second resonant form. Periodic formation of the particles of energy and matter. The thin smooth lines correspond to the linear oscillations. (Galiev, Galiyev, 2013)

There are three distinct cases, when the equation (35) has real solutions:

1. Let $\bar{R}=0$, then the equation (35) is satisfied if

$$j = (-q)^{1/3}. \quad (37)$$

2. Let $\bar{R} > 0$, then the function j is unique, single-valued and continuous

$$j = -2D \sinh[\sqrt[3]{\epsilon} \arcsin h(0.5qD^{-3})], \quad (38)$$

where $D = [\text{sign}(q)](|R|/3)^{0.5}$.

3. Let $\bar{R} < 0$ and $q^2/4 + R^2/27 \leq 0$. In this case there are three solutions

$$j_M = -2D \cos[\sqrt[3]{\epsilon} \arccos(0.5qD^{-3}) + 2M\pi/3], \quad (39)$$

where $M=0; 1; 2$. Using these continuous solutions we can construct multivalued solutions.

Results of the calculations. Model calculations were made. We assumed that

$$\bar{R} = -0.0014, \omega = 25.5, \quad (40)$$

$c = 1$ and $q = 0.0001$.

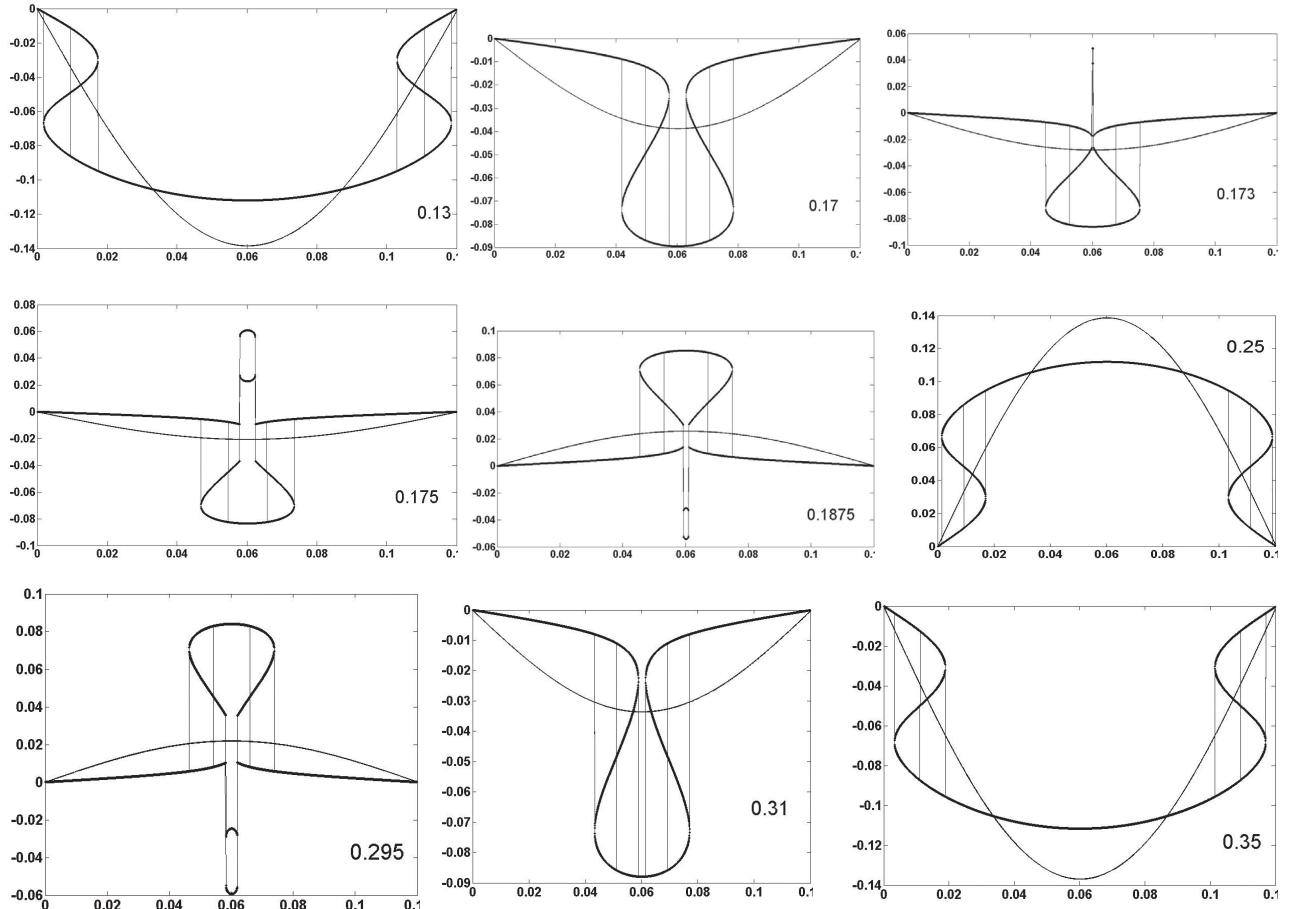


Fig. 19. Resonant oscillations of the scalar field elements according to the first resonant form. Periodical formation of particles of energy and matter. The thin smooth lines correspond to the linear oscillations. (Galiev, Galiyev, 2013)

First we study the nonlinear oscillations described by the equation (35). Figs. 18 and 19 illustrate second and first modes of the oscillations correspondingly.

We think that Fig. 18 illustrates the emergence of particles of energy and matter. The particles swim above or below the scalar field element. However there are moments (for example, 0.1775 and 0.1925) when the particles separate from the energy level of the element.

It is important that the appearance of the energetic particles (see Fig. 18) incorporates an important quantum concept – the momentary creation of pairs of particles. However, periodic radiation of a sole particle is also possible if the element oscillates according to the first resonant form (Fig. 19). We used (40) where $\omega = 26.1$.

The shapes of the nonlinear oscillations are quite different from the linear forms. In particular, the nonlinear shapes have the folds which were formed by the curved segments corresponding to the different

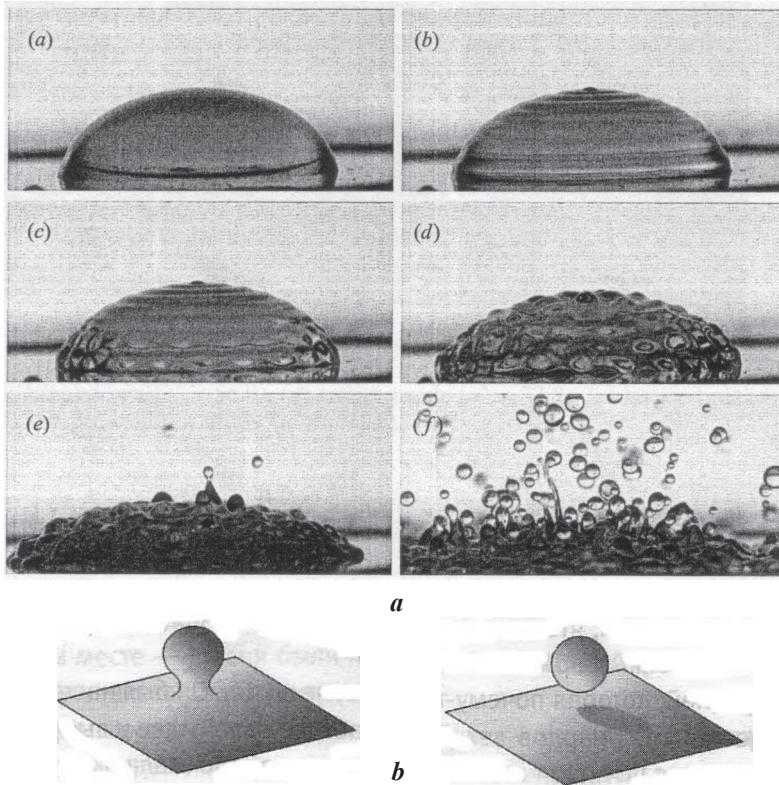


Fig. 20. Examples of an atomization and surface high-nonlinear waves. (a) Vertically excited waves and drops on a surface of 100 millimetric volumes of water (James et al., 2003). (b) A qualitative pattern of an appearance of the virtual particle in vacuum or a separation of new closed Universe from a big volume of space. (Vilenkin, 2006)

solutions of the equation (35). Within and near these folds the scalar field can have jump discontinuities. There the differential can be very large up to infinite values. According to (3) and (4) this gradient determines the density and the pressure of scalar fields.

Taking into account Figs. 17–18 we can imagine that very massive particles may be generated during the resonant oscillations of the fragments of the scalar field.

Schemes of this generation are presented in Fig. 20.

Then we calculate the scalar field oscillations taking into account the linear contribution. The oscillations are determined by expressions (29), (30) and (33):

$$\Phi = A[\sin(\omega c^{-1}r - \pi/2) - \sin(\omega c^{-1}s - \pi/2)] + j(r) - j(s). \quad (41)$$

We assume that the shift of the linear oscillations (linear component of the solution) relative to the nonlinear oscillations (nonlinear component of the solution) at the resonance is $-\pi/2$.

Then we calculate the scalar field oscillations taking into account the linear contribution. The oscillations are determined by expressions (41) and parameters (40). The results of the calculation are presented in the Fig. 21.

The elements noted above vibrate according to their resonant frequencies and can radiate particles of energy. If these particles possess some critical energy, they form matter.

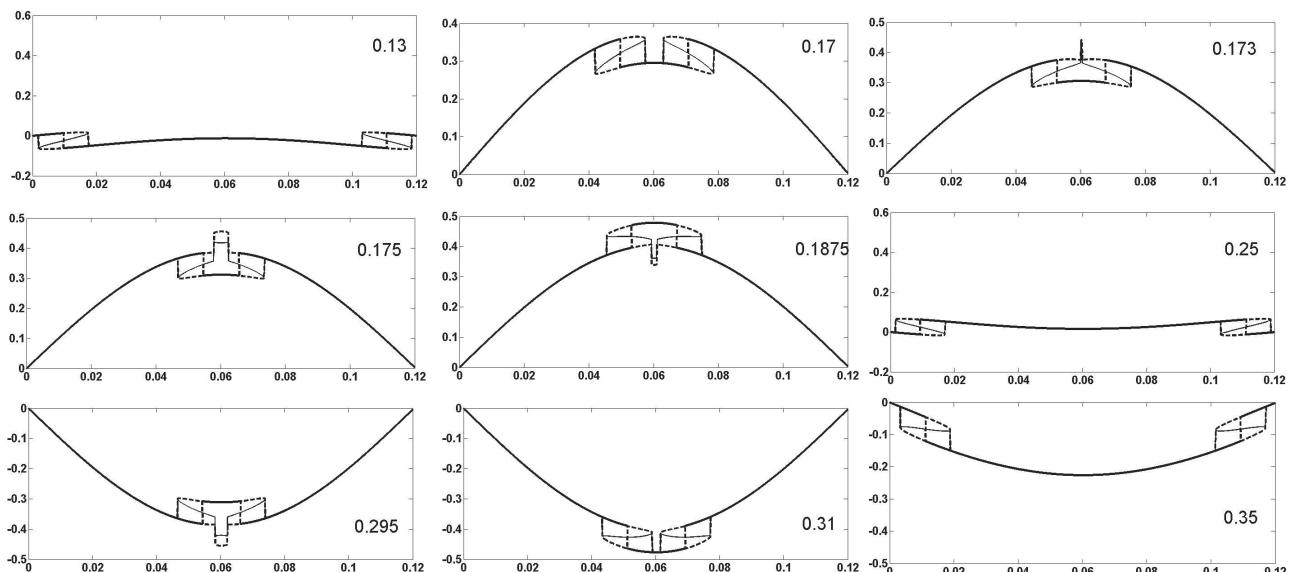


Fig. 21. Resonant oscillations of a fragment of the scalar field. The first resonant form

We can imagine that during the oscillations and the radiation of the energy particles the common energy of the fragment is reduced. Let us study this phenomenon.

First we assume that $\bar{R} = -m^2\lambda^{-1} = -0.0014$, $A = -0.2$, $\omega = 26.1$, $L = 0.12$, $c = 1$ and $q = 0.0001$. The results of the calculations are shown below.

Further reducing $\bar{R} = -m^2\lambda^{-1} = -0.00042$ we receive the results shown in Fig. 23.

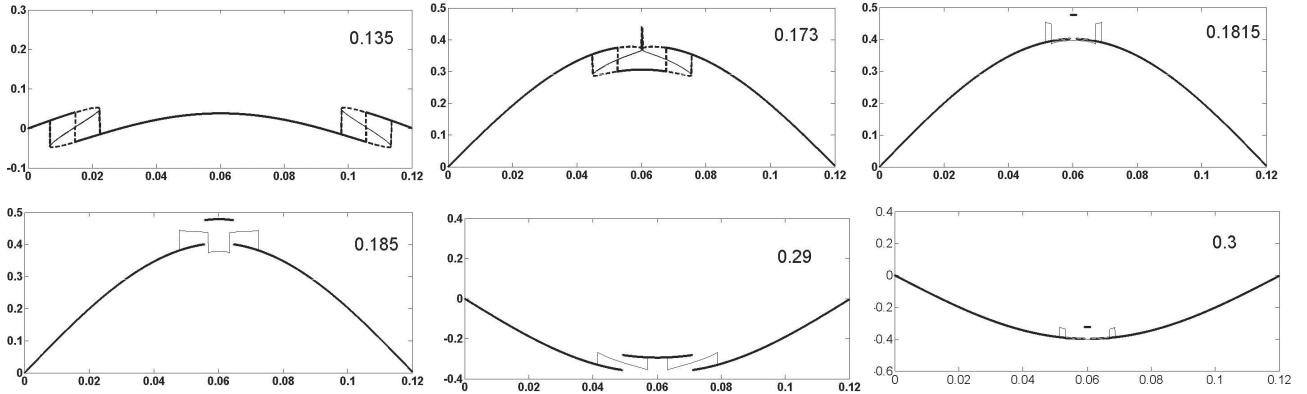


Fig. 22. Resonant oscillations of a fragment of the scalar field accompanied by eruptions of energetic particles. The case of $\bar{R} = -m^2\lambda^{-1} = -0.0014$

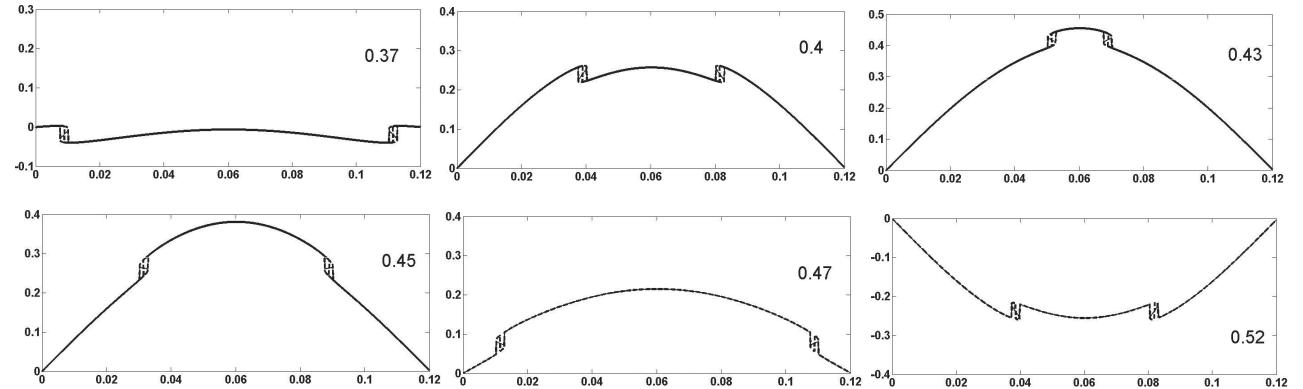


Fig. 23. Resonant oscillations of a fragment of the scalar field. The case of $\bar{R} = -m^2\lambda^{-1} = -0.00042$

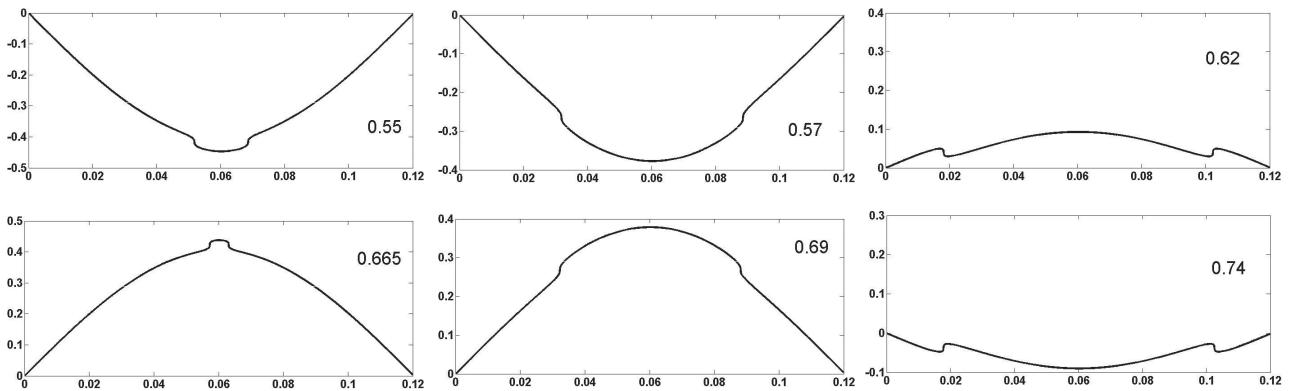


Fig. 24. Resonant oscillations of a fragment of the scalar field. The case of $\bar{R} = -m^2\lambda^{-1} = -0.0000014$

The examples of oscillations at different values of R are shown in Fig. 25. The transresonant amplification of the wave takes place as we move away from 0.

We are interested in the oscillations of the fragment and the radiation of particles for the assumed boundary condition. The results of the calculations for a full period of oscillations specifically at (42) and $\bar{R} = -0.021$ are shown in Fig. 26.

And again, just like in the earlier examples (Figs. 18, 19, 21 and 22) we are seeing the separation of energy from the main field which we interpret as emergence of various particles.

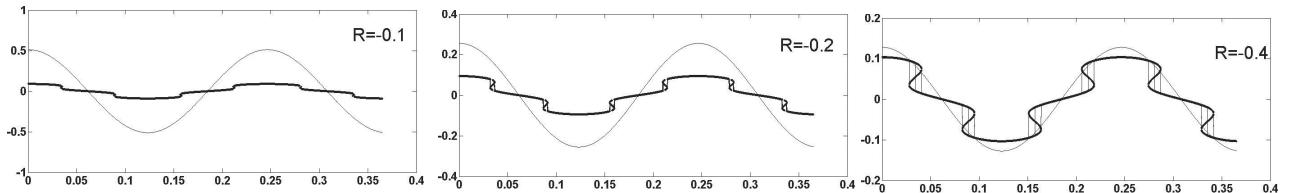


Fig. 25. The transresonant amplification of the wave, $R = \bar{R} / 0.03$

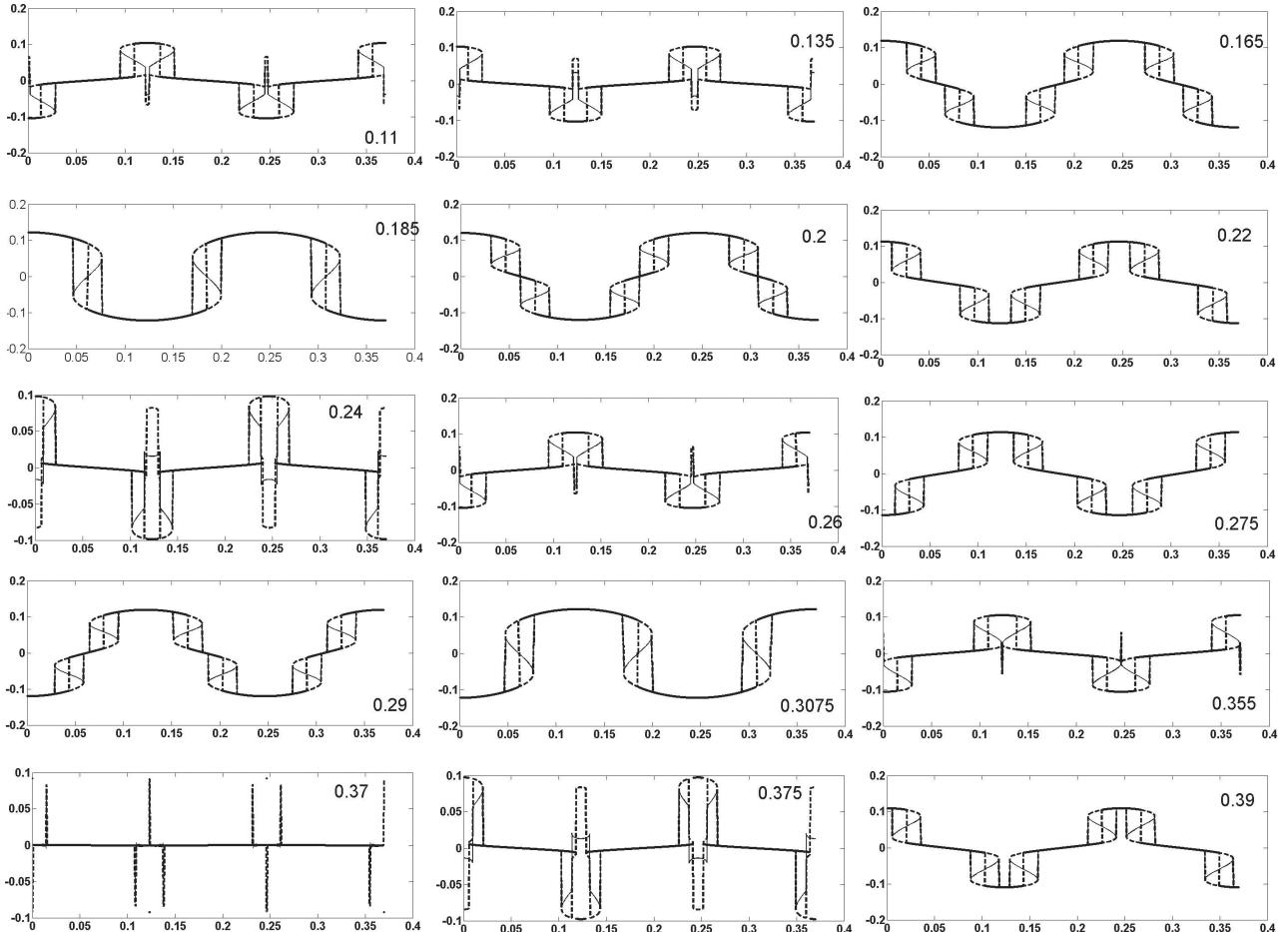


Fig. 26. Resonant oscillations of a fragment of the scalar field accompanied by eruptions of energetic particles. The case of $\bar{R} = -m^2\lambda^{-1} = -0.0021$

5. Supporting experimental results: gravity waves.

In the previous section we presented many examples of the oscillations of a scalar field. Do they describe the behaviour and evolution of the primordial fundamental field? We do not have experimental evidence supporting or denying this statement.

However, it is possible to expect that the above results can be used in the case of other wave processes, since the wave processes are described by the similar equations. Thus the method developed in the last section and the received results can be

extended to other highly-nonlinear wave processes which take place in other physical situations. There are certainly mathematical analogies in the formulas describing the wave processes of different physical nature.

Therefore we refer to a more conventional example of gravity surface waves to support the above findings.

Let us compare waves of Figs. 22–24 with experimental waves presented in Fig. 27. These waves were excited in the vertically oscillating container. Its length was 0.6 m, and the width 0.06 m. The depth of water was 0.3 m. All wave profiles (Fig. 27) were observed during one experiment. The forcing frequency was 1.6 Hz and the amplitude was 4.6 mm.

In our calculations we assumed that the shift of the linear oscillations (linear component of the solution) relative to the nonlinear oscillations (nonlinear component of the solution) was $-\pi/2$ (41). Generally speaking, this value is not known. The shift can be anything from 0 to $-\pi$. Certain discrepancies between the observations and the calculations can be explained by the variance in the value of the shift.

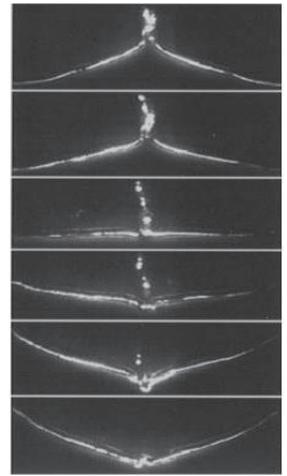
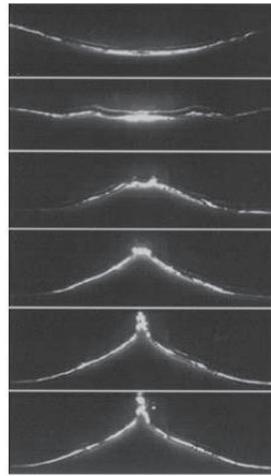
Another example of surface waves was presented in a dissertation of Kalinishenko (2009). His results are presented in Figs. 28 and 29 (upper rows). Results of our calculations are shown there in the bottom rows.

At the whole, the wave A (Fig. 28) corresponds to the picture 0.173 of Fig. 22. The wave B corresponds to picture 0.1875 of Fig. 21 and the picture 0.43 of Fig. 23. The wave C corresponds to the picture 0.665 and 0.69 of Fig. 24. The down row of Fig. 28 describe additionally only some particularities of waves A, B and C.

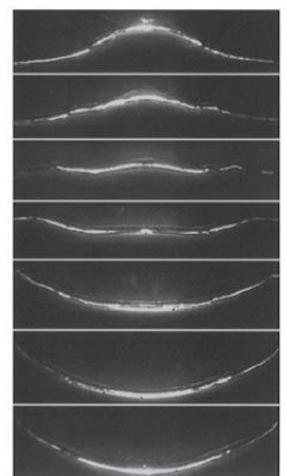
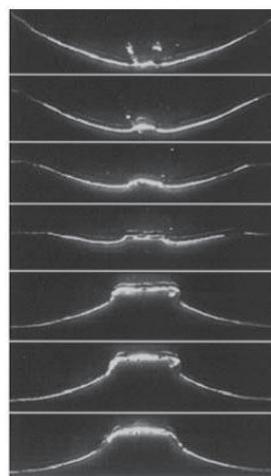
At the whole, the upper row of Fig. 29 corresponds to the picture 0.17 of Fig. 21.

And finally, we already mentioned the case of the Richtmyer-Meshkov instability of a interface of two-liquid system (Niederhaus, Jacobs 2003). Results of them are presented in Figs. 30 and 31 (upper rows). Results of our calculations are shown there in the bottom rows.

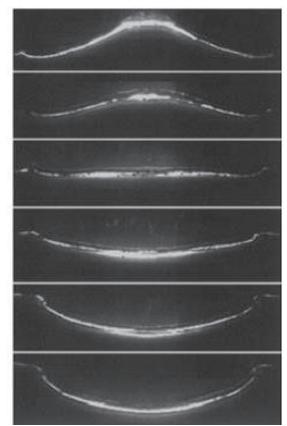
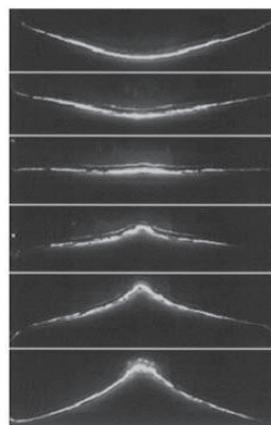
It is seen (Figs. 30–32) that the calculations describe qualitatively the appearance of vortices because of the Richtmyer-Meshkov instability.



A. Waves observed at the moments of time: 0, 0.04, 0.08, 0.12, 0.16, 0.2 (left), 0.24, 0.28, 0.32, 0.36, 0.4, 0.44 sec (right)



B. Waves observed at the moments of time: 0.52, 0.56, 0.6, 0.64, 0.68, 0.72, 0.76 (left), 0.8, 0.84, 0.88, 0.92, 0.96, 1, 1.04 sec (right)



C. Waves observed at the moments of time: 1.16, 1.2, 1.24, 1.28, 1.32, 1.36 (left), 1.46, 1.5, 1.54, 1.58, 1.62, 1.66 sec (right)

Fig. 27. The transresonant nonlinear evolution of surface water waves accompanied by the strong change of the wave forms and by the eruption of the particles from wave tops (see A.). (Jiang, Perlin, Schultz, 1998)

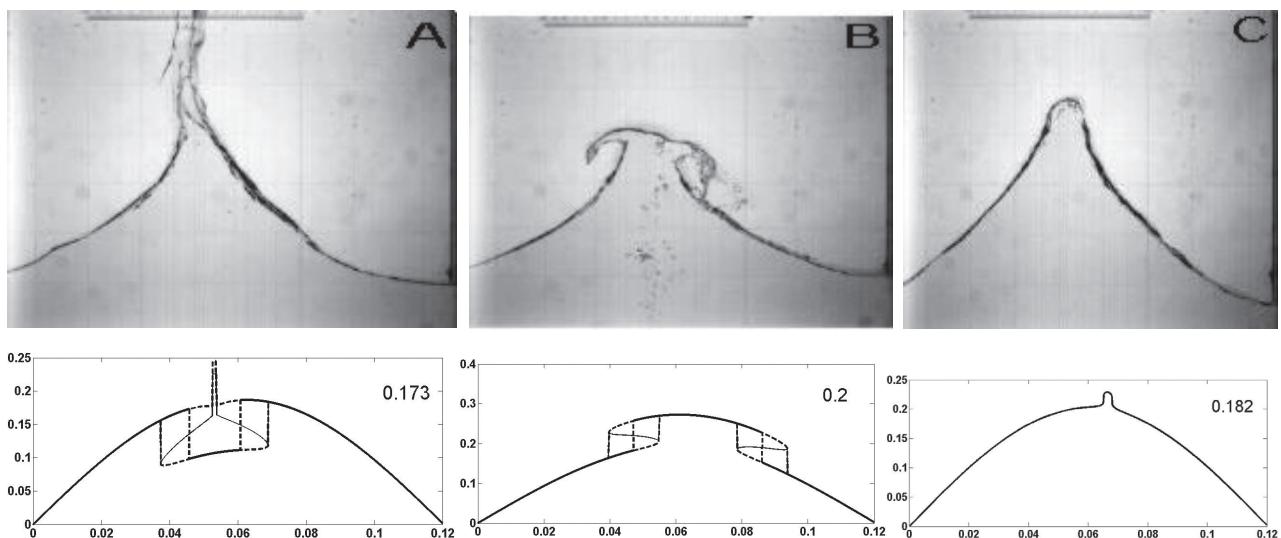


Fig. 28. The comparison of experimental data (Kalinichenko, 2009) with calculations

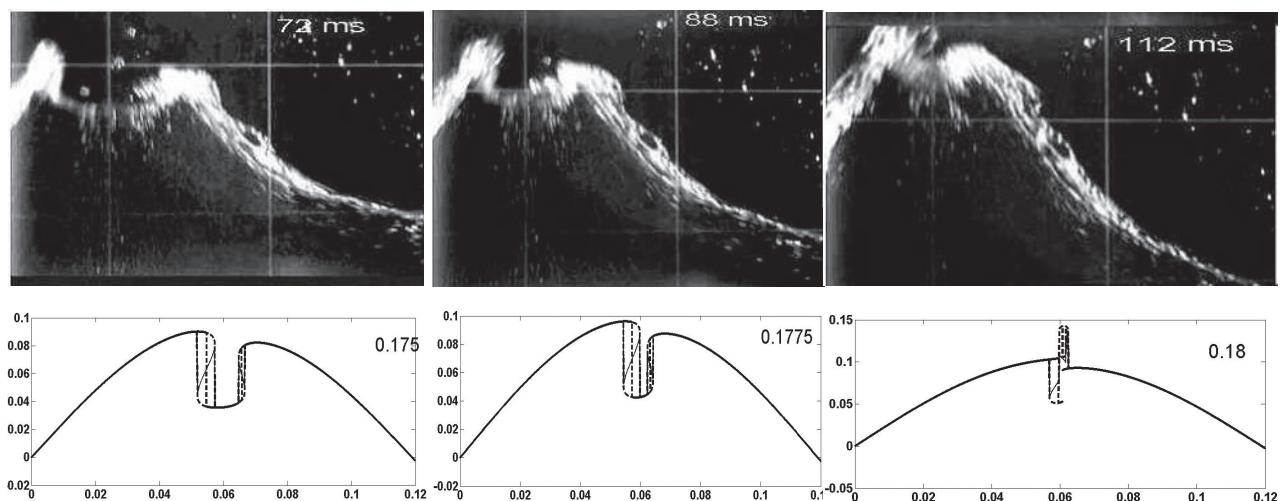


Fig. 29. The comparison of experimental data (Kalinichenko, 2009) with calculations

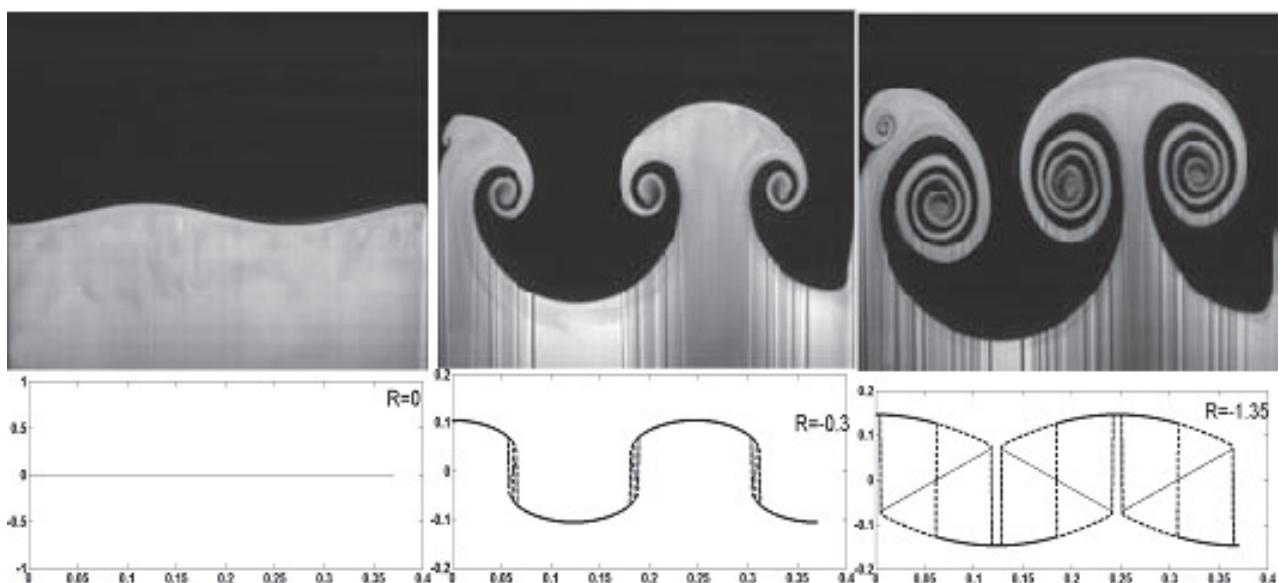


Fig. 30. The comparison of experimental data (Niederhaus, Jacobs, 2003) with calculations

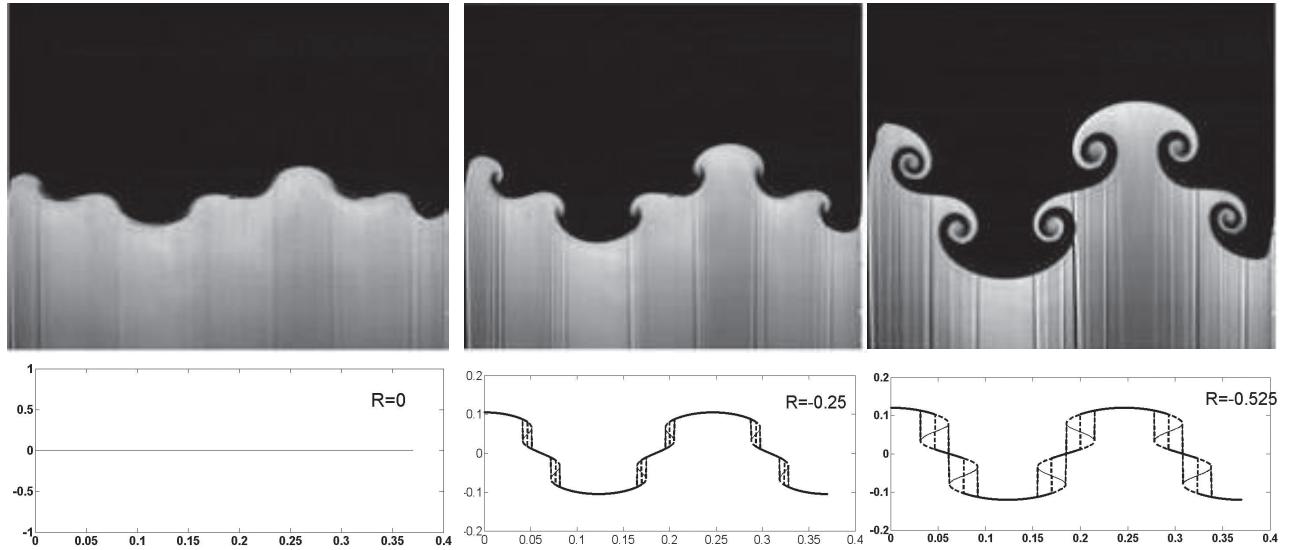


Fig. 31. The comparison of experimental data (Niederhaus, Jacobs, 2003) with calculations

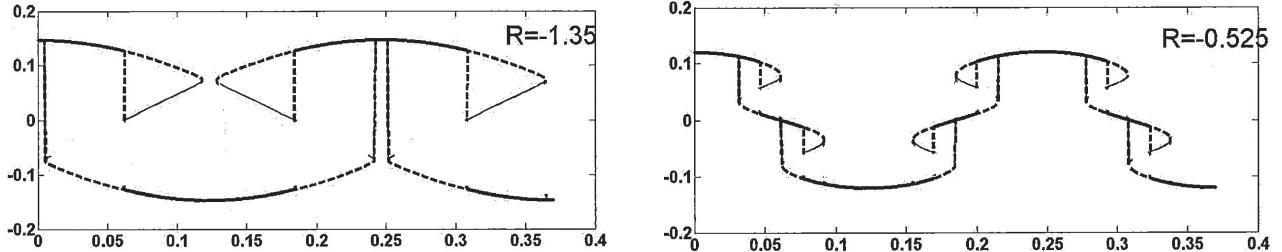


Fig. 32. The vertical scheme of certain experimental results (Niederhaus, Jacobs, 2003), which follows from results of calculations (see Figs. 30 and 31, right)

In this section we continued the study of instability of the scalar field. Results of the calculations may be treated as the appearance of vortices. The generation of vortices in different physical fields as a result of the instability is known effect. Apparently during instability both waves and vortices may be appeared in scalar fields. For example, in a Bose Einstein condensate vortices were created due to the snake instability (Fig. 33).

At the whole, the process shown in Fig. 33 corresponds qualitatively to the wave evolution during the Richtmyer-Meshkov instability

Thus we have shown that the solution (29), (30) and (33) describes a wide spectrum of nonlinear waves propagating in scalar field which may evolve into vortices. Generally speaking, the energy field can have more dimensions than we are aware of, which are curled up into tiny but complicated shapes. The string theory proclaims that the number of the dimensions may be different, for example, 5, or 11 or 26.

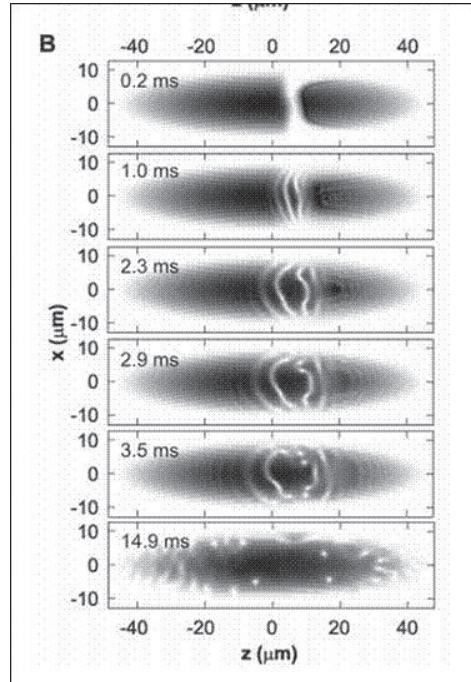


Fig. 33. Spontaneous formation of vortices through the snake instability (Dutton et al., 2001). The initial perturbation (0.2 ms) evolves into many vortices (14.9 ms)

6. The birth of the Universe.

The evolution scenario of the scalar field subject to a quantum fluctuation presented above can be viewed as describing the birth of the Universe.

The dynamic part of the scalar field – the clot of energy (Fig. 1, right) – may be considered as the ‘seed’ of the Universe. The Universe appears after the tunnelling of the clot of energy through the energy barrier. During this process the initial field is fragmented into the infinite quantity of highly energetic fragments oscillating at resonant frequencies. The waveforms of these resonant oscillations are highly nonlinear. These waves emit particles of energy.

As a result the clot begins to rapidly expand. During this process the multidimensional particles form matter and the four dimensional spacetime and our Universe appears. Galiev (2011) underlined that this appearance might remind the process shown in Fig. 34.

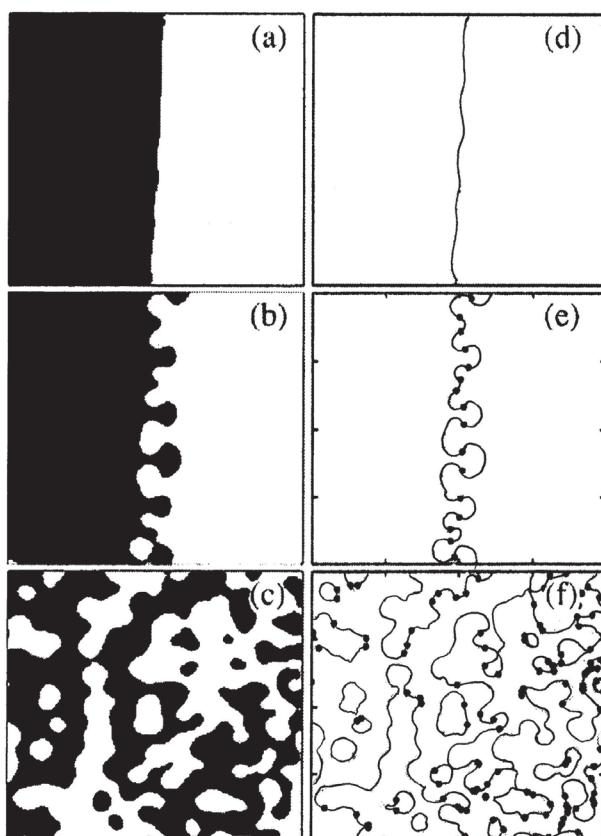


Fig. 34. Evolution of the initial perturbations of some interface into the mushroom waves, vortices and turbulence. The occurrence of the many vortices, which shown by spots, during the Belousov–Zhabotinsky instability. (Marts et al., 2004)

The evolution of the perturbations of interface of two environments into vortices was studied in (Marts et al. 2004). We can consider these perturbations as a model of the quantum perturbations acted during a birth of the Universe (see the section 3). They are shown by Fig. 34 (a,d). The initial interface (a, d) changes as a result of growth of the perturbations. Fig. 34 (e, f) shows positions of vortices (spots in the figure) at the different moments of time. Thus, Fig. 34 (d, e, f) demonstrates the evolution of the originally smooth interface into mushroom-like waves and vortices. On the other hand Fig. 34 shows the development of turbulation of the interface (left).

Remark. According to (7) the interaction of the components $\bar{\Phi}$ and Φ may be important for the tunnelling and a form of the potential landscape. Generally speaking, the landscape of the static part of the scalar field influences the tunnelling process (Fig. 16). The shape of the energy barrier could be marked in the cosmic microwave background (CMB) radiation emitted in the very early stages of the formation of the Universe. Perhaps, the influence of the interactions noted above is reflected in a spectacular new map which was presented recently by the European Space Agency (<http://www.bbc.co.uk/news/science-environment-21866464>) (Fig. 35).

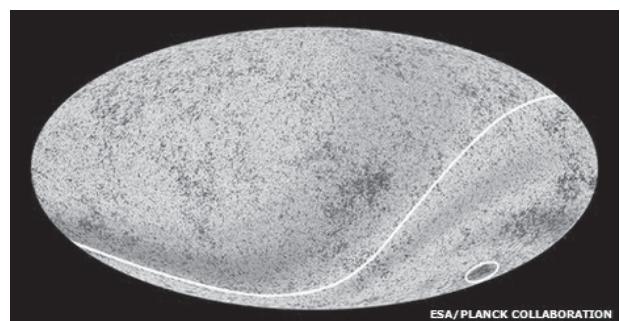


Fig. 35. The north/south differences and a ‘cold spot’ in CMB

7. The evolution of the Universe after the tunnelling.

The appearance of time and the three-dimensional space did not mean the expansion of the Universe stopped. It continued to possess a huge amount of energy. High energy elements vibrating with resonant frequencies continued to generate particles of matter. Of course, the energy of those

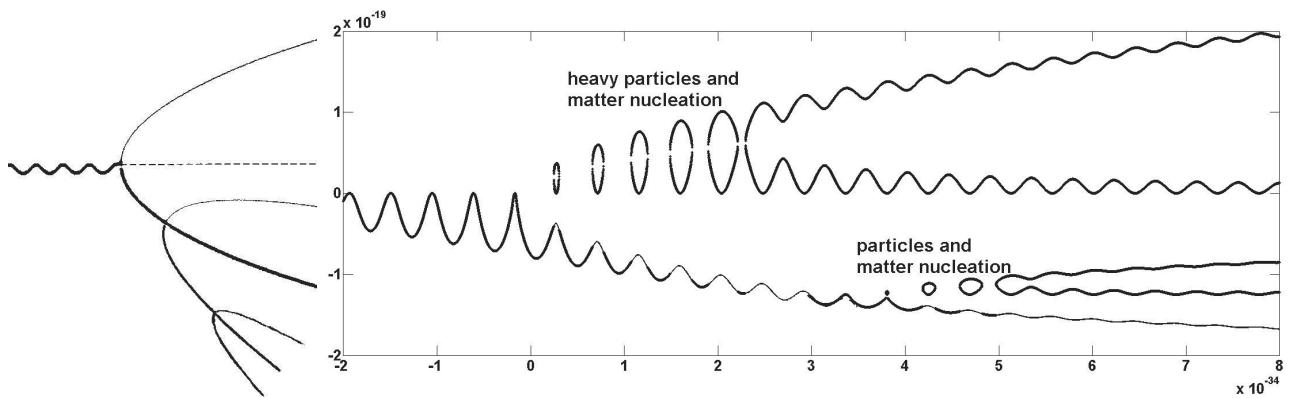


Fig. 36. A cascade of bifurcations which formed our Universe (left). The birth of particles and the matter during the bifurcations (right). (Galiev, Galiyev, 2013)

vibrations kept reducing. Therefore the particles appeared with less and less energy. On the other hand the high-energy particles that appeared earlier were breaking up into smaller-energy particles. As a result the Universe was being filled by the particles more and more familiar to us.

An interaction of fields. Let us consider a second dynamic field χ , which interact with φ but which has no mass term:

$$V_{\text{eff}}(\varphi) = V_0 + \frac{1}{2}m^2\varphi^2 - \lambda'\varphi^2\chi^2 - \frac{1}{4}\lambda\varphi^4. \quad (43)$$

Let us consider a scalar field in a thermal equilibrium. In this case according to the quantum field theory the function φ receives a contribution to its effective potential (43) (Lyth, Liddle 2009.). Let

$$\lambda'\chi^2 = g^2T^2 \quad (44)$$

in (43). Taking this into account we rewrite (7) in the form

$$\varphi_{tt} - c_*^2\nabla^2\varphi = -(m^2 - 2g^2T^2) + \lambda\varphi^3. \quad (45)$$

Thus, near

$$m^2 = 2g^2T^2, \quad (46)$$

the equation (45) can instantly change its solution. The condition (46) can correspond to the phase transitions in a physical field. If $m^2 = 2g^2T^2$, we have a resonant situation. In other words, if $m^2 = 2g^2T^2$ takes place, the scalar field can bifurcate into several new scalar fields (Fig. 36).

Similar transitions may be triggered by the generation of particles and waves or by the vortices in the field. Thus, the function $V_{\text{eff}}(\varphi)$ and the assumption (46) may be very important.

There are many versions of $V_{\text{eff}}(\varphi)$ (Fig. 37).

Generally speaking, our scalar potential (Figs. 1 and 2) is a generalisation of Fig. 37.

Generation of nonlinear waves and vortices. The subsequent global evolution of the Universe was probably determined by the initial parameters of the scalar fields and the matter, in particular, by their initial heterogeneity. The dynamic part of the scalar field which was originally approximately uniform, gained some weak heterogeneity during the tunnelling through the potential barrier. Similar heterogeneity could also arise due to quantum effects in the course of the formation of the Universe.

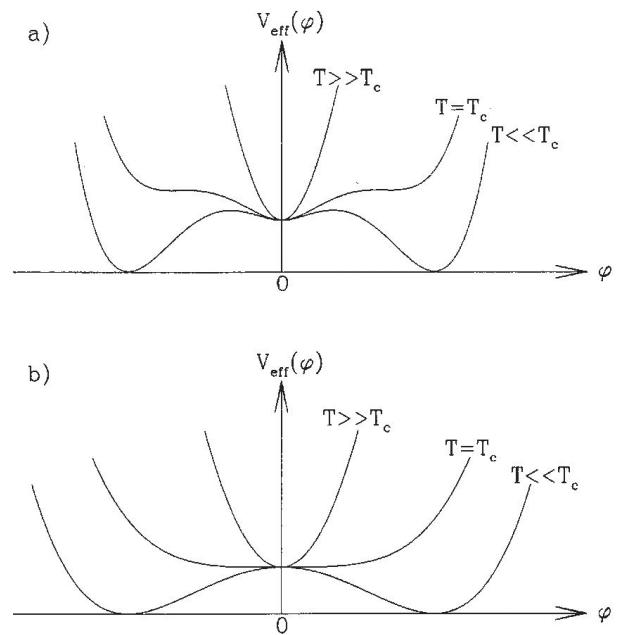


Fig. 37. Various representations of (43). (Mo, Bosch, White, 2011)

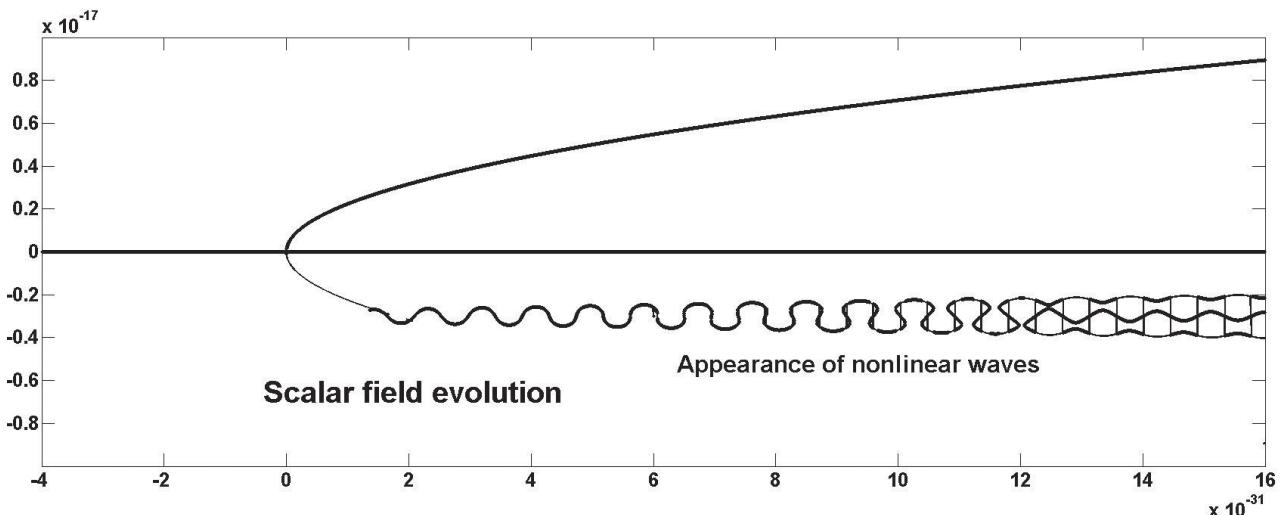


Fig. 38. Scheme of the bifurcations and the birth of strongly nonlinear waves. (Galiev, Galiyev, 2013)

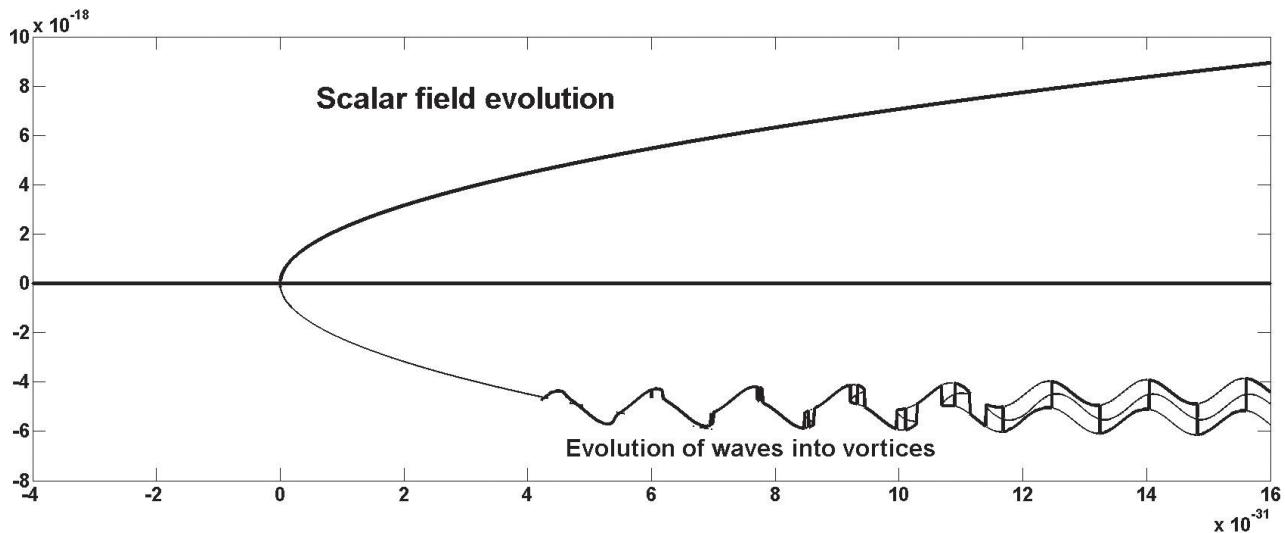


Fig. 39. Scheme of the bifurcations and the birth of vortices during the wave evolution. (Galiev, Galiyev, 2013)

The initial heterogeneities of the energy and the matter could begin to oscillate generating waves. Because of the nonlinearity of the substance these waves would evolve strongly into extraordinary forms. These waves propagated with the speed close to the speed of photons. Therefore there was the resonant condition for a very strong amplification of the waves, their breaking and the formation of vortices. The process would be similar to the transformation of waves into vortices observed in the Karman ‘vortex street’.

The bifurcations could be accompanied by the formation of waves and vortices (Figs. 38 and 39). In particular, the waves and the vortices may appear as a result of the interaction of different scalar fields. Figs. 40 and 41 illustrate these structures generated

because of the resonant interaction of the scalar and the temperature fields.

Perhaps, similar transresonant processes could have formed the seeds of the galaxies and the clusters in the early Universe. Indeed, on March 2014 a curly, vortex-like patterns were observed in CMB by a small but sophisticated telescope at the South Pole.

Are they the ‘footprints’ of the vortices shown in Figs. 38 and 40 which were imprinted on the sky? (Fig. 42). Of course, this is only suggestion. Modelling the birth of the Universe is a bit like playing whack a mole. All time the new results knock out the old theories. Up to this moment we can only compare the theoretical results with experiments (Fig. 43).

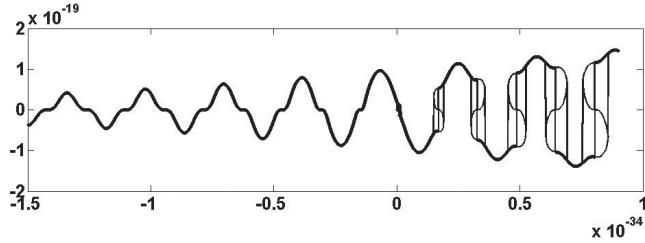


Fig. 40. A process of an appearance of strongly nonlinear waves. (Galiev, Galiyev, 2013)

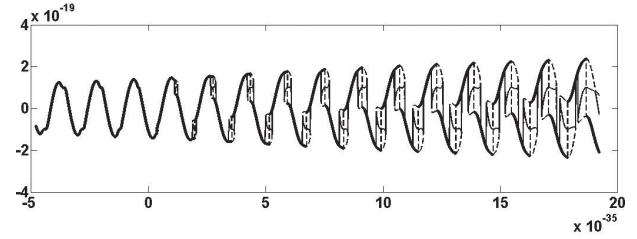


Fig. 41. A process of the evolution of waves into vortices. (Galiev, Galiyev, 2013)

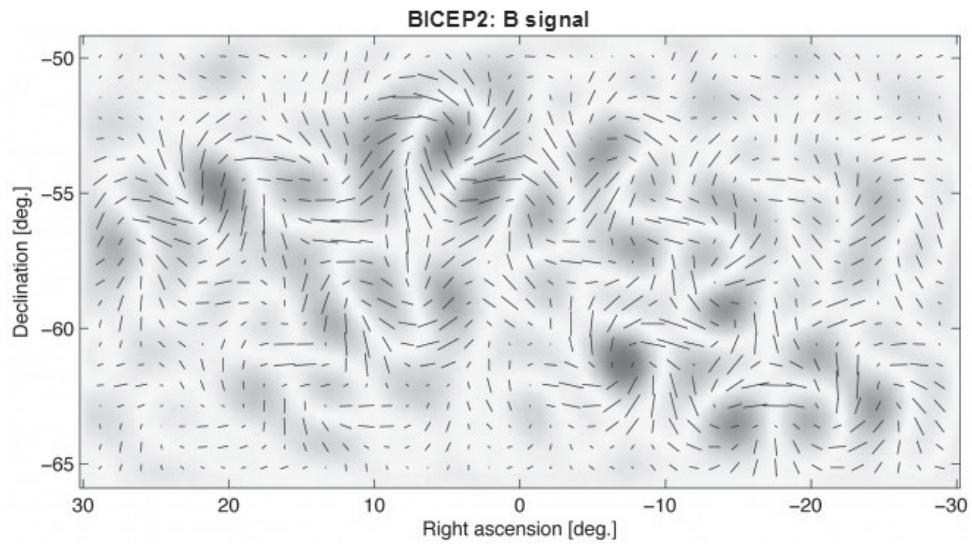


Fig. 42. Pinwheel-like swirls in a map of the Background Imaging of Cosmic Extragalactic Polarization. (Cho, Bhattacharjee, 2014)

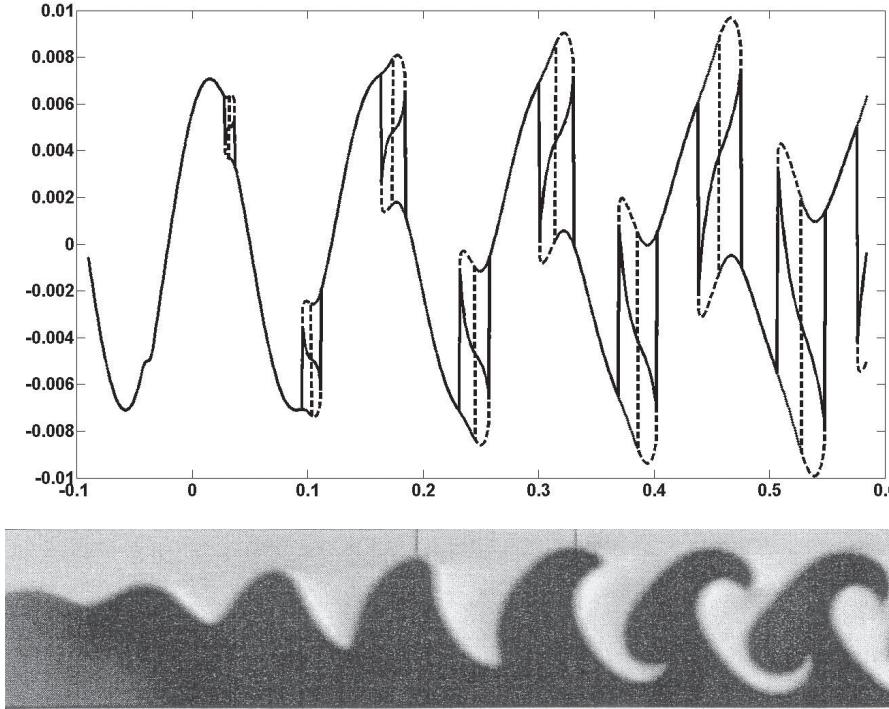


Fig. 43. A process of the evolution of waves into vortices: calculations (top) (Galiev, Galiyev, 2013), observations (down). (Julien et al., 2003)

Conclusion

We considered a version of the nonlinear Klein-Gordon equation and the approximate solutions, which describe the evolution of the Universe as an evolution of the clots (the bubbles) of energy (Fig. 44). Almost all energy of these bubbles is concentrated on their surface. Inside the bubble the energy is almost uniform. However, there are traces of non-uniformity. Such traces could appear in the course of the tunnelling of the energy bubble through the energy barrier (Fig. 16) which resulted from a quantum fluctuation.

During the tunnelling the bubble is being filled by matter. Some spacetime elements begin to interact forming new four-dimensional space-time. As a result our Universe appears. Its size is much greater than the Planck size.

On the whole, the central part of Fig. 44 reminds a Mexican hat-shaped energy landscape (see Fig. 45). The ball sitting on the top of the sombrero looks symmetrical.

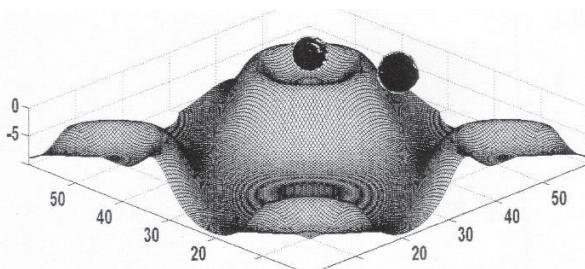


Fig. 44. The energy clot tunnels through the potential wall. As a result the clot of energy rapidly changes. At the same time the new three-dimensional space and the directed arrow of time (the unidirectional time) are being formed

But it is unstable. The slightest nudge and the ball falls to a lower energy state in the ‘valley’ of the hat. Then the ball begins to oscillate between the valley walls – creating the particles. At the same time, our theory is quite different from the scheme of Fig. 45. In particular, the oscillations of the clot energy in the crater of the hill is stable (Figs. 1, 2 and 44). The stability is lost only after the action of quantum perturbations. The tunnelling and the fall can be faster in one direction (Figs. 16 and 44). Thus, they can depend on the direction of the motion. It could explain why the Universe has the ‘axis of evil’ (Fig. 35). The particles appear during the tunnelling and the falling. According to the model, it is possible, that

the Universe have not reached the bottom of the valley. It continues to fall.

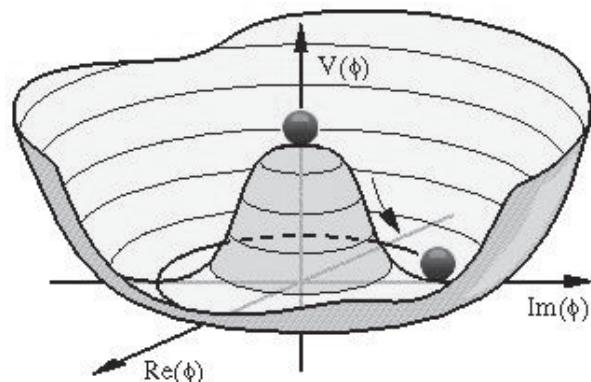


Fig. 45. The rolling ball represents the sliding value of the energy density of the Higgs fields. Internet

The tunnelling process leads to the transformation of the multi-dimensional spacetime into our familiar three-dimension space and time. The moment this process finishes is the moment of birth of our Universe. The Universe is then filled by different kinds of energies and particles. High-energy particles float in four-dimensional spacetime. However, some of these particles can have multidimensional structure hereditary from the multidimensional spacetime.

The production of the particles continues after the birth of the Universe. Inside of the expanding Universe, the heavy highly energetic particles decay into lighter particles and radiation. The Universe size continued to increase. According to the well known terminology the described fast expansion of the Universe may be called the inflation. Although according to our representations the speed of the expansion was much slower than it follows from the known inflation models. According to our model the Universe could form rather large, almost evenly filled by the particles of energy and matter. Therefore the special stage of the superfast expansion is not required for our model (Fig. 46, upper).

The speed at which these particles are produced reduces all the time. It is possible that the particles of matter form in the depths of cosmos even now. Certainly, the volume of their production is not comparable to the volumes in the first moments of the existence of the Universe. This production may support and can even accelerate the continuing expansion of the Universe.

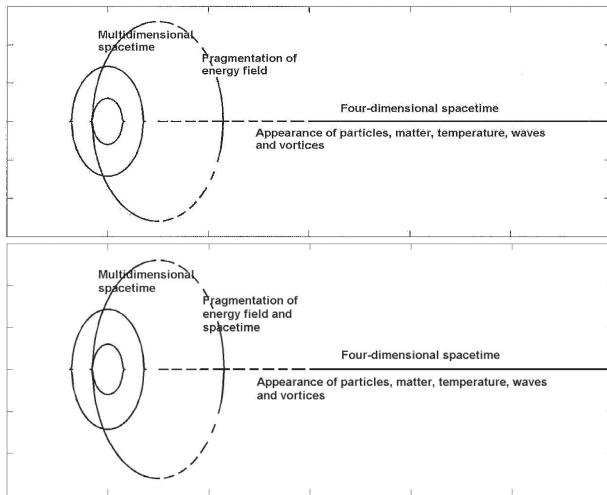


Fig. 46. Schemes demonstrating the appearance of particles, matter waves and vortices. The appearance of the matter forms the four-dimension spacetime. According to the upper scheme tiny particles, pieces of matter and energy can conserve the multidimensional structure. On the contrary, according to the bottom scheme (Galiev, Galiyev, 2013) the structures of tiny particles, pieces of matter and energy evolved into four-dimensional structures during the birth of the Universe

Thus, we explain qualitatively the emergence of the Universe and describe its initial evolution. It is assumed that the tunnelling was a process at which the multidimensional timespace collapsed and the newly formed spacetime elements began to vibrate with resonant frequencies creating energy and matter particles. Then the waves and the vortices were formed (see Figs. 38 and 39).

Our Universe appeared with its four-dimensional spacetime. The Universe size was much greater than the Planck size and it was substantially evenly filled with highly energetic particles of matter.

Resume of the paper.

1. The pra-Universe exists within a multidimensional spacetime. This pra-Universe is described by a scalar field. The field is roiled by the tiny quantum fluctuations;

2. At any moment the pra-Universe gives birth to billions of ‘seeds’ of rapidly evolving Universes, one of which accidentally evolved into our Universe;

3. The Universe sprang into existence due to quantum fluctuations;

4. During the earliest stage of the evolution the multidimensional scalar field was fragmented into vibrating elements having very high energy. The

fragments have conserved the multidimensional structure;

5. Highly nonlinear oscillations of those elements emitted very heavy particles of mass and energy which formed the four-dimensional spacetime;

6. Our Universe appeared with huge energy, mass and the finite size;

7. The spacetime began to stretch very rapidly as more and more particles appeared and the heavy particles began breaking up into lighter particles and the energy continued to transform in mass. It was the Universe’s rapid growth spurt;

8. Waves and vortices began to form in matter.

Remark. The most part of the paper contains the results presented earlier (Galiev, Galiyev 2013). However, the theory was changed slightly. Instead of the conclusion “During the earliest stage of the evolution the multidimensional spacetime was fragmented into vibrating elements having very high energy” (Galiev, Galiyev 2013) in the presented theory we have the conclusion 4.

The results (Galiev, Galiyev 2013) were illustrated additionally by new calculations. At the whole, these results don’t contradict the data of BICEP2 (Cho, Bhattacharjee 2014, see also Fig. 42).

Several physicists are suggesting that the data will change the face of cosmology and particles physics.

Acknowledgment

We thank Professor Mace B. (the University of Auckland). We were discussing with him certain key questions of this research.

References

There are many articles and books which are devoted to subject of this research. Here we will note only a small number of publications, which had the most influence on this research.

Abbott, B.P. et al., 2009. An upper limit on the stochastic gravitational-wave background of cosmological origin. *Nature*, 460, 990–994.

Amin, M.A., 2010. Flat-top oscillons in an expanding universe. *Physical Review D* 81, 085045.

- Amin, M.A., Easter, R., Finkel, H., Flauger, R., Hertzberg, M.P., 2012. Oscillons after inflation. *PRL* 108, 241302.
- Belova, T. I., Kudryavtsev, A.E., 1997. Solitons and their interactions in classical field theory. *Physics-Uspekhi*, 40 (4), 359–386.
- Brandenberger, R., 2012. The matter bounce alternative to inflationary cosmology. arXiv:1206.4196v1 [astro-ph.CO], 19 Jun, 2012.
- Brook, M., 2010. Cosmology Meets Condensed Matter. Thesis of Doctor of Philosophy, The University of Nottingham.
- Dauxois, T., Peyrard, M., 2006. Physics of Solitons, Cambridge University Press.
- Dutton, Z., Budde, M., Slowe, C., Hau, L.V., 2001. Observation of quantum shock waves created with ultra-compressed slow light pulses in a Bose-Einstein condensate. *Science*, 293, 663–668.
- D’Onghia, T., Besla, G., Cox, T.J., Hernquist, L., 2009. Resonant stripping as the origin of dwarf spheroidal galaxies. *Nature*, 460, 605–607.
- Caldwell, R., Kamionkowski, M., 2001. Echoes from the Big Band. *Scientific Am.*, January, 38–43.
- Claudio, A., 2005. Galaxy patterns preserve an imprint of the Big Band. *Science*, 307, 508.
- Cho, A., Bhattacharjee, Y., 2014. First wrinkles in spacetime confirm cosmic inflation. *Science*, 343, 1296–1297.
- Coles, P., Chiang, L.-Y., 2000. Characterizing the nonlinear growing of large-scale structure in the Universe. *Nature*, 406, 376–378.
- Cowen, R., 2010. Ancient dawn’s early light refines age of Universe. *Science News*, February 27, 177 (5), 7.
- Eisenstein, D.J., Bennett, C., 2008. Cosmic sound waves rule. *Physics Today*, April, 44–50.
- Farhi, E., Graham, N., Guth, A.H., Iqbal, N., Rosales, R.R., Stamatopoulos, N., 2008. Emergence of oscillons in an expanding background. *Phys. Rev. D* 77 085019.
- Easter, R., Parry, M., 2000. Gravity, parametric resonance, and chaotic inflation. *Phys. Rev. D* 62, 103503.
- Galiev, Sh. U., Galiev, T. Sh., 1994. Linear and discontinuous forced oscillations of flow of bubbly liquid in a deformable pipe. *Strength Mat.*, N9, 633–654.
- Galiev, Sh. U., Galiev, T. Sh., 1998. Resonant travelling surface waves. *Phys. Lett. A* 246, 299–305.
- Galiev, Sh.U., 1999. Unfamiliar waves excited due to parametric and resonant effects. Proc. Conf. *Unsolved Problems of Noise and Fluctuations* (UPoN ’99), 11–15th July 1999, Adelaide, Australia, 321–326.
- Galiev, Sh.U., 1999. Topographic effect in a Faraday experiment. *J. Phys. A: Math. Gen.* 32, 6963–7000.
- Galiev, Sh.U., 2000. Unfamiliar waves excited due to parametric and resonant effects. In *Unsolved Problems of Noise and Fluctuations*, eds. D. Abbott, B. Kish. American Institute of Physics, 361–367.
- Galiev, Sh.U., Galiyev, T.Sh., 2001. Nonlinear transresonant waves, vortices and patterns: From microresonators to the early Universe. *Chaos*, 11, 686–704.
- Galiev, Sh.U., 2003. The theory of nonlinear transresonant wave phenomena and an examination of Charles Darwin’s earthquake reports, *Geophys. J. Inter.*, 154, 300–354.
- Galiev, Sh.U., 2003. Trans-resonant evolution of wave singularities and vortices, *Phys. Lett. A*, 311, 192–199.
- Galiev, Sh. U., 2011. Charles Darwin’s Geophysical Reports as Models of the Theory of Catastrophic Waves. Centre of Modern Education, Moscow (in Russian).
- Galiev, Sh. U., Galiyev, T.Sh., Scalar field as a model describing the birth of the Universe. InterNet. Galiev – Galiyev 18-12-2013
- Galiev, Sh. U., 2014. Darwin, Geodynamics and Extreme Waves. Springer (accepted for publication).
- Gleiser, M., 1994. Pseudostable bubbles. *Physical Review D*, 49 (6), 2978–2981.
- Gleiser, M., Graham N., Stamatopoulos N., 2011. Generation of coherent structures after cosmic inflation, *Phys. Rev. D* 83, 096010.
- Graham, N., Stamatopoulos, N., 2006. Unnatural oscillons lifetimes in an expanding background. arXiv:hep-th/0604134v2, 11 Jul, 2006.
- Graham, N. N., 2007. An electroweak oscillon. *Phys Rev Lett* 98(10):101801, PMID 17358524.
- Greene, B., 1999. The Elegant Universe, W.W.Norton & Company. New York, London.
- Gubser, S.S., 2010. The Little Book of String Theory. Princeton University Press.
- Guth, A.H., 1981. Inflationary university: A possible solution to the horizon and flatness problems. *Phys. Rev. D* 23(2), 347–356.

- James, A.J., Vukasinovich, B., Smith, M.K., Glezer, A., 2003. Vibration-induced drop atomization and bursting. *J. Fluid Mech.*, 476, 1–28.
- Jiang, L., Perlin, M., Schultz W.W., 1998. Period tripling and energy dissipation of breaking standing waves. *J. Fluid Mech.*, 369, 273–299.
- Julien, S., Lasheras, J., Chomaz, J.-M., 2003. Three-dimensional instability and vorticity patterns in the wake of a flat plate. *J. Fluid Mech.*, 479, 155–189.
- Kalinichenko, V.A., 2009. Nonlinear effects in surface and internal waves Faraday. Doctoral Dissertation. Institute for Problems in Mechanics.
- Kawagishi, T., Mizuguchi, T., Sano, M., 1995. Points, walls, and loops in resonantly oscillatory media. *Phys. Rev. Lett.*, 75, 3768–3771.
- Kuetche, V.K., Bouetou, T.B., Kofane, T.C., 2008. On exact N -loop soliton solution to nonlinear coupled dispersionless evolution equation. *Phys. Lett. A*, 372, 665–669.
- Liddle, A. R., Cortes, M., 2013. Cosmic microwave background anomalies in an open universe. *PRL* 111, 111302.
- Linde, A., 1982. A new inflationary universe scenario: a possible solution of the horizontal, flatness, homogeneity, isotropy and primordial monopole problems. *Phys. Letters.* 108B (6), 389–393.
- Linde, A., 2005. Particle Physics and Inflationary Cosmology. arXiv:hep-th/0503203vl.
- Liu, C., 2005. Ripples in the cosmic pond. *Natural History*, April, 62–63.
- Lyth, D.Y., Liddle, A.R., 2009. The Primordial Density Perturbation. Cambridge University Press.
- Magueijo, J. 2003. Faster Than the Speed of Light: The story of a scientific speculation. Cambridge, Massachusetts: Perseus Publishing.
- Martin, A., Parker, N., Gardiner, S., Adams, C. Solitons and vortices in atomic BECs. Durham University.
- Marts, B., Hagberg, A., Meron, E., Lin, A.L., 2004. Bloch-front turbulence in a periodically forced Belousov-Zhabotinsky reaction. *Phys Rev Lett.*, 93 (10), 108305.
- Miller, C.J., Nichol, R.C., Butuski, D.J., 2001. Acoustic oscillations in the early Universe and today. *Science*, 292, 2302–2303.
- Mo, H., Bosch, Frank van den, White, S., 2011. Galaxy Formation and Evolution, Cambridge University Press.
- Ostrovsky, L.A., Potapov, A.I., 1999. Modulated Waves. Theory and Applications. The Johns Hopkins Univ. Press, Baltimore and London.
- Parkes, E.J., 2008. Some periodic and solitary travelling-wave solutions of the short-pulse equation. *Chaos, Solitons and Fractals*, 38, 154–159.
- Parkes, E.J., 2010. A note on loop-soliton solutions of the short-pulse equation. *Phys. Lett. A*, 374, 4321–4323.
- Peebles, P.J.E., 1970. Nonlinear limit on primeval adiabatic perturbations. *Phys. Rev. D1*, 397–399.
- Penrose, R., 2010. Cycles of Time: An Extraordinary New View of the Universe. Bodley Head.
- Perring, J. K. and Skyrme, T. H. R. A Model Unified Field Equation. *Nucl. Phys.* 31, 550–555, 1962.
- Rotating condensates and quantum vortices. Experiments with ^{87}Rb . http://www.lkb.ens.fr/recherche/atfroids/anglais/vortex_an.html.
- Shandarin, S.F., Zeldovich, Ya.B., 1989. The large-scale structure of the universe: Turbulence, intermittency, structures in a self-gravitating medium. *Rev. Modern Physics.*, 61 (2), 185–220.
- Seife, C., 2001. Echoes of the Big Bang put theories in tune. *Science*, 292, 823.
- Serjeant, S., 2010. Observational Cosmology. Cambridge University Press. Cambridge, New York.
- Smolin, L., 2010. Space-time torn around. *Nature*, 476, 1034–1035.
- Stock, S., Bretin, V., Chevy, F., Dalibard, J., 2004. Shape oscillation of a rotating Bose-Einstein condensate *Europhys. Lett.* 65, 594–600.
- Sunyaev, R. A., Zel'dovich, Ya. B, 1970. Small-scale fluctuations of relic radiation. *Astrophysics and Space Science* 7 (1), 3–19.
- Vachaspati, T., 2006. Kinks and domain walls. Cambridge University Press. Vilenkin, A., Shellard, E.P.S., 1994. Cosmic Strings and Other Topological Defects. Cambridge University Press.
- Vilenkin, A., 2006. Many Worlds in One. Hill and Wang, New York.
- Wright, E.L., 2007. Acoustic waves in the early Universe. *J. Phys.: Confer. Ser.*, 118, 012007.
- Umbanhowar, P.B., Melo, F. & Swinney, H.L., 1996. Localized excitations in a vertically vibrated granular layer. *Nature*, 382, 793–796.
- Yu, Y., 2011. Vortex dynamics for nonlinear Klein-Gordon equation. *J.Differential Equations*, 251, 970–994.

УДК 621.315.2

*К 80-летию члена-корреспондента РАН М.А. Ильгамова***МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП****© Р.Ш. Гимадиев, Т.З. Гимадиева, Ф.Ф. Динмухаметов**

Анализируются подходы к расчету напряженно-деформированного состояния воздушных линий электропередач (ЛЭП). Составлены уравнения движения деформируемой ЛЭП в пространственной постановке. Проводится численное моделирование динамики нагружения линий электропередач под воздействием ветровой и весовой нагрузок. Для проверки точности численного алгоритма решаются задачи деформирования ЛЭП отдельно от ветровой и весовой нагрузок, для которых предложены также аналитические решения. Сравнительные расчеты показывают хорошую сходимость. Численно решается задача обрыва провода и движение отдельных частей после обрыва. Приводятся результаты разработки численного алгоритма решения задачи деформирования теплоизолированного провода при нагреве отдельного участка. Оцениваются аппроксимации граничных условий. Решаются совместно уравнения движения ЛЭП и уравнения теплопроводности для задачи растапливания обледенения. Делается вывод о необходимости дальнейшего развития методов, основанных на численном моделировании уравнений движения абсолютно гибкой системы при взаимодействии с потоком, в том числе в теплопроводной среде обледенения.

Ключевые слова: линии электропередач, математическое моделирование, уравнения движения проводов, разрыв провода, уравнения теплопроводности, численные решения, деформации в теплопроводной ЛЭП, обледенение.

В связи с относительной дешевизной воздушных линий электропередач по сравнению с кабельными, воздушные ЛЭП находят широкое применение. Провода являются одной из основных составляющих ЛЭП. Провода воздушных ЛЭП подвергаются значительным механическим нагрузкам. Они постоянно нагружены собственным весом. Среди причин дополнительных механических нагрузок можно выделить действие ветровых нагрузок и гололедно-изморозевые отложения. Эти причины увеличивают статические нагрузки на провода, а также могут обуславливать такие опасные формы динамических колебательных процессов, как вибрация и пляска проводов. Пляска проводов обычно вызывается сочетанием вет-

ровых нагрузок с гололедно-изморозевыми отложениями.

Механические нагрузки могут вызывать повреждения линий электропередач, что уменьшает надежность электроснабжения и требует затрат на восстановление ЛЭП.

Для повышения надежности воздушных ЛЭП используются типовые технические решения [1], а также предлагаются новые технические решения для изучения явления гололеда и пляски проводов и борьбы с ними, например, [2–6]. К настоящему времени предложено весьма значительное количество технических способов борьбы с этими нежелательными явлениями, каждый из которых имеет свою область применения. Проблема изучения механических повреждений прово-

ГИМАДИЕВ Равиль Шамсутдинович – д.т.н., Казанский государственный энергетический университет, e-mail: gimadievr@mail.ru

ГИМАДИЕВА Тамара Зиевна – к.т.н., Казанский государственный энергетический университет, e-mail: gimadievat@mail.ru

ДИНМУХАМЕТОВ Фаниль Фаритович, ООО «ТАТКАБЕЛЬ», e-mail: Fantos2004@yandex.ru

дов ЛЭП как с применением экспериментальных, так и теоретических подходов, и нахождения методов повышения надежности является весьма актуальной.

Теоретическому изучению механических нагрузок на воздушные ЛЭП посвящен ряд работ, использующих различные подходы к моделированию формы и натяжений в проводах.

Провода ЛЭП представляют собой деформируемое тело, диаметр которого можно считать пренебрежимо малым по сравнению с его длиной. Провод под действием нагрузок принимает форму гладкой кривой. Исходя из этого, строятся математические модели проводов ЛЭП. Как правило, провод ЛЭП моделируется абсолютно гибкой линейной связью. При этом используемые подходы к расчету напряженно-деформированного состояния проводов ЛЭП можно условно разбить на две группы: 1) на основе аналитических формул как без учета растяжимости, так и с учетом растяжимости проводов; 2) базирующиеся на численном интегрировании уравнений движения.

К первой группе относятся традиционные подходы, которые основаны на аналитических формулах, полученных в предположении статического нагружения. Нагрузка, обусловленная собственным весом провода, считается равномерно распределенной. Один из подходов [7] основан на том, что провод считается нерастяжимым и имеющим форму параболы (при длине пролета до 800 м) или форму цепной линии (при длине пролета более 800 м). Стандарт [8] содержит требование, чтобы кривая провисания проводов ЛЭП моделировалась цепной линией. В статье [9] форма провода моделируется цепной линией или параболой в зависимости от величины пролета и разности отметок подвеса провода.

В работе [10] получены формулы для расчета статического нагружения нити с учетом ее растяжения.

Преимуществом подходов, основанных на аналитических формулах, является простота и небольшая трудоемкость их использова-

ния. Однако они не позволяют исследовать динамику нагружения проводов ЛЭП.

Вторая группа подходов к расчету механического нагружения ЛЭП позволяет исследовать динамику нагружения ЛЭП. Эти подходы основаны на математическом моделировании движения проводов ЛЭП под действием нагрузок с использованием уравнений движения абсолютно гибкой линейной системы [10–13]. Уравнения движения представляют собой нелинейные уравнения в частных производных, которые дополняются начальными и граничными условиями, а также моделью нагружения, при этом нагружение может зависеть от времени. Этот подход является существенно более трудоемким, чем первый подход. Он включает разработку математической модели, ее программирование, тестирование программы, проведение численных экспериментов. В работе [11] используются уравнения без учета растяжимости проводов, в работах [10; 12–13] в математической модели учитывается их растяжимость.

В работах [10; 12–13] численно моделируется движение проводов ЛЭП на основе уравнений движения растяжимой абсолютно гибкой линейной системы в пространственной постановке при совместном воздействии ветровой и весовой нагрузок.

Работоспособность численного алгоритма проверяется сравнением с аналитическими решениями, полученными в работах [10; 14]: деформированием линии ЛЭП при действии весовой и ветровой нагрузок по отдельности с учетом удлинения при растяжении.

На основе этого подхода в работе [12] численно моделируется движение ЛЭП после разрыва.

В работе [13] составлена и численно реализована математическая модель деформирования ЛЭП с учетом теплопроводности. Приводятся результаты численного моделирования теплопроводности деформируемой линии электропередачи с учетом весовой распределенной нагрузки с учетом собственного веса и веса обледенения и температурного удлинения.

Приведем некоторые результаты моделирования динамики нагружения линий передачи энергий.

Алгоритм решения задачи пространственного движения ЛЭП. Гибкая система ЛЭП находится под действиями ветровой нагрузки и собственного веса. ЛЭП моделируется абсолютно гибкой системой, которая не воспринимает изгибных напряжений, но работает на растяжение и сжатие. Движение ЛЭП с линейной плотностью $\rho_0(s)$ рассматривается в декартовой системе координат $Ox_1x_2x_3$. Опоры ЛЭП расположены в вертикальной плоскости Ox_2x_3 . Решением системы уравнений определяется равновесное состояние линий электропередач под воздействием весовой и ветровой нагрузок, а также моделируется динамика нагружения ЛЭП.

Деформация гибкой системы характеризуется степенью удлинения $\lambda = 1 + e$, где e – относительное удлинение.

Уравнения движения ЛЭП в проекциях на оси декартовой системы координат $Ox_1x_2x_3$ имеют вид [12]

$$\rho_0 \frac{\partial v_1}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{T}{\lambda} \frac{\partial x_1}{\partial s} \right) + F_\tau \frac{\partial x_1}{\partial s} + F_n \lambda \sin \varphi \sin \alpha_1,$$

$$\begin{aligned} \rho_0 \frac{\partial v_2}{\partial t} = & \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{T}{\lambda} \frac{\partial x_2}{\partial s} \right) + F_\tau \frac{\partial x_2}{\partial s} - \\ & - F_n \lambda \cos \varphi \cos \alpha_1, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \rho_0 \frac{\partial v_3}{\partial t} = & \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{T}{\lambda} \frac{\partial x_3}{\partial s} \right) + F_\tau \frac{\partial x_3}{\partial s} + \\ & + F_n \lambda \cos \varphi \sin \gamma - \rho_0 g, \end{aligned}$$

где v_1, v_2, v_3 – проекции скорости элементов на координатные оси, T – натяжение,

$$\cos \alpha_1 = \frac{\cos \alpha}{\sqrt{\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta}},$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{\cos \beta}{\sqrt{\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta}},$$

$$\cos \alpha = \frac{1}{\lambda} \frac{\partial x_1}{\partial s}, \quad \cos \beta = \frac{1}{\lambda} \frac{\partial x_2}{\partial s},$$

$$\cos \gamma = \frac{1}{\lambda} \frac{\partial x_3}{\partial s}, \quad \sin \gamma = \sqrt{1 - \cos^2 \gamma}.$$

Уравнения движения дополняются физическими соотношениями $T = T(e)$, $e \geq 0$ при растяжении и $e < 0$ при сжатии (в частности, при линейном законе $T = Ee$), кинематическими соотношениями

$$\frac{\partial x_k}{\partial \tau} = v_k \quad (2)$$

и геометрическим соотношением

$$(\partial x_1 / \partial s)^2 + (\partial x_2 / \partial s)^2 = \lambda^2, \quad \lambda = 1 + e. \quad (3)$$

Начальные и граничные условия для провода записываются в виде

$$\begin{aligned} x_k(0, s) &= f_k(s), \quad v_k(0, s) = \varphi_k(s), \\ x_k(\tau, 0) &= f_k^\circ(\tau), \quad v_k(\tau, 0) = \varphi_k^0(\tau), \\ x_k(\tau, s_l) &= f_k^s(\tau), \quad v_k(\tau, s_l) = \varphi_k^s(\tau), \quad k = 1, 2, 3. \end{aligned} \quad (4)$$

Система уравнений (1)–(3) решается методом конечных разностей.

Разрыв линии ЛЭП происходит, когда натяжение в элементе i в некоторый момент времени τ_n превышает натяжение разрыва в материале $T_i^n \geq T_{\text{раз}}$, тогда натяжение между этими узлами мгновенно принимает нулевое значение $T(i_l) = 0$. Пусть разрыв линии произошел в элементе между узлами i_l и $i_r = i_l + 1$. При численной реализации добавляется расширенная сетка для левого пролета i_{l+1} и для правого пролета i_{r-1} соответственно, определяются скорости на расширенной сетке

$$v_{k, i_{l+1}}^{n+1/2} = v_{k, i_l}^{n+1/2}, \quad v_{k, i_{r-1}}^{n+1/2} = v_{k, i_r}^{n+1/2}. \quad (5)$$

Условия (5) позволяют получить гладкие решения для вторых производных в численном алгоритме.

В работе [10] рассматриваются по отдельности деформации ЛЭП под действием ветровой нагрузки и действием силы веса.

Для деформированного состояния линии с двумя закрепленными концами под действием равномерно распределенной нагрузки p получены следующие приближенные формулы [14]:

$$\varphi = \left(\frac{3pa}{E} \right)^{1/3} \left[1 + \frac{1}{60} \left(\frac{3pa}{E} \right)^{2/3} \right], \quad r = \frac{a}{2 \sin \varphi},$$

$$T = pr, f_{\max} = r \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{a}{2r} \right)^2} \right], \quad (6)$$

где a – длина пролета; 2φ – центральный угол дуги окружности; r – радиус окружности; T – натяжение; f_{\max} – максимальный прогиб.

Погрешность приближенного решения не превышает величины $\delta = 0,004 \cdot 10^{-2} \%$.

Формулы (6) использовались для тестовой отработки алгоритма и программы моделирования деформирования проводов ЛЭП под действием ветровой нагрузки [10]. Результаты вычислительного эксперимента совпадают с решением по формулам (6), при этом относительная погрешность составляет менее $\theta = 0,007 \%$.

На рис. 1 показаны формы ЛЭП под действием ветра в равновесном состоянии и при максимальной деформации в динамике [10].

Задача статического равновесного состояния деформированной линии провода решается в [10], получено аналитическое решение. Уравнение деформированной цепной линии с учетом растяжимости имеет вид:

$$y = \frac{(1+\varepsilon)}{E\varepsilon} \frac{\rho_0 g}{2} (x^2 - ax). \quad (7)$$

Максимальный прогиб в середине пролета составляет:

$$y_{\max} = -\frac{a^2(1+\varepsilon)}{8E\varepsilon} \rho_0 g, \quad (8)$$

где относительное удлинение определяется выражением

$$\varepsilon = \sqrt[3]{\frac{\gamma}{2} + \left[\left(\frac{\gamma}{2} \right)^2 - \left(\frac{\gamma}{3} \right)^3 \right]^{\frac{1}{2}}} + \sqrt[3]{\frac{\gamma}{2} - \left[\left(\frac{\gamma}{2} \right)^2 - \left(\frac{\gamma}{3} \right)^3 \right]^{\frac{1}{2}}}, \quad (9)$$

здесь параметр нагружения

$$\gamma = (\rho_0 g)^2 a^2 / (24 E^2).$$

Формула (8) позволяет вычислить максимальный прогиб в середине пролета при условии, что деформации подчиняются линейному закону. Формула (7) позволяет определить деформированную равновесную форму ЛЭП. Это решение в работе [10] использовалось для тестирования программы моделирования движения проводов ЛЭП на основе уравнений (1)–(3). Относительная погрешность по сравнению с точным решением по формуле (8) составила 0,12%.

В статье [10] моделируется движение провода ЛЭП в пространственной постановке до установившегося состояния под воздействием совместной ветровой и весовой нагрузок. Результаты представлены на рис. 3 и 4.

В статье [10] моделируется движение проводов ЛЭП из равновесного состояния после разрыва в середине пролета. В алгорит-

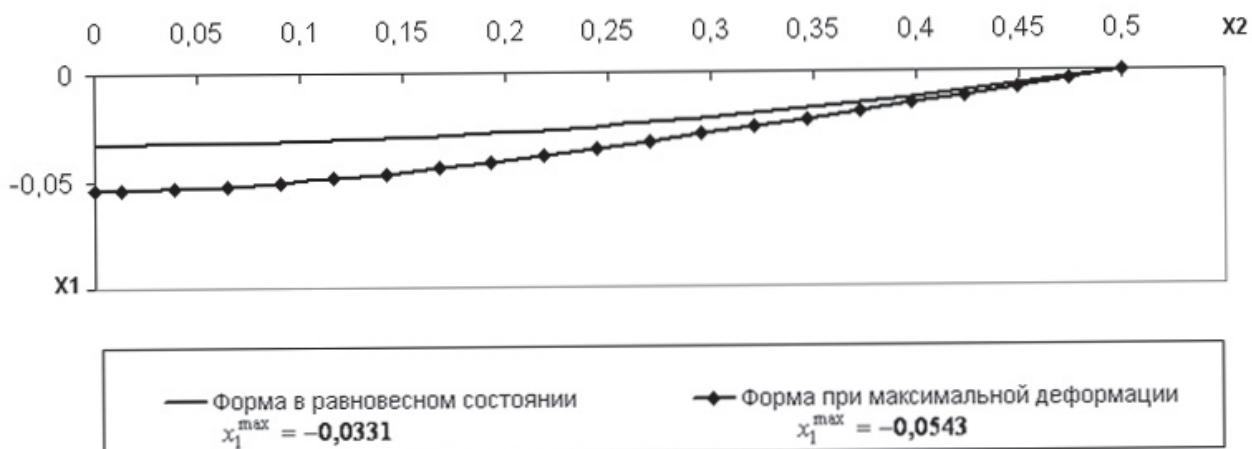


Рис. 1. Формы невесомой ЛЭП под действием ветра в горизонтальной плоскости

ме расчета движения ЛЭП после разрыва используются следующие допущения: а) обрыв

проводка происходит при установившемся режиме воздействия ветровой и весовой нагруз-

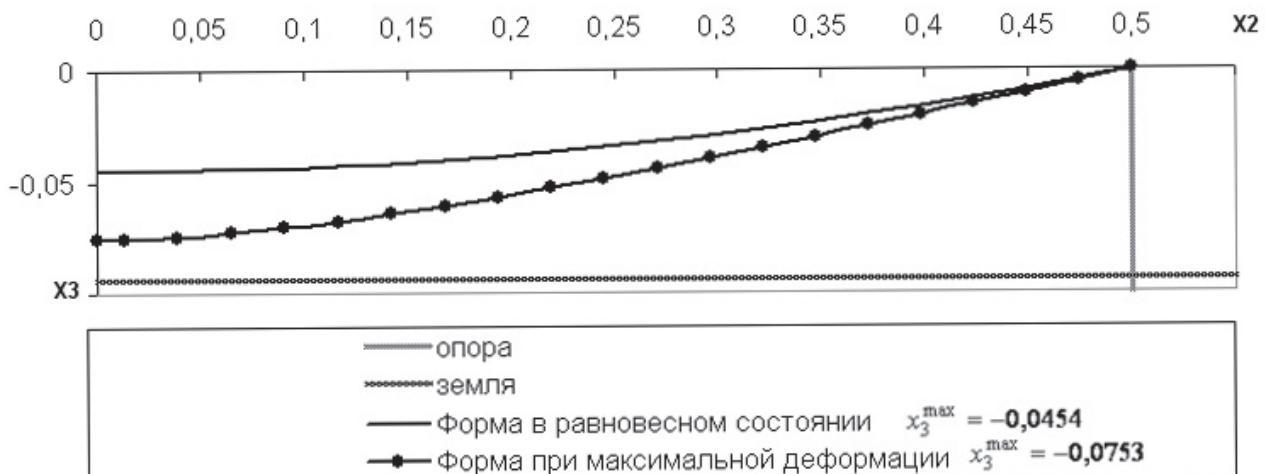


Рис. 2. Формы ЛЭП под действием веса в вертикальной плоскости

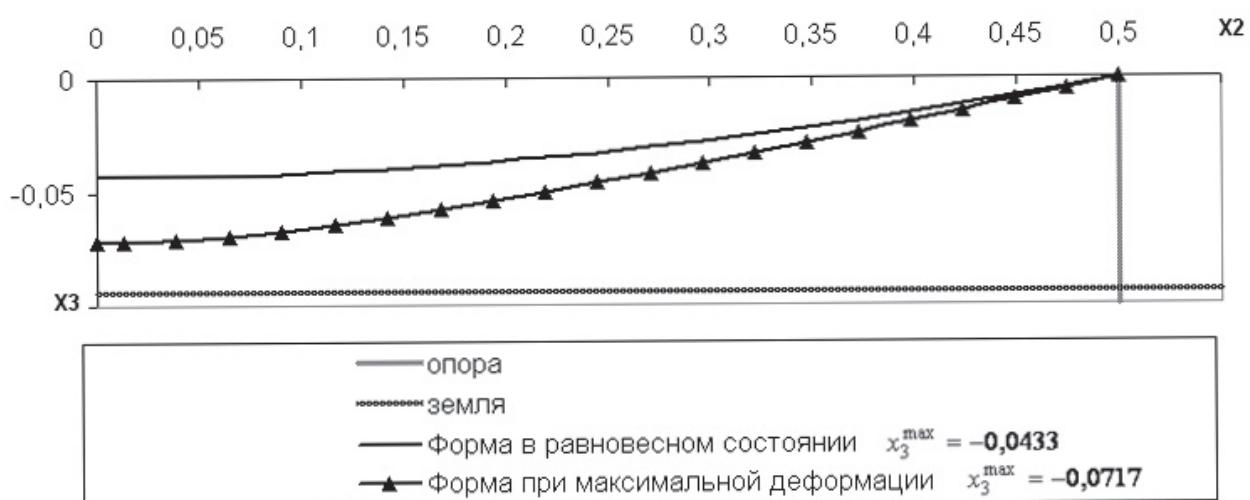


Рис. 3. Формы ЛЭП под действием веса и ветра в проекции на вертикальную плоскость

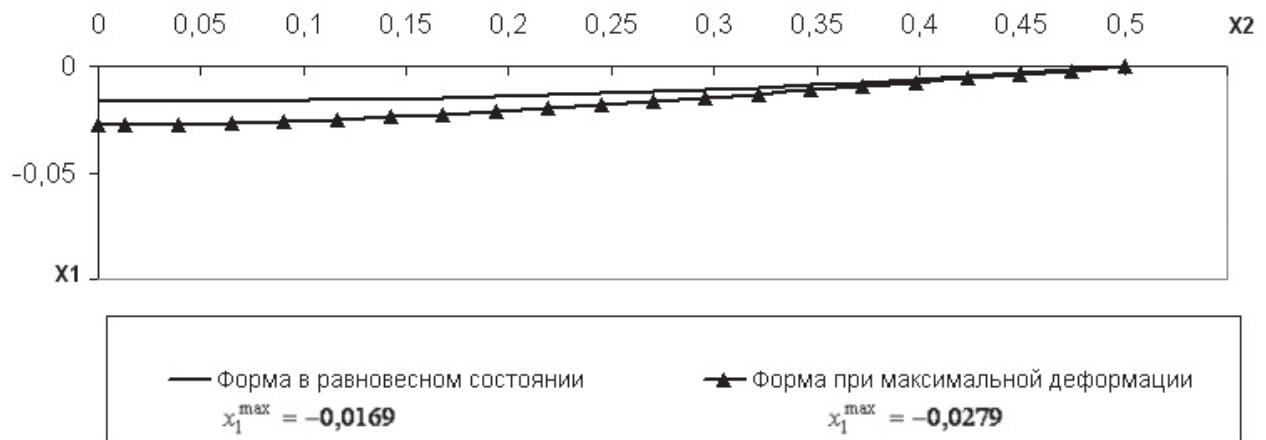


Рис. 4. Формы ЛЭП под действием ветра и веса в проекции на горизонтальную плоскость

зок; б) в момент падения на землю воздействие ветровой нагрузки на провод прекращается; в) при падении на землю происходит частично упругий удар, и в расчетах принято, что кинетическая энергия отскока составляет 36% от энергии вертикального удара. На рис. 5 и 6 приводятся результаты расчета движения после разрыва провода посередине пролета.

Во многих регионах нашей страны в осенне-зимне-весенний период создаются благоприятные условия для образования гололедных отложений на линиях электропередачи. Для борьбы с этим опасным явлением разрабатываются и используются различные технологии, в том числе основанные на нагревании проводов с целью плавки гололеда.

Представляет теоретический и практический интерес моделирование процесса распространения тепла в деформируемых средах.

В статье [13] совместно решаются уравнения упругости и теплопроводности весомой линии провода. Проведены тестовые расчеты теплопроводности и линейного теплового расширения, результаты тестовых расчетов сравниваются с точными решениями. Проведено численное моделирование провиса линии электропередачи с учетом веса провода, веса обледенения и температурного удлинения. Исходное состояние провода берется в виде прямой линии между опорами, напряжение в проводе при этом равно нулю. В соответствии с решением дифференциальных уравнений движения системы через форму максимального нагружения и провиса переходит в равновесное состояние. При образовании гололеда масса провода увеличивается, и система переходит в новое равновесное деформированное состояние. При включении нагрева провод еще больше провисает за счет температурного удлинения. После

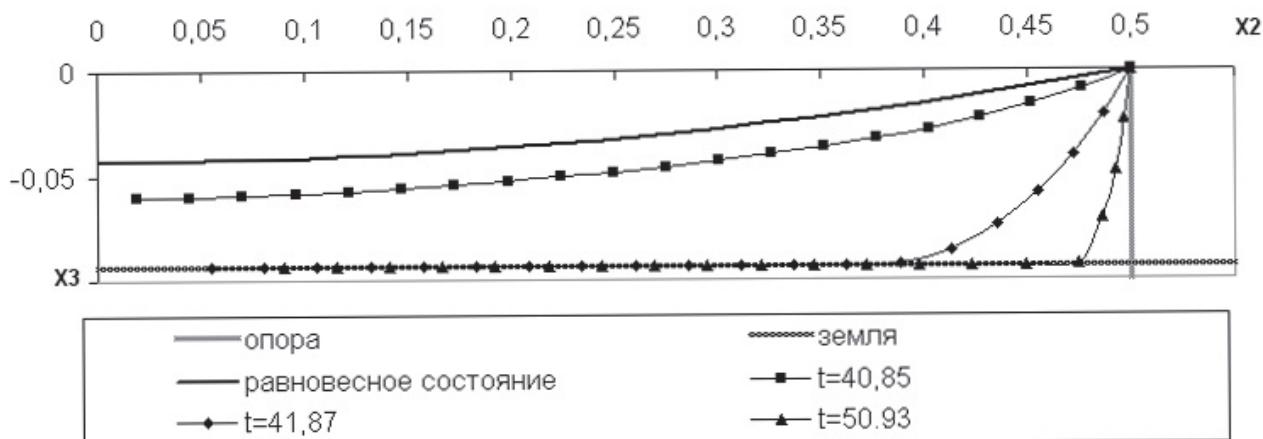


Рис. 5. Изменение формы ЛЭП после разрыва посередине пролета в проекции на вертикальную плоскость

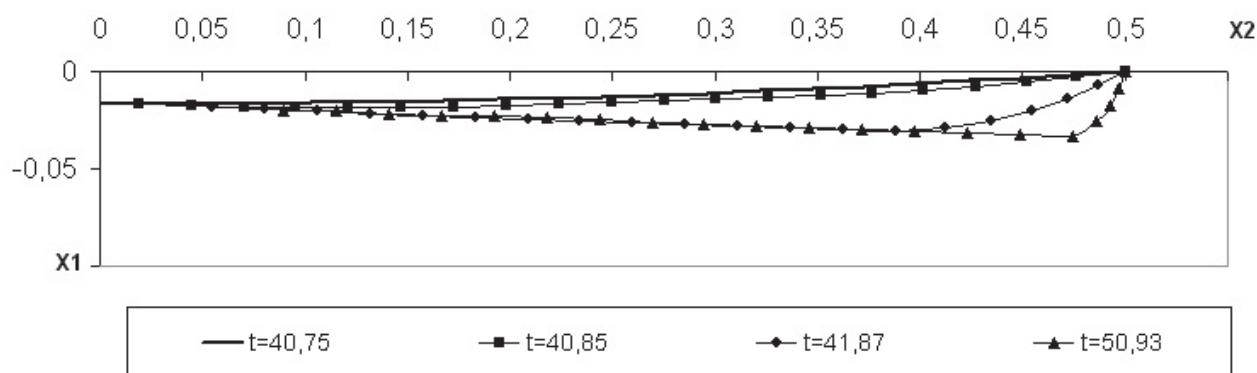


Рис. 6. Изменение формы ЛЭП после разрыва посередине пролета в проекции на горизонтальную плоскость

прогрева обледенение сбрасывается, температура по линейному закону спадает до температуры окружающей среды, и форма провода переходит снова в равновесное состояние, которое соответствует нагружению только весом самого провода.

Математическая модель основана на совместном решении уравнений теплопроводности и упругости.

Уравнение теплопроводности для линейного элемента имеет вид

$$c\rho \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial s} \left(k \frac{\partial u}{\partial s} \right) + f_0(s, t), \quad (10)$$

где ρ – плотность материала, $\text{кг}/\text{м}^3$, c – теплопроводность единицы массы, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$, k – коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$, f_0 – плотность тепловых источников, $\text{Вт}/\text{м}^3$, u – температура, K , t – время, с , s – лагранжева координата, м .

Для выбора вида аппроксимации граничных условий были проведены тестовые рас-

четы перераспределения температуры по длине провода, две половины которого в начальный момент имеют разные температуры. Расчеты проводились численным решением уравнений теплопроводности. Для выбора аппроксимации граничных условий проводится два вида расчетов: 1) аппроксимация граничных условий квадратичным полиномом Лагранжа; 2) линейная аппроксимация граничных условий. Вариант 2 дает наилучшую сходимость с теоретическим значением, поэтому в дальнейших расчетах граничные условия аппроксимировались по линейному закону.

В работе [13] моделируются переходные процессы и провис линии ЛЭП с учетом веса провода, веса обледенения и температурного удлинения.

Начальное состояние провода в расчетах принимается в виде прямой линии. Для примера плотность обледенения равна плотности самого провода $\rho_{об} = \rho_{пр}$.

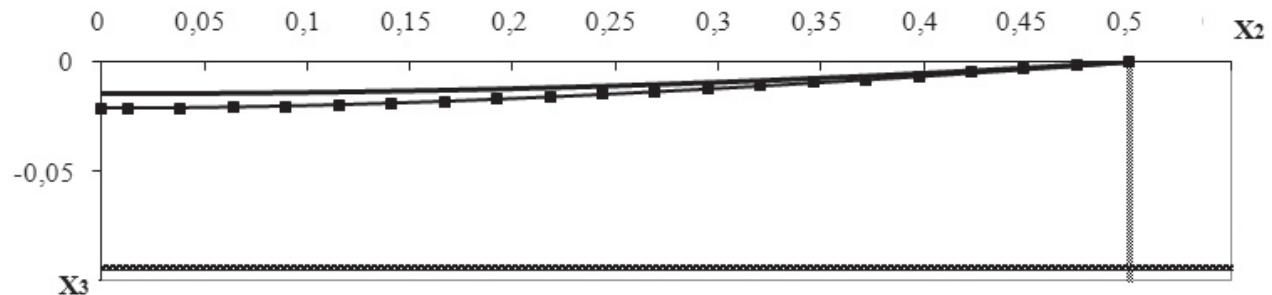


Рис. 7. Форма проводов ЛЭП:
 ■ – форма провода без учета обледенения в момент действия максимального динамического нагружения ($t = 2,7 \text{ с}$);
 — – равновесная форма под действием веса провода

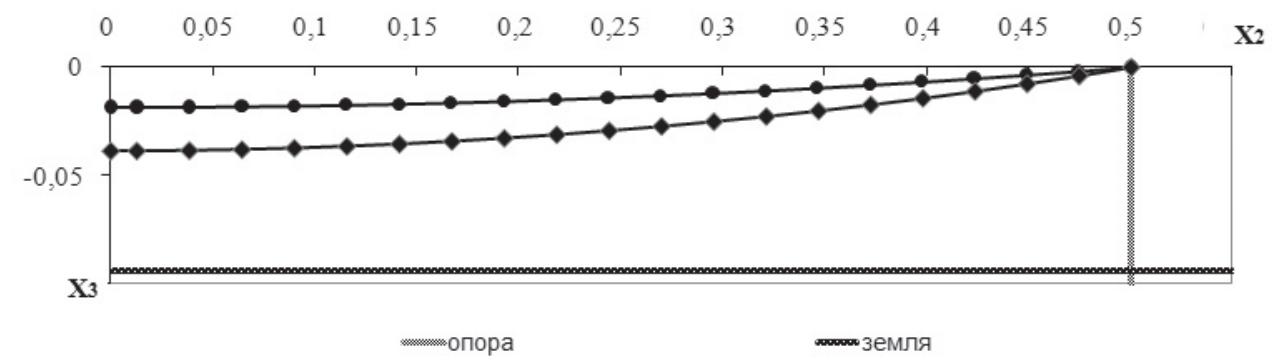


Рис. 8. Форма проводов ЛЭП с учетом:
 ● – веса провода с обледенением до начала нагрева ($t = 51 \text{ с}$)
 ■ – веса провода с обледенением в конце нагрева провода ($t = 56 \text{ с}$)

На рис. 7 и 8 приводятся результаты численного моделирования. Провод под действием только собственного веса движется до максимального прогиба $f_{\max} = 3,4$ м, при этом натяжение составляет 12 кН, затем в результате переходного процесса по истечении времени около 30 с самоустанавливается до формы равновесного состояния с прогибом $f_{\max} = 2,3$ м, рис. 7.

На эту форму равновесного состояния накладывается равномерная по длине масса обледенения. Система снова выходит на равновесное состояние с массой провода и обледенения, это состояние в момент времени $t = 51$ с приводится на рис. 8. При этом максимальный прогиб составляет $f_{\max} = 2,95$ м и натяжение $T = 9,8$ кН. Считается, что в момент времени $t = 51$ с 1/10 часть пролета мгновенно нагрета до температуры 150°C , и эта температура держится неизменной на этой части и нагревает остальную часть пролета за счет теплопроводности в течение 5 с. В течение этого времени эта температура успевает распространиться и выровняться до 150°C по всей длине. При этом происходит удлинение за счет теплового расширения (рис. 8). В конце нагрева максимальный прогиб достигает величины 6,2 м, и натяжение в проводе составляет величину 38 кН.

После этого масса обледенения считается сброшенной мгновенно и считается, что в течение 1 с температура выравнивается (по линейному закону) с температурой окружающей среды, равной минус 5°C . Расчитывается дальнейшее движение, система переходит в новое равновесное состояние с максимальным прогибом 2,3 м и натяжением в проводе 6,2 кН (это равновесное состояние приведено на рис. 7 сплошной линией).

Поскольку изменение температуры по времени связано со скоростью изменения температуры, а изменение движения элементов провода связано с ускорением, то в конце нагрева провода температура по длине провода распределяется почти равномерно, а упругие деформации по длине имеют неуставновившийся характер (температурные натяже-

ния раскачивают упругую часть задачи, связанную с весовой нагрузкой самого провода), упругие натяжения только со временем выравниваются. Поэтому в конце нагрева более точно можно оценить только температурное натяжение.

Выводы. Подходы, основанные на численном решении уравнений движения, являются наиболее общими, они не ограничиваются каким-то классом кривых, моделирующих провод. Позволяют моделировать динамические процессы в проводах, в том числе – учесть движение провода после разрыва, обледенение, температурные напряжения.

Ограничением этого подхода является предположение о неподвижности опор, к которым крепятся тросы, что справедливо не для всех случаев деформирования. Второе существенное ограничение применения этого подхода: исследователь должен владеть методами численного интегрирования дифференциальных уравнений. Этот подход является весьма трудоемким, требующим высокой квалификации исследователя.

Для исследований напряженно-деформированного состояния проводов ЛЭП и режимов их нагружения наряду с экспериментальными методами требуют своего развития подходы, основанные на численном решении уравнений движения абсолютно гибкой нити с учетом ее растяжимости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические указания по типовой защите от вибрации и субколебаний проводов и грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи напряжением 35–750 кВ. РД 34.20.189-90. СПО ОРГРЭС. М.: 1991.
2. Локационная диагностика воздушных линий электропередачи / Р.Г. Минуллин, И.Ш. Фардиев. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2008. 203 с.
3. Минуллин Р.Г. Обнаружение гололеда и повреждений на воздушных линиях электропередачи локационным методом // Энергетика Татарстана. 2011. № 2. С. 15–17.

4. Угаров Г.Г., Колесников А.А., Башкевич В.Я. Синтез системы управления плавкой отложений на воздушных линиях электропередач, оборудованных информационно-измерительной системой // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2008. Т. 3, № 1. С. 120–128.
5. Шевченко Е.В., Удод Т.Е. Разработка методов борьбы с пляской проводов ВЛ для Украины // Металлические конструкции. 2006. Т. 12, № 4. С. 239–247.
6. Стенд для изучения процессов обледенения и растаивания проводов электрических цепей / Маркин Ю.С., Гимадиев Р.Ш., Галимуллин Н.Р., Динмухамедов Ф.Ф., Маркин О.Ю., Петрушенко Ю.Я.: пат. на полезную модель RUS 88841 31.07.2009.
7. Специальные вопросы проектирования электроэнергетических систем и сетей: учебное пособие / Н.Л. Бацева. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. 254 с.
8. СТАНДАРТ проектирования воздушных линий электропередач 110 кВ и выше с применением системы автоматизированного проектирования (САПР) ОАО «Янтарьэнерго». Калининград, 2012.
9. Шевченко Е.В., Митраков В.А., Танасогло А.В. Определение редуцированного тяжения при обрыве провода // Металлические конструкции. 2010. Т. 16, № 3. С. 189–198.
10. Гимадиев Р.Ш., Динмухаметов Ф.Ф., Галимуллин Н.Р. Расчет пространственной динамики ЛЭП при совместном воздействии ветровой и весовой нагрузки // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2010. № 3–4. С. 28–37.
11. Соколов А.И. Нелинейные колебания абсолютно гибкого провода в потоке воздуха // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2008. № 4–1. С. 5–5.
12. Гимадиев Р.Ш., Динмухаметов Ф.Ф. Моделирование разрыва линий передачи энергий // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2008. № 7–8. С. 137–143.
13. Гимадиев Р.Ш., Гимадиева Т.З. Математическое моделирование деформирования линии электропередачи с учетом теплопроводности // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 9. С. 51–59.
14. Гимадиев Р.Ш., Ильгамов М.А. Статическое взаимодействие профиля мягкого крыла с потоком несжимаемой жидкости // Известия вузов. Авиационная техника. 1998. № 1. С. 43–48.

SIMULATION OF DEFORMATION IN OVERHEAD POWER LINE WIRES

© R.Sh. Gimadiev, T.Z. Gimadieva, F.F. Dinmukhametov

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation

Approaches to the calculation of the stress-strain state of overhead power lines are analyzed. Equations of motion of deformable power lines in the spatial statement are compiled. Numerical modelling of dynamic loading of power lines under the influence of wind and weight is carried out. Problems of deformation in power lines are solved separately from wind and weight loading to check the accuracy of the numerical algorithm. Analytical solutions are also suggested to calculate the strain of power line wires. Comparative calculations show good agreement. The task of wire breakage and movement of the parts after the breakage is numerically solved. The results are given on the development of the numerical algorithm for solving the problem of deformation in a thermally insulated wire by heating its separate portion. Approximations of the boundary conditions are evaluated. Equations of motion of the power line wires and the heat equation are solved together to model the melting of ice. The conclusion is drawn about the need for further development of methods based on the numerical simulation of equations of motion in a flexible system that simulates the power line, including interaction with the flow in a thermally conductive icing medium.

Key words: power lines, mathematical modelling, equations of motion of wires, wire breakage, heat equation, numerical solutions, deformation in heat-conducting power lines, icing.

УДК 539.37

НЕЛИНЕЙНЫЙ ИЗГИБ ПЛОСКИХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ МЕМБРАН ПОД ДЕЙСТВИЕМ ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ

© М.С. Ганеева, М.А. Ильгамов, В.Е. Моисеева

Исследован нелинейный изгиб круглых пластин, находящихся под действием давления нагретой или охлажденной жидкости (рабочей среды взрывоопасного аппарата) с позиций применения их в качестве предохранительных мембран. Получены результаты численных расчетов в зависимости от уровня температуры действующей среды и высоты разрывающего штока от плоскости мембранны.

Ключевые слова: предохранительная мембра, нелинейный изгиб, давление жидкости, критическая температура.

Известно многообразие условий эксплуатации предохранительных мембран по различным характеристикам, в частности, по диапазону рабочих температур от криогенных до повышенных [1]. Данная работа является продолжением работы [2], где представлены результаты исследования нелинейного изгиба круглых пластин с жестко заделанным краем, находящихся под действием давления сжимаемой жидкости. В данной работе численно исследуется нелинейный осесимметричный изгиб плоской мембраны с ограничением перемещения в ее центре под действием давления сжимаемой жидкости и температуры.

1. Постановка задачи и метод решения.

Рассматривается нелинейный осесимметричный изгиб круглой пластины под действием давления жидкости. Невесомая сжимаемая жидкость находится в герметически закрытой емкости с жесткими стенками. Давление в емкости создается медленной подачей жидкости. Пластина в процессе деформации может взаимодействовать с цилиндрическим штоком радиуса r_0 , расположенным на высоте d над центром недеформированной мембранны (рис. 1). Характе-

ристики жидкости: M_0, V_0, p_0, T_0 – масса, объем, давление и температура в ненапряженном состоянии мембранны; m, V, p, T – масса дополнительно поданной в емкость жидкости, соответствующее изменение объема емкости, установившиеся в ней давление и температура. Температура мембранны совпадает с температурой жидкости.

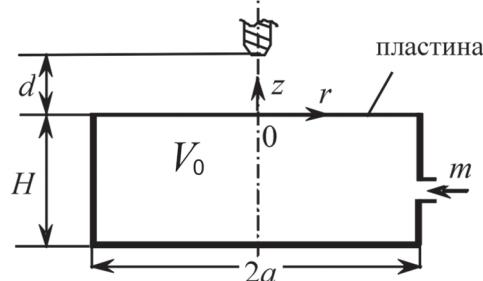


Рис. 1

Принято, что давление p в емкости изменяется по адиабатическому закону [3]:

$$p = p_0 ((1 + m/M_0)/(1 + V/V_0))^\gamma, \quad (1)$$

где γ – коэффициент адиабаты. Таким образом, в данной задаче параметром нагружения

ГАНЕЕВА Музайна Сайтгареевна – д.ф.-м.н., Институт механики и машиностроения Казанского научного центра РАН, e-mail: ganeeva@kfti.knc.ru

ИЛЬГАМОВ Марат Аксанович – чл.-корр. РАН, Институт механики им. Р.Р. Мавлютова Уфимского научного центра РАН, e-mail: ilgamov@anrb.ru

МОИСЕЕВА Валерия Евгеньевна – к.ф.-м.н., Институт механики и машиностроения Казанского научного центра РАН, e-mail: ganeeva@kfti.knc.ru

будет служить масса подаваемой в емкость жидкости m .

Используются соотношения теории пластин, описывающие осесимметричное, моментное, геометрически и физически нелинейное напряженно-деформированное состояние (НДС) пластины при умеренных поворотах [4] под действием давления на пластину $P = p - p_0$ и разности температур $T - T_0$. Далее p_0 принимается равным атмосферному давлению, $T_0 = 20^\circ\text{C}$. Напряжения через деформации представляются по теории малых упругопластических деформаций [5] для сжимаемого материала с диаграммой линейного упрочнения с коэффициентом упрочнения λ , модулем упругости E , коэффициентом Пуассона ν , пределом текучести σ_s , коэффициентом линейного температурного расширения α , средним коэффициентом линейного температурного расширения $\tilde{\alpha}$. В соотношениях задачи учтена зависимость характеристик материала от температур T_0, T : $E = E(T)$, $\sigma_s = \sigma_s(T)$, $\tilde{\alpha} = \tilde{\alpha}(T_0, T)$.

Для вектора разрешающих функций [6] $\mathbf{Y} = (T_{11}^*, Q_1^*, M_{11}, P, u, w, \vartheta_1, B)'$, где $B(r)$ – функция изменения объема из-за прогиба пластины $w(r)$:

$$B(r) = 2\pi \int_0^r wrdr, B(0) = 0, B(a) = V, \quad (2)$$

получена нелинейная разрешающая система уравнений:

$$d\mathbf{Y}/dr = \mathbf{A}(r)\mathbf{Y} + \mathbf{F}(r, \mathbf{Y}) + \Delta\mathbf{T}(r), \quad 0 \leq r \leq a. \quad (3)$$

Здесь $\mathbf{A}(r)$ – матрица коэффициентов размерности 8×8 , $\mathbf{F}(r, \mathbf{Y})$ – вектор геометрически и физически нелинейных членов 8×1 , $\Delta\mathbf{T}(r)$ – вектор температурных членов 8×1 .

В случае, когда шток отсутствует или не достигнут мембраной, используются предельные уравнения в полюсе $r = 0$ [7] и граничные условия (ГУ):

$$\begin{aligned} Q_1^* &= 0, \quad u = 0, \quad \vartheta_1 = 0, \\ B &= 0 \quad \text{при } r = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

При достижении мембранный штока на высоте d вместо (4) вводятся условия:

$$\begin{aligned} u &= 0, \quad \vartheta_1 = 0, \quad B = 0, \\ w &= d \quad \text{при } r = r_0. \end{aligned} \quad (5)$$

На краю мембранный $r = a$ рассматриваются условия жесткой заделки

$$u = 0, \quad w = 0, \quad \vartheta_1 = 0. \quad (6)$$

К условиям при $r = a$ добавляется нелинейная зависимость между неизвестными P и V , приближенно следующая из (1) с учетом (2):

$$\begin{aligned} P + p_0(1+m/M_0)^\gamma \gamma V/V_0 &= -p_0 + \\ + p_0(1+m/M_0)^\gamma (1+\gamma(\gamma+1)(V/V_0)^2/2 - \\ - \gamma(\gamma+1)(\gamma+2)(V/V_0)^3/6). \end{aligned} \quad (7)$$

В работе [6] предложен алгоритм численного решения нелинейной краевой задачи (3)–(7) на основе пошагового процесса по ведущему параметру $m_k/M_0, k = 1, L$.

2. Изгиб пластины с ограничением перемещения в ее центре в зависимости от температуры T . По условиям эксплуатации взрывоопасных аппаратов раскрытие мембран необходимо в их центре. Для круглых пластин с жестко заделанным краем (6), (7) при наличии штока радиуса r_0 на высоте d над центром пластины (ГУ (5)) на рис. 2–6

Таблица 1

$T^\circ\text{C}$	-253	-196	-160	-73	20	100	200	300	400	500
$10^{-5} \cdot E, \text{ МПА}$			1,177		1,090	1,089	0,981	0,883	0,785	0,706
$\sigma_s, \text{ МПА}$	1550	1220			770,0	675,8	566,8	501,4	457,8	392,4
$\sigma_b, \text{ МПА}$	1780	1440			940	784,8	675,8	566,8	523,1	479,6
$10^5 \cdot \alpha(T), 1/\text{град}^\circ\text{C}$		0,365	0,588	0,868	0,915					
$10^5 \cdot \tilde{\alpha}(T_0, T), 1/\text{град}^\circ\text{C}$, $T_0 = 20^\circ\text{C}$		0,790	0,829	0,899	0,915	0,850	0,894	0,921	0,942	0,960

и в табл. 2–3 приведены результаты расчетов при $a = 25 \text{ мм}$, $h = 1,0 \text{ мм}$, $a/h = 25$, $r_0/a = 0,01$; $E_0 = 1,09 \cdot 10^5 \text{ МПа}$, $\nu = 0,3$, $\lambda = 0,9$; $l = d/h = 0 \div 1,5$; $H = a$, $\gamma = 7$. Характеристики материала мембранны (сплав ВТ5-1) представлены в табл. 1 [8–10] для температур от криогенных до высоких. При этих данных мембрана без взаимодействия со штоком теряет устойчивость от сжимающих усилий $T_{11}/(Eh) = T_{22}/(Eh) = -1,223 h^2 / ((1-\nu^2)a^2)$ [11] при критической температуре $T_{\text{крит.}} = 188,4^\circ\text{C}$ [4].

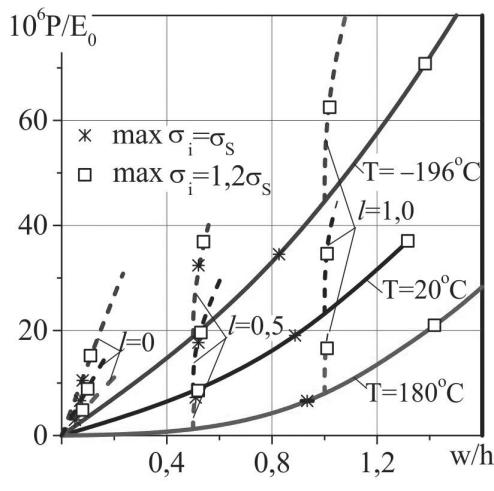


Рис. 2

На рис. 2 показаны зависимости параметра давления P/E_0 от максимального значения прогиба w/h , когда температура жидкости изменяется от криогенной до повышенной, но не превышает $T_{\text{крит.}}$. Сплошные линии соответствуют НДС пластины при $T = -196^\circ\text{C}$; 20°C ; 180°C без штока. От этих линий в точках касания

ния штоков $l = 0; 0,5; 1,0$ отходят штриховые, отражающие НДС пластины после встречи со штоками. На рис. 2 и далее значком « $*$ » показан момент появления в пластине $\max_{r,z} \sigma_i = \sigma_s$, где $\sigma_i = (\sigma_{11}^2 + \sigma_{22}^2 - \sigma_{11}\sigma_{22})^{0,5}$ — интенсивность напряжений, значком « \square » — момент появления $\max_{r,z} \sigma_i = 1,2\sigma_s$. С нарастанием нагрузки пластина деформируется с монотонным увеличением прогибов в полюсе (сплошные линии) или на некотором удалении от штока (штриховые линии). Видно, что для рассматриваемых значений l с ростом температуры T снижается уровень давления P , при котором достигаются характеристики прочности материала предохранительной мембранны.

В табл. 2 приведены данные для трех этапов деформирования пластины при ГУ (5); (6), (7) с нарастанием подачи жидкости m/M_0 в емкость: в момент касания штока; при $\max_{r,z} \sigma_i = \sigma_s$; при $\max_{r,z} \sigma_i = 1,2\sigma_s$. В табл. 2 представлены безразмерные параметры нагрузки P/E_0 , максимальных значений прогиба w/h и интенсивности напряжений σ_i/E_0 у штока $r = r_0$ и на краю $r = a$. Выбор высоты штока зависит от температуры (табл. 2). При этом необходимым условием эффективного разрыва предохранительной мембранны является достижение $\max_r \sigma_i$ при $r = r_0$. Из табл. 2 видно, что независимо от температуры для $l = 0$ $\max_r \sigma_i$ устойчиво возникает у штока,

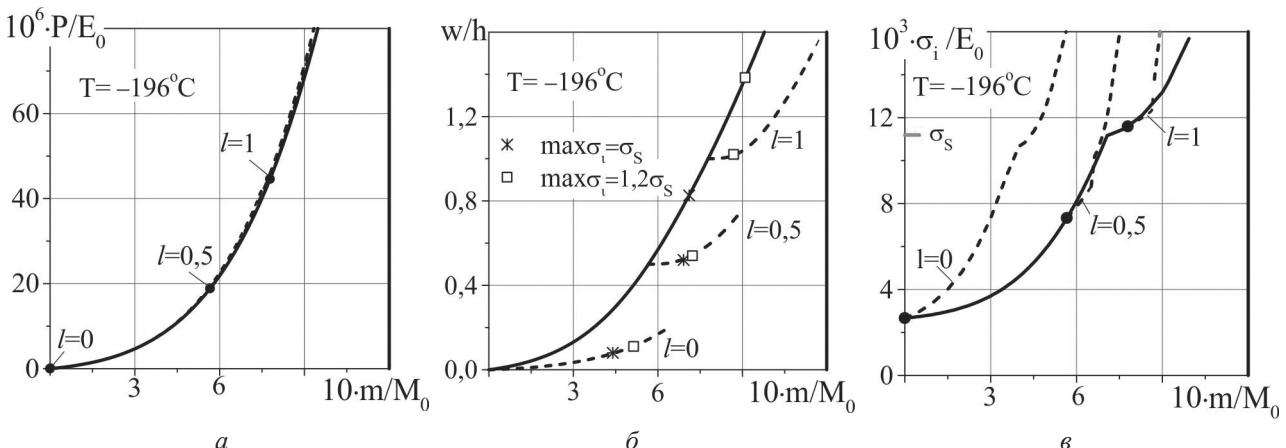


Рис. 3

Таблица 2

$T, ^\circ\text{C}$		-196			20			180		
Этапы деформирования	$l=d/h$	0,0	0,5	1,0	0,0	0,5	1,0	0,0	0,5	1,0
		$10 \cdot m/M_0$	0,00	5,66	7,78	0,00	4,07	6,22	0,00	1,39
НДС в момент касания штока	$10^6 \cdot P/E_0$	0,00	18,9	44,6	0,00	8,48	23,2	0,00	1,25	8,02
	$w/h, \max$	0,00	0,50	1,00	0,00	0,50	1,00	0,00	0,50	1,00
	$10^3 \cdot \sigma_i/E_0, r=r_0$	2,67	5,11	8,10	0,00	2,57	5,45	1,86	4,00	4,70
	$10^3 \cdot \sigma_i/E_0, r=a$	2,67	7,33	11,6	0,00	3,47	7,24	1,86	3,30	5,46
	$10 \cdot m/M_0$	4,40	6,91	7,78	3,57	5,55	6,22	2,34	3,81	4,06
НДС при $\max \sigma_i = \sigma_s$	$10^6 \cdot P/E_0$	10,5	32,4	44,6	6,63	17,7	23,2	2,98	7,24	8,02
	$w/h, \max$	0,08	0,52	1,00	0,07	0,52	1,00	0,05	0,51	1,00
	$10^3 \cdot \sigma_i/E_0, r=r_0$	11,2	11,2	8,10	7,06	7,06	5,45	5,40	5,40	4,70
	$10^3 \cdot \sigma_i/E_0, r=a$	4,19	9,64	11,6	1,39	5,40	7,24	2,50	4,66	5,46
	$10 \cdot m/M_0$	5,14	7,23	8,69	4,08	5,77	7,19	3,05	4,11	5,51
НДС при $\max \sigma_i = 1,2\sigma_s$	$10^6 \cdot P/E_0$	15,2	36,9	62,5	8,85	19,6	34,6	4,84	8,53	16,6
	$w/h, \max$	0,11	0,54	1,02	0,10	0,53	1,01	0,08	0,52	1,01
	$10^3 \cdot \sigma_i/E_0, r=r_0$	13,4	13,4	13,4	8,48	8,47	8,47	6,48	6,48	6,48
	$10^3 \cdot \sigma_i/E_0, r=a$	4,94	10,4	11,3	1,86	5,80	7,81	2,93	4,95	5,83
	$10^3 \cdot \sigma_s/E_0$		11,2			7,06		5,40		
$10^3 \cdot 1,2 \cdot \sigma_s/E_0$			13,4			8,47		6,48		

для $l=1$ приемлемое НДС при $r=r_0$ наблюдается при $\sigma_i=1,2\sigma_s$. Когда $l=0,5$, $T=180^\circ\text{C}$, при начальных значениях m/M_0 $\max \sigma_i$ наблюдается у штока, при некоторых m/M_0 — у края $r=a$, а с нарастанием m/M_0 — у штока $r=r_0$. При $l=0,5$, $T=-196^\circ\text{C}; 20^\circ\text{C}$ подходящее НДС при $r=r_0$ отмечается с момента достижения $\sigma_i=\sigma_s$.

На рис. 3–5 показано влияние поступления массы жидкости m/M_0 в емкость на НДС пластины. Сплошные линии соответствуют НДС пластины без штоков. От этих линий в точках касания штоков $l=0; 0,5; 1,0$ отходят штриховые, отражающие НДС пластины после встречи со штоками. На рис. 3, a; 4, a; 5, a на сплошной линии (ГУ(4); (6),(7)) в точках $l=0; 0,5; 1,0$ начинаются зависимости $P(m)$

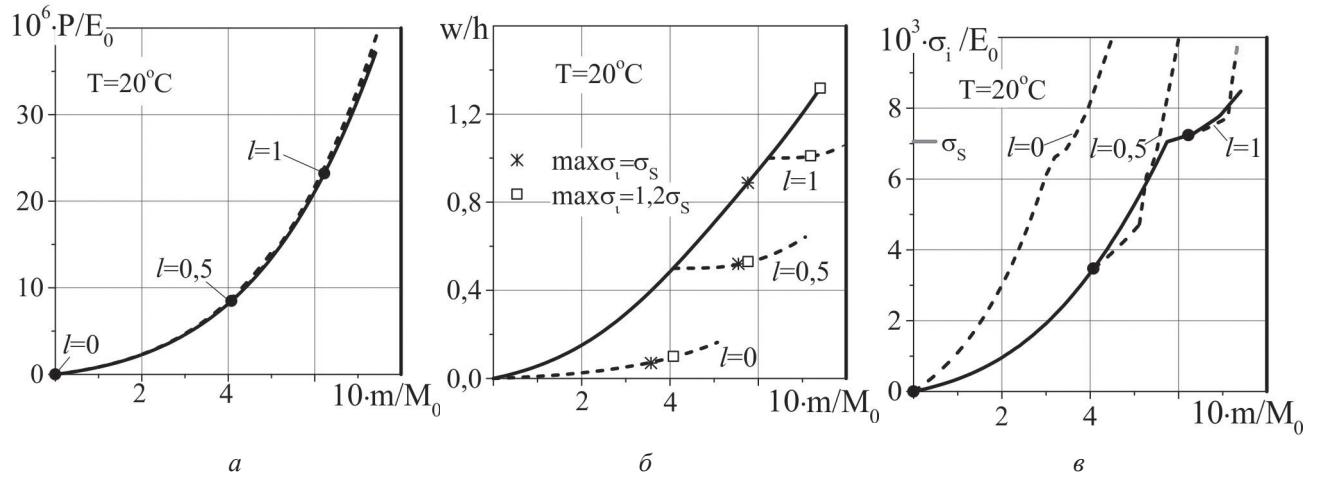


Рис. 4

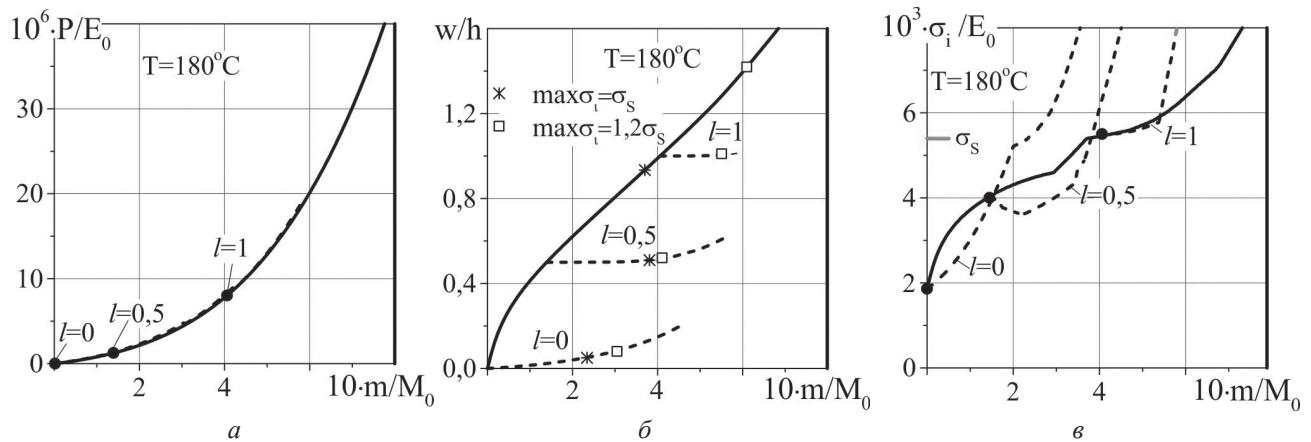


Рис. 5

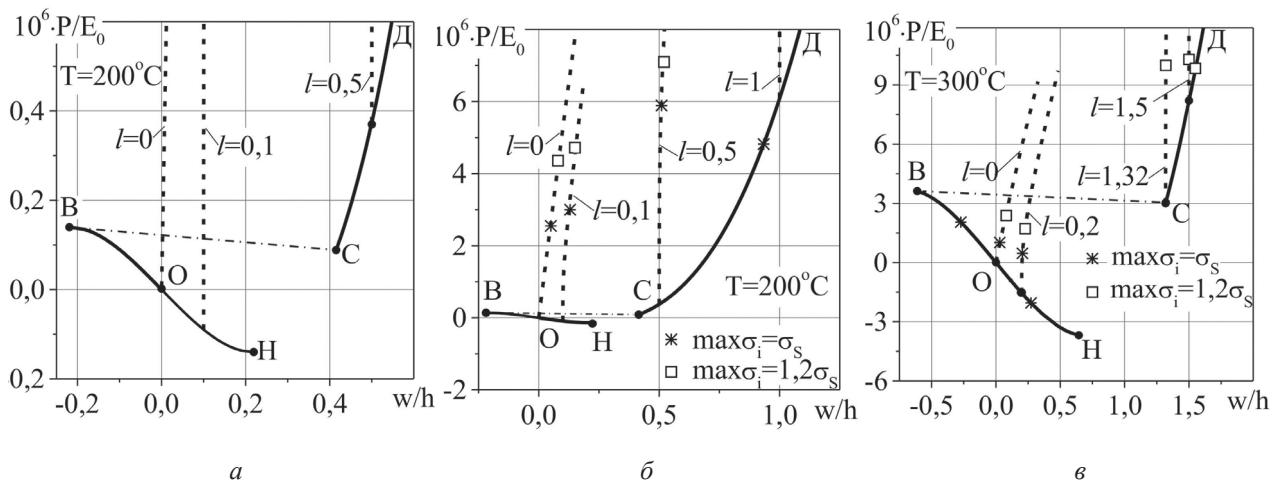


Рис. 6

для ГУ (5); (6), (7). Далее эти линии ложатся на линию (4); (6), (7). Видно, что при одинаковых m/M_0 и без штоков кривые $P(m)$ мало зависят от температуры. Однако с повышением температуры увеличиваются значения прогиба в полюсе (см. рис. 3, б; 4, б; 5, б, сплошные линии). С повышением температуры в предохранительной мемbrane необходимо введение штоков одинаковой высоты l при меньшем давлении P/E_0 (или массы жидкости m/M_0).

При действии на мембрану давления жидкости, температура которой превышает $T_{\text{крит.}}$, НДС мембранны значительно усложняется. На рис. 6 показаны зависимости параметра нагрузки P/E_0 от максимального значения относительного прогиба w/h при температурах $T = 200^\circ\text{C}$ (рис. 6, а, б), $T = 300^\circ\text{C}$ (рис. 6, в). При $T > T_{\text{крит.}}$, ГУ(4); (6), (7) с ростом подачи жидкости в емкость

$(\Delta m = m_{k+1}/M_0 - m_k/M_0 > 0)$ процесс деформирования развивается по линии ОВ: $w/h < 0, P/E_0 > 0$; $w_B/h, P_B/E_0, m_B/M_0$ – точка критического состояния. Далее при малейшем увеличении параметра m/M_0 происходит прохлопывание пластины скачком по линии ВС со снижением давления P/E_0 и изменением знака прогиба $w/h > 0$. Здесь возникает возможность выбора высоты штока $d > w_c$. Далее по линии СД процесс монотонный. Отметим, что для $T = 300^\circ\text{C}$, значительно превышающей $T_{\text{крит.}}$, выбор высоты штока при процессе по линии СД ограничен (см. рис. 6, в, $1,32 \leq l < 1,5$).

Другая возможность выбора высоты штока d при $T > T_{\text{крит.}}$: $\Delta m < 0$, процесс – по линии ОН: $w/h > 0, P/E_0 < 0$; $w_H/h, P_H/E_0, m_H/M_0$ – точка критического состояния при $P_H/E_0 < 0$. Далее в расчетах

возможен скачок из точки Н в область $w/h < 0$, но он на рис. 6 не показан. На линии ОН выбирается высота штока $0 < d < w_H$. На рис. 6, а, б штриховой линией показаны зависимости $P(w)$ при $l = 0; 0,1; 0,5; 1,0$ для ГУ (5); (6), (7), $T = 200^\circ\text{C}$, на рис. 6, в – $P(w)$ при $l = 0; 0,2; 1,32; 1,5; T = 300^\circ\text{C}$, ГУ (5); (6), (7).

В табл. 3 представлены данные для трех этапов деформирования мембранны. При $T = 200^\circ\text{C}$, близкой к $T_{\text{крит.}}$, подходящее НДС по необходимому условию достижения $\max_r \sigma_i$ при $r = r_0$ наблюдается при $l = 0; 0,1; 0,5$; при высоте штока $l = 1,0$ приемлемое НДС при $r = r_0$ наблюдается для $\sigma_i = 1,2\sigma_s$, при $l = 1,3$ $\max_r \sigma_i$ устойчиво остается у края $r = a$. При $T = 300^\circ\text{C}$, $l = 0; 0,2$ $\max_r \sigma_i$ наблюдается у штока; когда $l = 1,32$, подходящее НДС при $r = r_0$ наблюдается при $\sigma_i = 1,2\sigma_s$, а при $l = 1,5$ $\max_r \sigma_i$ остается у края $r = a$.

Таким образом, установлено, что круглая пластина с жестко заделанным краем, наход-

ящаяся под действием давления нагретой или охлажденной сжимаемой жидкости (рабочей среды взрывоопасного аппарата), взаимодействующая с разрывным штоком, может быть применена в качестве предохранительной мембранны. Однако условия деформирования плоской мембранны существенно зависят от ее температуры. При температуре мембранны, меньшей критического значения $T_{\text{крит.}}$, с нарастанием давления ее НДС развивается монотонно. При этом с повышением температуры в предохранительной мемbrane необходимо введение штоков одинаковой высоты l при меньшем давлении.

При температуре, большей критического значения $T_{\text{крит.}}$, НДС мембранны значительно усложняется. Показано, что при $T > T_{\text{крит.}}$ с ростом подачи жидкости в емкость ($\Delta m > 0$) невозможно добиться выбора штока высотой $l > 0$, не пройдя этап прохлопывания мембранны. Рассмотрена возможность выбора высоты штока при уменьшении подачи жидкости в емкость ($\Delta m < 0$) на начальном этапе деформирования. Однако независимо от тем-

Таблица 3

$T, ^\circ\text{C}$		200					300			
Этапы деформирования	$l=d/h$	0,0	0,1	0,5	1,0	1,3	0,0	0,2	1,32	1,5
НДС в момент касания штока	$10 \cdot m/M_0$	0,00	-0,14	0,57	3,58	5,24	0,00	-19,6	2,54	4,21
	$10^6 \cdot P/E_0$	0,00	-0,09	0,37	6,10	14,3	0,00	-1,54	3,00	8,23
	$w/h, \max$	0,00	0,10	0,50	1,00	1,30	0,00	0,20	1,32	1,50
	$10^3 \cdot \sigma_i / E_0, r=r_0$	2,07	2,60	4,26	4,96	5,19	2,98	4,21	4,79	4,70
	$10^3 \cdot \sigma_i / E_0, r=a$	2,07	2,27	3,29	5,26	5,79	2,98	3,02	4,93	5,36
НДС при $\max \sigma_i = \sigma_s$	$10 \cdot m/M_0$	2,13	2,36	3,45	3,58	5,24	1,14	0,65	2,54	4,21
	$10^6 \cdot P/E_0$	2,55	3,00	5,89	6,10	14,3	1,01	0,47	3,00	8,21
	$w/h, \max$	0,05	0,13	0,51	1,00	1,30	0,03	0,21	1,32	1,50
	$10^3 \cdot \sigma_i / E_0, r=r_0$	5,20	5,20	5,20	4,96	5,19	4,60	4,60	4,79	4,70
	$10^3 \cdot \sigma_i / E_0, r=a$	2,63	2,98	4,58	5,26	5,79	3,27	3,60	4,93	5,36
НДС При $\max \sigma_i = 1,2\sigma_s$	$10 \cdot m/M_0$	2,89	3,03	3,78	5,18	5,97	2,05	1,69	4,56	4,64
	$10^6 \cdot P/E_0$	4,36	4,72	7,10	14,1	19,9	2,38	1,71	9,99	10,3
	$w/h, \max$	0,08	0,15	0,52	1,00	1,30	0,08	0,23	1,32	1,5
	$10^3 \cdot \sigma_i / E_0, r=r_0$	6,24	6,24	6,24	6,24	4,72	5,52	5,52	5,52	4,91
	$10^3 \cdot \sigma_i / E_0, r=a$	3,06	3,40	4,86	5,62	6,24	3,68	3,97	5,39	5,52
	$10^3 \cdot \sigma_s / E_0$	5,20					4,60			
	$10^3 \cdot 1,2 \cdot \sigma_s / E_0$	6,24					5,52			

пературы мембранны при $l = 0$ максимальные значения напряжений устойчиво наблюдаются в окрестности штока, что обеспечивает необходимые условия раскрытия мембранны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ольховский Н.Е. Предохранительные мембранны. М.: Химия, 1976. 149 с.
2. Ганеева М.С., Ильгамов М.А., Моисеева В.Е. Нелинейный изгиб плоских предохранительных мембран // Актуальные проблемы механики сплошной среды: К 20-летию ИММ КазНЦ РАН. Казань: Фолиант, 2011. Т. 1. С. 162–175.
3. Ильгамов М.А. Статические задачи гидроупругости. Казань: Институт механики и машиностроения КазНЦ РАН, 1994. 208 с.
4. Ганеева М.С. Термосиловая задача в геометрически и физически нелинейной теории нетонких и тонких оболочек / КФТИ КФАН СССР. Казань, 1985. 126 с. Деп. в ВИНИТИ 24.06.85, № 4459-85Деп.
5. Ильюшин А.А. Пластичность. Ч. I. Упругопластические деформации. М.; Л.: Гостехтеориздат, 1948. 376 с.
6. Ганеева М.С., Ильгамов М.А., Моисеева В.Е. Устойчивость сферического сегмента, нагруженного давлением сжимаемой жидкости // Проблемы прочности и пластичности: межвуз. сб. Н. Новгород: Изд-во Нижегород. ун-та, 2009. Вып. 71. С. 71–76.
7. Ганеева М.С. Моисеева В.Е. Нелинейный изгиб нетонких составных оболочек вращения из термочувствительного упруго-пластического материала // Исследования по теории оболочек: тр. семинара. Казань, 1990. Вып. XXV. С. 4–20.
8. Новицкий Л.А., Кожевников И.Г. Теплофизические свойства материалов при низких температурах: Справочник. М.: Машиностроение, 1975. 216 с.
9. Солнцев Ю.П., Ермаков Б.С., Слепцов О.И. Материалы для низких и криогенных температур: Энциклопедический справочник. СПб.: Химиздат, 2008. 768 с.
10. Глазунов С.Г., Моисеев В.Н. Конструкционные титановые сплавы. М.: Металлургия, 1974. 368 с.
11. Тимошенко С.П. Устойчивость упругих систем. М.: Гостехтеориздат, 1955. 567 с.

NONLINEAR BENDING OF PLANE SAFETY MEMBRANES UNDER THE ACTION OF LIQUID PRESSURE AND TEMPERATURE

© M.S. Ganeeva¹, M.A. Ilgamov², V.E. Moiseeva¹

¹Institute of Mechanics and Engineering, Kazan Science Center, Kazan, Russian Federation

²Institute of mechanics, Ufa Science Center, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russian Federation

Nonlinear bending of circular plates exposed to the pressure of the heated or cooled liquid (the working environment of explosive device) has been studied from the standpoint of the safety membranes use. The numerical results depending on environment temperature level and on the height of the breaking stem have been obtained.

Key words: safety membrane, nonlinear bending, pressure of a liquid, critical temperature.

УДК 544.431

K 80-летию члена-корреспондента РАН М.А. Ильгамова

ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ ХИМИЧЕСКОЙ КИНЕТИКИ И ДЕКОМПОЗИЦИЯ КИНЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НА ОСНОВЕ НЕЗАВИСИМЫХ МАРШРУТОВ СЛОЖНОЙ РЕАКЦИИ

© С.И. Спивак, А.С. Исмагилова

Предметом исследования данной работы являются обратные задачи химической кинетики. Математическим объектом исследования являются системы нелинейных обыкновенных дифференциальных, дифференциально-алгебраических, алгебраических уравнений, в зависимости от условий эксперимента – нестационарный, стационарный, равновесный случаи.

Недостаточная информативность реально доступных массивов кинетических измерений приводит к неоднозначности решения обратной задачи. Важно знать, какие из индивидуальных констант однозначно определяются по заданной структуре эксперимента, какие определяются только в виде функциональных комбинаций, сколько независимых комбинаций, каков их явный вид. Понятно, что подобного рода задачи в вычислительном плане крайне трудоемки. Трудность состоит в том, что использование этой теории связано со сложными аналитическими вычислениями, применение которых сильно затрудняется из-за большой размерности в реальных задачах построения кинетических моделей.

Основным результатом является построение методологии анализа информативности кинетических измерений при решении обратных задач, позволяющей выделить число и вид независимых комбинаций констант скоростей реакций. Разработан алгоритм декомпозиции сложных схем протекания реакции на подсхемы, каждая из которых соответствует маршруту протекания реакции. Число таких подсхем, естественно, равно числу независимых маршрутов. Базис маршрутов выбирается так, чтобы каждая из подсхем была существенно меньшей размерности. Анализ информативности кинетических измерений для исходной сложной схемы при этом сводится к анализу информативности каждой из подсхем.

Ключевые слова: кинетическая модель, обратная задача, информативность, константы скоростей реакций.

Методология математического моделирования химических процессов и реакторов была разработана в классических работах академика РАН Г.К. Борескова и члена-корреспондента РАН М.Г. Слинько [1–3]. В ее основу легли знания кинетики химических реакций. Сформировалось понятие кинетической модели как основы понимания механизма сложной химической реакции. Кинетическая модель дает необходимую теоретическую и практическую информацию для математического моделирования каталитических реак-

ций, конструирования реактора и определения оптимальных условий проведения промышленного процесса [4–6].

Построение кинетических моделей сложных химических реакций осуществляется циклически при постоянном чередовании двух видов эксперимента: натурный эксперимент – включает проведение реакции в различных условиях с разными концентрациями исходных реагентов; вычислительный – предполагает определение констант скоростей и энергий активации решением обратной задачи

СПИВАК Семен Израилевич – д.ф.-м.н., Институт нефтехимии и катализа Уфимского научного центра РАН, e-mail: semen.spivak@mail.ru

ИСМАГИЛОВА Альбина Сабирьяновна – к.ф.-м.н., Башкирский государственный университет, e-mail: ismagilovaas@rambler.ru

химической кинетики на основе натурных экспериментальных данных [7].

Кинетическая модель имеет решающее значение при идентификации механизма сложных реакций на основе кинетического эксперимента [8].

Математическое описание кинетической задачи необходимо для определения кинетических параметров, к которым относятся значения кинетических констант скоростей стадий и энергии активации стадий. Для нахождения кинетических параметров необходимо сформулировать и решить прямую и обратную кинетические задачи.

Прямой задачей является задача расчета состава многокомпонентной реагирующей смеси и скорости реакции в любой момент времени прохождения реакции на основании заданной кинетической модели с известными параметрами. При этом решается задача Коши.

Постановка обратной задачи состоит в том, что предполагается известным стадийный механизм. Задача состоит в определении кинетических констант, в рамках этой схемы описывающих имеющийся экспериментальный материал.

Основная проблема, возникающая при идентификации механизмов сложных химических реакций, – недостаточность информативности доступных массивов кинетических измерений. Сложность состоит в том, что проанализировать можно только часть веществ. Как правило, это исходные вещества и продукты реакции. Промежуточные вещества (интермедиаты, радикалы, катализаторы и др.) невозможны подвергнуть анализу в ходе реакции. Отсутствие этой информации приводит к неопределенности при оценивании параметров математических моделей кинетики сложных реакций. Возникает неоднозначность решения обратной задачи [9]. Это снижает уровень надежности принимаемых на основе кинетических моделей технологических решений [10].

Проведено детальное математическое исследование проблемы информативности [9–10]. Построена методология анализа информа-

тивности кинетических измерений при решении обратных задач, позволяющая выделить число и вид нелинейных параметрических функций (НПФ) констант скоростей реакций, допускающих однозначную оценку по кинетическому эксперименту разных типов [11].

Основным результатом настоящей работы является построение методологии анализа информативности кинетических измерений при решении обратных задач, позволяющей выделить число и вид независимых комбинаций констант скоростей реакций при помощи алгоритма декомпозиции механизма сложной реакции на ряд более простых составляющих [13–14].

В зависимости от типа эксперимента система дифференциальных уравнений химической кинетики принимает различные формы:

1. Нестационарный случай:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = f_1(x, y, k), \\ \frac{dy}{dt} = f_2(x, y, k). \end{cases}$$

2. Квазистационарный случай:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = f_1(x, y, k), \\ f_2(x, y, k) = 0. \end{cases}$$

3. Равновесие:

$$\begin{cases} f_1(x, y, k) = 0, \\ f_2(x, y, k) = 0. \end{cases}$$

Рассмотрим систему кинетических уравнений

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = f_1(x', y, k); \\ f_2(x', y, k) = 0; \\ x'(0) = x'_0. \end{cases} \quad (1)$$

Будем считать, что $x' = x + F(x, \varepsilon)$, где функция $F(x, \varepsilon)$ заключает в себе информацию о погрешности измерения, $0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_1$, где ε_1 – предельно допустимая погрешность эксперимента. Параметр входит в вектор определяемых

параметров $k' = k'(k, \varepsilon)$. Это значит, что ε ($0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_1$) становится дополнительным параметром системы, хотя он и не входит в систему уравнений, а входит в выражение для измеряемого отклика [11]. Новый вектор определяемых параметров при решении обратной задачи будет зависеть и от ε и будет иметь вид $k' = k'(k, \varepsilon)$. Другими словами, если ε изменяется в пределах, допустимых $0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_1$, то x' находится внутри некоторого коридора $x' = x + F(x, \varepsilon)$. Отсюда следует, что и k' должно определяться внутри некоторого интервала. Возникает аналогия со статистическим доверительным интервалом.

Для решения задачи определения вида НПФ достаточно исследовать матрицу

$$U = \left(\frac{\partial f_1}{\partial k'} \right) - \left(\frac{\partial f_1}{\partial y} \right) \left(\frac{\partial f_2}{\partial y} \right)^{-1} \left(\frac{\partial f_2}{\partial k'} \right),$$

явный вид которой определяется правыми частями системы (1). Следовательно, существует ненулевая матрица A , зависящая от k и ε , такая, что $U \cdot A \equiv 0$. Если эта матрица найдена, то базис независимых частных решений системы:

$$\frac{\partial \rho}{\partial k'} \cdot A = 0,$$

где $\rho_1(k, \varepsilon), \dots, \rho_m(k, \varepsilon)$ – система нелинейных параметрических функций, m – число линейно независимых столбцов матрицы Якоби. Матрицу A называют матрицей связей.

Очевидно, подобного рода задачи в вычислительном плане крайне трудоемки. Трудность состоит в том, что использование этой теории связано со сложными аналитическими вычислениями, применение которых сильно затрудняется из-за большой размерности в реальных задачах построения кинетических моделей.

При декомпозиции механизма сложной реакции каждая из составляющих, отвечает за самостоятельное физико-химическое содержание. Вместо одной сложной системы исследуются несколько существенно более простых схем реакций. Число таких простых подсистем равно числу независимых маршрутов. Вид

подсистем определяется видом независимых маршрутов.

Маршрут был введен как вектор, умножение элементов которого на соответствующие стадии механизма сложной реакции вместе с последующим сложением стадий приводит к суммарному уравнению реакции, которое уже не содержит промежуточных веществ [12].

В работе [13] приведена графическая интерпретация маршрутов реакции на основе анализа матрицы инцидентности. Анализ проводился на графике сложной реакции, введенном А.И. Вольпертом, с целью изучения качественного поведения решения систем дифференциальных уравнений химической кинетики [15].

Опишем теоретико-графовый алгоритм поиска независимых маршрутов и выписывания суммарных уравнений сложных химических реакций по матрице индексов.

1) Построение графа Вольперта для системы химических реакций. Индексация вершин графа Вольперта [15].

Индексация вершин графа позволяет отыскать маршруты сложной реакции.

2) Нахождение цикла по матрице индексов.

Под матрицей индексов будем понимать $(m \times n_2)$ -матрицу, элементами которой являются индексы вершин графа сложной реакции взятые со значком « \rightarrow » для исходных веществ данной стадии, продуктов реакции – со знаком « $\rightarrow+$ »:

$$S = (s_{ij}), 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n_2,$$

где m – число стадий, n_2 – число промежуточных веществ (в каталитических реакциях маршрут проходит через вершины-реакции и вершины-промежуточные вещества). Если вещество не участвует в данной стадии, то соответствующий ему элемент в матрице индексов обозначается ∞ . Таким образом, строкам поставлены в соответствие стадии, столбцам – промежуточные вещества.

Поиск цикла начинаем со столбца, обозначающего вершину-вещество. Определяем переход от (W_q, Y_r) к (W_k, Y_i) , далее от (W_k, Y_i)

Y_i) к (W_k, Y_j) и т.д. ($1 \leq q \neq k \leq m, 1 \leq i, j \leq n_2$). Процесс продолжаем до тех пор, пока не приедем к (W_q, Y_i) , с которого начали «движение». При переходе к следующему элементу матрицы индексов запоминаем «адрес» предыдущего. Сопоставляя последовательность элементов матрицы с графиком реакции, получаем цикл, т.е. последовательность вершин-реакций и вершин-веществ, входящих в него.

4) Проверка балансных соотношений уравнений, соответствующих найденным подграфам. Сумма весов исходящих и входящих дуг в вершину-промежуточное вещество должна быть равна нулю. Иначе надо подобрать коэффициент, при умножении на который выполняется данное условие.

Использование геометрической интерпретации маршрутов полезно для программного обеспечения. Например, используя графические аналогии, были написаны программы определения маршрутов [16], выделения базиса ключевых веществ [17–18].

Основным результатом является следующая теорема.

Совокупность стадий химической реакции можно разбить на подсистемы, в которые входят части стадий исходного механизма. Число таких подсистем равно числу независимых маршрутов. Соединение U -матриц для каждой подсистемы позволяет выписать U -матрицу всей системы и найти базис НПФ исходной сложной системы реакций.

Из теоремы следует алгоритм:

1. Нахождение маршрутов химической реакции, разложение исходной системы на подсистемы, соответствующие маршрутам.

2. Нахождение матрицы U для каждой из подсистем. Объединение U -матриц.

3. Нахождение базиса НПФ кинетических параметров для исходной системы.

Таким образом, понятие независимого маршрута становится принципиально важным при исследовании информативности измерений в обратных задачах химической кинетики.

Описанные в настоящей работе алгоритмы легли в основу математического обеспечения решения обратных задач химической

кинетики. Результаты апробированы на конкретных примерах определения кинетических параметров для реакции пиролиза этана, механизма гетерогенно-катализитического дегидрирования бутана, циклоалюминирования олефинов триэтилалюминием в присутствии катализатора, реакции окисления сероводорода с учетом адсорбции кислорода и сероводорода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боресков Г.К., Слинько М.Г. Моделирование химических реакторов // Теоретические основы химической технологии. 1967. Т. 1, №1. С. 5–16.
2. Боресков Г.К., Слинько М.Г. Расчет катализических процессов в промышленных реакторах // Химическая промышленность. 1960. № 3. С. 193.
3. Слинько М.Г. Кинетические исследования – основа математического моделирования каталитических процессов // Кинетика и катализ. 1972. Т. XIII, вып. 3. С. 566–580.
4. Слинько М.Г. Основные проблемы химической кинетики и моделирование химических реакторов // Теоретические основы химической технологии. 1972. Т. VI, № 6. С. 807.
5. Слинько М.Г. Основы и принципы математического моделирования каталитических процессов. Новосибирск: Наука, 2004. 488 с.
6. Слинько М.Г. Задачи кинетики гетерогенных каталитических реакций для моделирования химических реакторов // Кинетика и катализ. 1981. Т. XXII, вып. 1. С. 5–14.
7. Киперман С.Л. Адекватность кинетических моделей // Кинетика и катализ. 1995. Т. 36, № 1. С. 11–21.
8. Яблонский Г.С., Быков В.И., Горбань А.Н. Кинетические модели каталитических реакций. Новосибирск: Наука, 1983. 255 с.
9. Спивак С.И., Горский В.Г. Неединственность решения задачи восстановления кинетических констант // Доклады Академии наук. 1981. Т. 257, № 2. С. 412–415.
10. Горский В.Г., Спивак С.И. Исследование идентифицируемости параметров – один из важнейших этапов построения математических моделей в химии // Журнал структурной химии. 1988. Т. 29, № 6. С. 119.

11. Кудашев В.Р., Спивак С.И. Информативность кинетических измерений при определении параметров математических моделей нестационарной химической кинетики // Теоретические основы химической технологии. 1992. Т. 26, № 6. С. 872–879.
12. Механизм и кинетика сложных катализитических реакций / Темкин М.И. // Лекции, прочитанные на первом симпозиуме Международного конгресса по катализу. М.: Наука, 1970. С. 57–76.
13. Спивак С.И., Исмагилова А.С., Хамитова И.А. Теоретико-графовый метод определения маршрутов сложных химических реакций // Доклады Академии наук. 2010. Т. 434, № 4. С. 499–501.
14. Спивак С.И., Исмагилова А.С. Информативность кинетических измерений и обратные задачи химической кинетики // Доклады Академии наук. 2013. Т. 451, № 3. С. 296–298.
15. Вольперт А.И., Худяев С.И. Анализ в классах разрывных функций и уравнения математической физики. М.: Наука, 1975. 394 с.
16. Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 19024. Программа для нахождения независимых маршрутов сложной химической реакции / Ахмеров А.А., Исмагилова А.С., Спивак С.И. Зарегистрировано в ИНИПИ РАО, ОФЭРНиО, г. Москва, 27 марта 2013 г.
17. Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 19433. Программа для нахождения базиса ключевых веществ / Ахмеров А.А., Исмагилова А.С., Спивак С.И. Зарегистрировано в ИНИПИ РАО, ОФЭРНиО, г. Москва, 1 августа 2013 г.
18. Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 19737. Программа для нахождения базиса ключевых веществ путем декомпозиции химической реакции по маршрутам / Ахмеров А.А., Исмагилова А.С., Спивак С.И.. Зарегистрировано в ИНИПИ РАО, ОФЭРНиО, г. Москва, 9 декабря 2013 г.

**INVERSE PROBLEMS OF CHEMICAL KINETICS AND DECOMPOSITION
OF THE KINETIC MODEL ON THE BASIS OF INDEPENDENT ROUTES
FROM OF A COMPLEX REACTION**

© S.I. Spivak¹, A.S. Ismagilova²

¹Institute of Petrochemistry and Catalysis RAS, Ufa, Russian Federation,

²Bashkir State University, Ufa, Russian Federation

This paper deals with inverse problems of chemical kinetics. Systems of non-linear ordinary differential, differential algebraic, or algebraic equations, depending on the conditions of the experiment, namely, non-stationary, stationary, or equilibrium cases, constitute the mathematical object of the study.

The insufficient informativity of the actually available arrays of kinetic measurement data results in the non-uniqueness of inverse problem solution. It is important to know which individual constants are unambiguously determined in an experiment with predefined structure, which ones are only determined as functional combinations, how many independent combinations are there, and what their explicit form is. It is clear that problems of this kind are highly laborious in computational respect. The difficulty is that the use of this theory involves complex analytical calculations, the use of which is hampered considerably due to high dimensionality in real tasks of kinetic model building.

The main result involves building a methodology for analyzing the informativity of kinetic measurements in the solution of inverse problems, which would allow one to determine the number and form of independent combinations of reaction rate constants. Thus, we have developed an algorithm for decomposing complex reaction schemes into sub-schemes, each corresponding to a reaction route. Naturally, the number of such sub-schemes equals the number of independent routes. The basis of routes is selected in such a way that each subscheme has a much smaller dimensionality. Analysis of the informativity of kinetic measurements for the initial complex scheme is thus reduced to analysis of the informativity of each sub-scheme.

Key words: kinetic model, inverse problem, informativity, the constants of rate reaction.

УДК 532.5.031

К 80-летию члена-корреспондента РАН М.А. Ильгамова

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ КАВИТАЦИОННЫХ ПУЗЫРЬКОВ НА ТЕЛО

© А.А. Аганин, Т.С. Гусева, Л.А. Косолапова, В.Г. Малахов, Н.А. Хисматуллина

Разработана методика численного исследования напряжений и деформаций в приповерхностном слое тела в зависимости от динамики кавитационного пузырька в его окрестности. Расчет ударного воздействия схлопывающегося кавитационного пузырька на приповерхностный слой тела состоит из трех этапов. Этап 1 посвящен определению изменения полей давления и скорости жидкости, а также деформаций пузырька в ходе низкоскоростной стадии его сжатия. Эта стадия завершается в момент контакта образующейся на поверхности пузырька кумулятивной струи жидкости со стенкой тела (если пузырек непосредственно касается тела) или с ближней к телу частью поверхности пузырька (если между пузырьком и телом имеется слой жидкости). На этапе 2 определяются изменения полей давления и скорости жидкости в ходе последующей высокоскоростной стадии сжатия пузырька. Этап 3 предназначен для определения изменения полей напряжений и деформаций, зон текучести в приповерхностном слое тела при рассчитанном на первых двух этапах законе изменения давления на поверхности тела. Выявлен ряд закономерностей динамики сфероидального пузырька при его сжатии у твердой стенки и влияния неоднородности нагружения поверхности тела при ударе струи на поля напряжений в теле, положение и конфигурацию зон с интенсивностью напряжений на уровне предела текучести.

Ключевые слова: кавитация, коллапс пузырька у стенки, кавитационное разрушение, воздействие кавитации на стенку.

Изучение кавитации жидкостей имеет большое теоретическое и прикладное значение в силу широкого применения жидкостей в качестве разнообразных рабочих сред. Кавитация больше известна как нежелательное явление, возникающее в рабочей жидкости там, где ее давление опускается ниже некоторого критического уровня. Если в какой-либо области жидкости давление удерживается ниже этого уровня дольше определенного времени, а затем вновь поднимается выше

этого уровня, то возникающие в этой области кавитационные пузырьки сначала многократно увеличиваются в размерах, а затем сильно сжимаются (коллапсируют). При коллапсе пузырька кинетическая энергия сжимающего пузырек слоя жидкости кумулируется либо в виде потенциальной и тепловой энергии парогазовой среды пузырька, либо в виде кинетической энергии тонкой (по сравнению с размерами пузырька) струйки жидкости, возникающей на поверхности пузырька.

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

ГУСЕВА Татьяна Сергеевна – к.ф.-м.н., Институт механики и машиностроения Казанского научного центра РАН, e-mail: gyseva@kfti.knc.ru

КОСОЛАПОВА Людмила Александровна – к.ф.-м.н., Институт механики и машиностроения Казанского научного центра РАН, e-mail: kosolapova@kfti.knc.ru

МАЛАХОВ Владимир Георгиевич – к.ф.-м.н., Институт механики и машиностроения Казанского научного центра РАН, e-mail: malahov@kfti.knc.ru

ХИСМАТУЛЛИНА Наиля Абдулаевна – к.ф.-м.н., Институт механики и машиностроения Казанского научного центра РАН, e-mail: nailya_hism@mail.ru

Одной из наиболее острых проблем, связанных с кавитацией, является кавитационное разрушение (эррозия). В частности, кавитационной эрозии подвержены лопасти гребных винтов судовых движителей [1–2], стенки проточных каналов трубопроводных систем [3], лопасти гидротурбин [4], стенки водосливных каналов гидроэлектростанций [5], детали гидронасосов [4] и т.д. В развивающейся в медицине лазерной микрохирургии кавитационное разрушение органических тканей может быть серьезным побочным эффектом [6]. Большой разрушительный потенциал кавитации можно направить и на решение различных практических задач. Например, кавитацию используют в промышленности и транспорте для очистки от отложений труб теплообменных аппаратов [7], деталей топливной аппаратуры (поршней, форсунок) [8], нефтепромыслового оборудования (стенок скважин, насосно-компрессорных труб, систем транспортировки нефти) [9], в медицине – для дробления камней в почках [10] и т.д.

Наибольшие разрушения в теле возникают, по-видимому, в режиме импульсного воздействия пузырьков, при котором в финальной стадии их сжатия в жидкости и припо-

верхностном слое тела возникают ударные волны. Исследованию особенностей этого режима посвящено довольно большое число публикаций (см., например, обзоры в [11–15]). Два известных сценария такого воздействия схематично изображены на рис. 1–2.

В первом сценарии (рис. 1) пузырек сжимается на относительно большом удалении от тела. В этом случае форма пузырька в конце расширения и в ходе последующего сжатия близка к сферической (рис. 1, a). В результате сильного почти сферического сжатия пузырька в его окрестности возникает расходящаяся ударная волна (рис. 1, b). Вскоре эта волна достигает стенки тела и воздействует на нее (рис. 1, b, c). Вследствие этого в жидкости возникает отраженная ударная волна, а в приповерхностном слое тела формируются расходящиеся от места воздействия волны продольных и сдвиговых напряжений (рис. 1, d).

Во втором сценарии (рис. 2) пузырек находится на небольшом расстоянии от тела, так что наличие тела оказывает существенное влияние на деформации пузырька. В этом случае в процессе сжатия пузырька на противоположной к телу части его поверхности может образоваться направленная к телу высо-

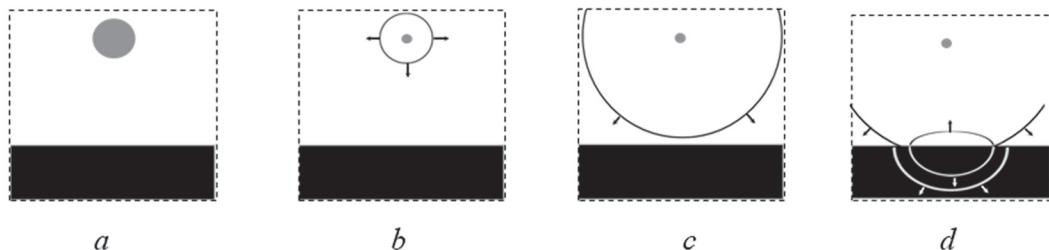


Рис. 1. Коллапс пузырька на относительно большом расстоянии от тела. Штриховой линией выделен фрагмент тела и жидкости в окрестности пузырька. Области, закрашенные серым цветом, – пузырек, белым – жидкость, черным – тело, черные линии – ударные волны в жидкости, белые линии – ударные волны в теле, стрелки указывают направление распространения волн

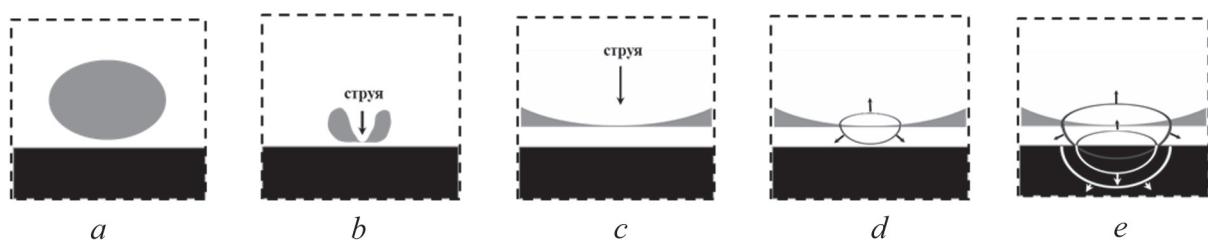


Рис. 2. Коллапс пузырька вблизи тела (a, b – фрагмент в окрестности пузырька, c–e – фрагмент в окрестности конца струи). Обозначения те же, что и на рис. 1

коскоростная струя жидкости (рис. 2, *a*, *b*). Она бьет по слою жидкости между пузырьком и стенкой тела (рис. 2, *c*), в результате чего в жидкости возникают две ударных волны: одна, распространяющаяся от стенки тела, – в струе, другая, распространяющаяся к стенке тела – в слое жидкости между пузырьком и телом (рис. 2, *d*). При воздействии второй из этих волн на поверхность тела в жидкости возникает отраженная ударная волна, а в приповерхностном слое тела формируются волны продольных и сдвиговых напряжений, расходящиеся от места воздействия (рис. 2, *e*).

Из литературы следует, что возможны многочисленные вариации приведенных на рис. 1–2 сценариев ударного воздействия пузырька. Например, в первом сценарии действующая на тело ударная волна может быть результатом сжатия не одного, а нескольких пузырьков. В рамках второго сценария многое зависит от формы пузырька в начале сжатия, его удаленности от тела, упругих свойств тела. Так, сжатие пузырька может происходить без возникновения и с возникновением струи. В последнем случае могут сильно варьироваться форма струи, ее ширина и скорость, могут изменяться место образования струи на поверхности пузырька, ее направленность (к телу или от него). Пузырек в ходе сжатия может распадаться на два соосных пузырька. Среди них ближний к стенке пузырек может быть как больше, так и меньше дальнего. Ближний пузырек может сжиматься по сценарию рис. 2, *a* дальний – по зеркально противоположному сценарию, т.е. с противоположно направленной струей. При определенных условиях торообразный пузырек (см. рис. 2, *b*) распадается на множество мелких пузырьков. Их последующее совместное схлопывание значительно усиливает силовое воздействие на стенку тела. В результате взаимодействия распространяющихся вверх по струе навстречу ее движению ударных волн (см. рис. 2, *e*) с границей этой струи могут возникать сходящиеся к оси симметрии струи цилиндрические волны разгрузки. Схождение этих волн в верхней части струи может приводить к образованию там кавита-

ционной полости. Схлопывание этой полости также усиливает ударное воздействие на стенку тела.

Пузырек может непосредственно касаться тела. В этом случае возникающая на его поверхности струя жидкости бьет прямо по стенке. Удар оказывается более сильным, так как играющий роль демпфера слой жидкости между пузырьком и стенкой здесь отсутствует. В случае касания пузырька стенки вскоре после удара струи на границе области ее контакта со стенкой возникает тонкая цилиндрическая струйка жидкости, радиально разлетающаяся по стенке от центра области контакта (со скоростью в 10 и более раз превышающей скорость бьющей по стенке струи). В результате на поверхности тела возникают значительные сдвиговые напряжения, приводящие к его дополнительным разрушениям. Образование цилиндрической струйки жидкости на периферии области контакта между струей и стенкой тела является результатом возникновения в приповерхностном слое жидкости на границе области контакта между струей и стенкой цилиндрической радиально сходящейся волны разрежения. Из-за схождения этой волны в приповерхностном слое жидкости в окрестности центра области контакта может возникать кавитационная полость. Ее последующее сжатие усиливает разрушительное воздействие.

При ударном воздействии кавитационных пузырьков на тело в его приповерхностном слое в окрестности места воздействия могут возникать пластические деформации, микротрешины и трещины. Многократно повторяющиеся воздействия пузырьков приводят к эрозии поверхности и откольным разрушениям.

Несмотря на большое число работ, посвященных ударному воздействию пузырьков на тело, такая важная для уяснения механизмов кавитационного разрушения проблема, как зависимость возникающих в приповерхностном слое тела напряжений и деформаций от особенностей динамики пузырька, изучена еще очень мало. Трудности как экспериментального, так и теоретического исследования синхронизиро-

ванных по времени процессов в жидкости и теле, скорее всего, обусловлены большим изменением пространственно-временных масштабов динамики пузырька. В частности, ударное воздействие определяется максимальными линейными размерами пузырька и временем его сжатия. Реализуется же это воздействие в окрестности точки поверхности тела радиусом в десятые доли радиуса струи (т.е. в сотые доли максимального радиуса пузырька) и в промежутке времени, за который ударная волна в теле пробегает эту окрестность.

Под руководством авторов разработана методика численного исследования указанной проблемы, а именно, зависимости напряжений и деформаций в приповерхностном слое тела от динамики кавитационного пузырька в его окрестности. Выявлен ряд закономерностей динамики сфероидального пузырька при его сжатии у твердой стенки и исследовано влияние неоднородности нагружения поверхности тела при ударе струи на поля напряжений в теле, положение и конфигурацию зон текучести.

Развиваемый подход к численному исследованию ударного воздействия схлопывающегося кавитационного пузырька на приповерхностный слой тела состоит из трех этапов.

Этап 1. Определение изменения полей давления и скорости жидкости, а также деформаций пузырька в ходе низкоскоростной стадии его сжатия. Характерная скорость здесь определяется скоростью струи. Низкоскоростная стадия завершается в момент контакта образующейся на поверхности пузырька кумулятивной струи жидкости со стенкой тела (если пузырек непосредственно касается тела) или с ближней к телу частью поверхности пузырька (если между пузырьком и телом имеется слой жидкости).

Этап 2. Определение изменения полей давления и скорости жидкости в ходе последующей высокоскоростной стадии сжатия пузырька. Характерная скорость здесь определяется скоростью возникающих в жидкости ударных волн.

Этап 3. Определение изменения полей напряжений и деформаций, зон текучести в

приповерхностном слое тела при рассчитанном на первых двух этапах законе изменения давления на поверхности тела.

На низкоскоростной стадии сжатия пузырька влияние сжимаемости жидкости неизначительно. Поэтому на первом этапе используется модель динамики несжимаемой жидкости. На этой стадии мала и неоднородность парогазового содержимого пузырька. В силу этого давление в пузырьке считается однородным.

На высокоскоростной стадии сжатия пузырька и в жидкости, и в парогазовой среде пузырька могут возникать ударные волны. В силу этого необходимо учитывать влияние сжимаемости жидкости и неоднородности давления в пузырьке. Поэтому на втором этапе для описания движения жидкости и парогазового содержимого пузырька используется модель газовой динамики.

На первом и втором этапах не учитывается влияние вязкости жидкости и деформаций стенки тела. Это соответствует достаточно большим пузырькам и телам, по свойствам близким к металлическим.

На третьем этапе применяется модель динамики идеального упруго-пластического тела. Линейные размеры пузырьков обычно значительно меньше линейных размеров тел, на которые они воздействуют. Поэтому тело моделируется полупространством. В качестве закона нагружения поверхности тела принимаются либо результаты расчетов первых двух этапов, либо их аналитические аппроксимации.

На первом этапе применяется метод граничных элементов. Здесь этот метод наиболее эффективен и широко применяется в литературе. На втором этапе в силу существенного влияния сжимаемости жидкости более эффективным оказывается численное интегрирование уравнений газовой динамики методом конечных разностей на эйлеровых сетках. При этом межфазные границы рассчитываются без явного выделения посредством численного решения уравнения переноса функции-идентификатора среды. Уравнения динамики идеального упруго-пластического тела третьего этапа рассчитываются методом

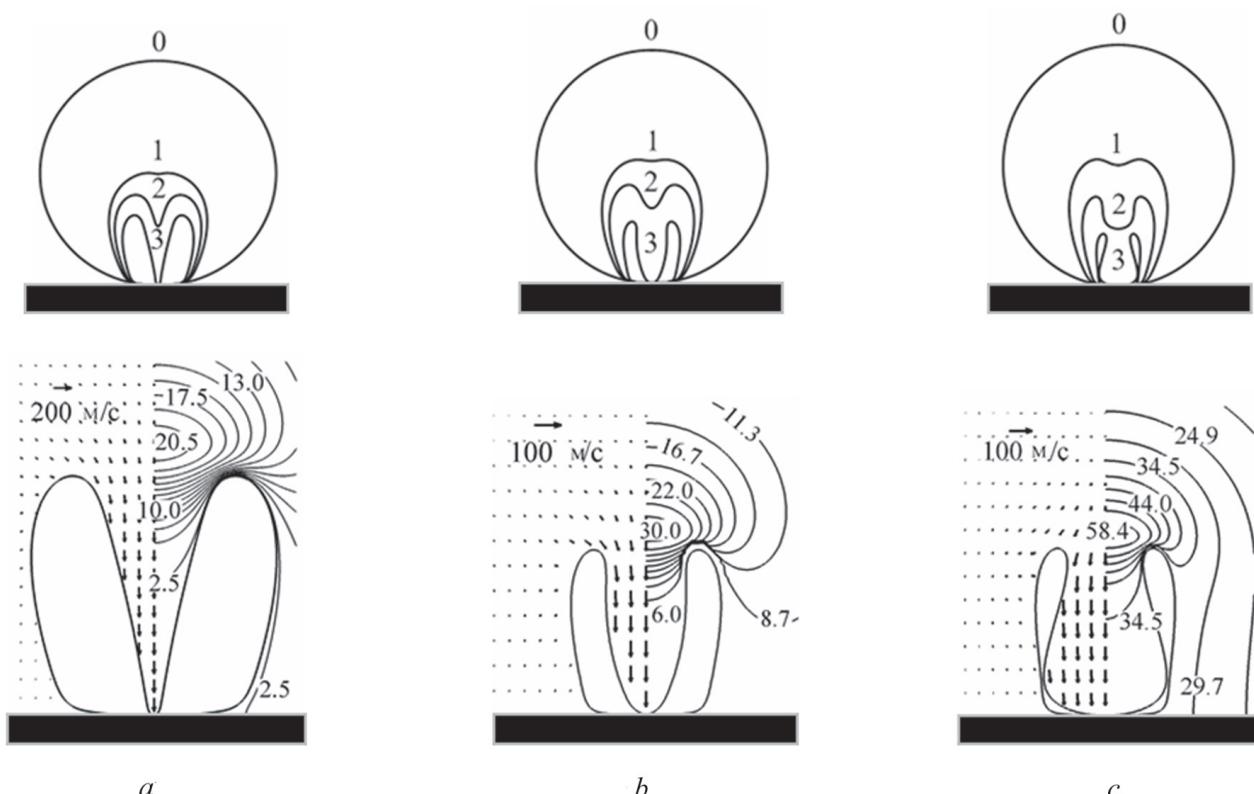


Рис. 3. Коллапс касающегося тела пузырька, имеющего в начале сжатия вид слегка приплощнутого сфероида (a), сферы (b) и вытянутого сфероида (c). Начальный средний радиус пузырька 1 мм. Изменение формы пузырька в осевом сечении в ходе коллапса (верхний ряд), фрагменты полей скорости и давления (в барах) (нижний ряд) в жидкости в момент касания струи жидкости поверхности тела. Тело закрашено черным цветом

С.К. Годунова. Оригинальность методики расчета динамики жидкости и парогазовой среды пузырька при его сжатии у стенки заключается в сочетании методов граничных элементов и конечных разностей. Обычно применяется один из них.

С применением модели и метода расчета первого этапа исследовано изменение полей давления и скорости жидкости, характеристик возникающей на поверхности пузырька кумулятивной струи жидкости в ходе низкоскоростной стадии сжатия кавитационного пузырька в зависимости от его начальной несферичности (рис. 3–4). Пузырек среднего радиуса 1 мм в начале сжатия касается тела, жидкостью является вода при комнатных условиях. Установлено, что по мере увеличения вытянутости сфероида вдоль оси симметрии, характеризуемой отношением $e = b / a$ его вертикальной полуоси b к горизонтальной a , средняя скорость конца струи в момент ее касания тела уменьшается от 580 до 100 м/с, ее

диаметр увеличивается от 30 до 330 мкм, давление в пузырьке в конце низкоскоростной стадии сжатия возрастает от 1 до 33 бар.

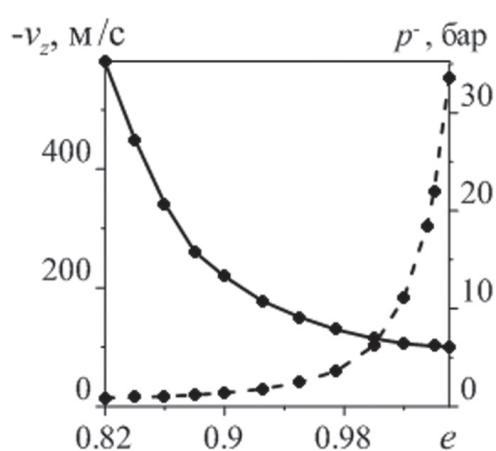


Рис. 4. Скорость конца кумулятивной струи жидкости v_z (сплошная кривая), возникающей при коллапсе пузырька, и давление в пузырьке p (штриховая кривая) в момент касания этой струи поверхности тела в зависимости от отношения полуосей e начальной сфероидальной формы пузырька

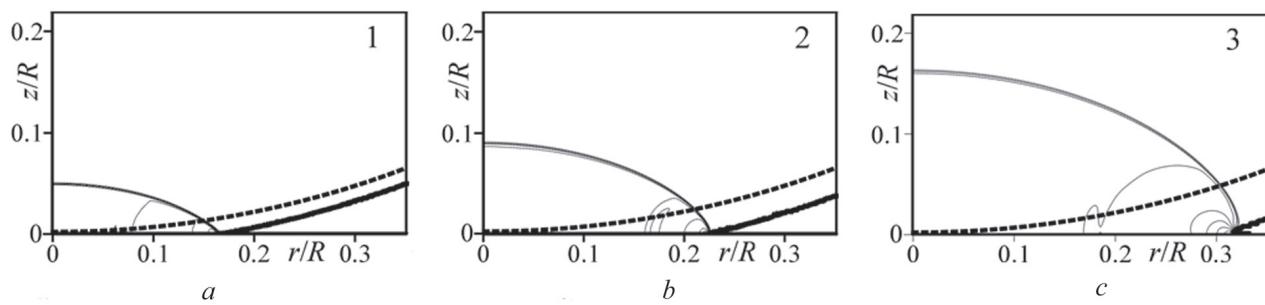


Рис. 5. Изолинии давления (тонкие сплошные линии) и поверхность пузырька (жирная штриховая линия – начальное положение, жирная сплошная линия – текущее положение) при импульсном воздействии на поверхность твердого тела цилиндрической струи жидкости (воды) с полусферическим концом в три последовательных момента времени 1–3 (a–c). Струя направлена вертикально вниз. Представлена половина осевого сечения

С применением модели и метода расчета второго этапа исследовано изменение полей давления (рис. 5) и скорости жидкости, а также давления на поверхности тела (рис. 6) в ходе ударного воздействия цилиндрической кумулятивной струи жидкости, возникающей на поверхности кавитационного пузырька в течение его низкоскоростной стадии сжатия. Конец струи принят полусферическим, скорость струи – 500 м/с, радиус – 20 мкм, давление – 1 бар. Процесс воздействия струи на тело во многом определяется возникающей в жидкости на поверхности тела ударной волной, распространяющейся вверх по струе. При этом сначала (до момента 2, рис. 5, b) боковая граница этой волны совпадает с границей расширяющейся области контакта струи и стенки тела. Затем в момент 2 боковая граница ударной волны отрывается от стенки

и распространяется вверх по боковой поверхности струи. В результате этого в пристеночной области на периферии области контакта возникает тонкая струйка цилиндрически расходящейся жидкости (рис. 5, c). Установлено, что в центре области контакта давление жидкости сначала резко возрастает до ~10 кбар, а затем плавно уменьшается. В области контакта давление жидкости возрастает от центра к периферии. Экстремальное значение давления на периферии этой области примерно в 2 раза превышает экстремум давления в ее центре, и достигается оно в узкой кольцевой области радиусом порядка 1/5 радиуса струи.

С применением модели и метода расчета третьего этапа исследованы особенности упруго-пластического деформирования тела из никелевого сплава при приложении к его поверхности нагрузки, характерной для удара кумулятивной струи жидкости, образующейся на поверхности примыкающего к телу кавитационного пузырька при его схлопывании. В качестве закона нагружения (рис. 7, a) взята аналитическая аппроксимация изменения давления на поверхности тела, полученного при численном решении задачи на втором этапе. Скорость струи – 100 м/с, радиус – 20 мкм, плотность материала тела – 8000 кг/м³, предел текучести Y_0 – 1250 бар, модуль упругости – 196 ГПа, коэффициент Пуассона – 0.3. Некоторые результаты расчетов приведены на рис. 7, b–d. Установлено, что по мере роста максимума нагрузки на периферии области воздействия интенсивность напряжений σ_i

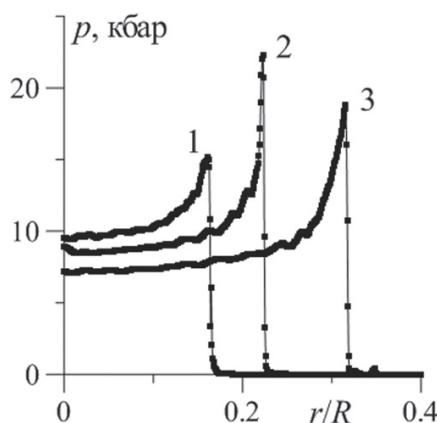


Рис. 6. Радиальные профили давления жидкости на поверхности твердого тела при ударном воздействии струи жидкости с полусферическим концом в три момента времени, приведенные на рис. 5

в приповерхностной области тела растет, ее значение достигает своего максимума – предела текучести Y_0 , со временем в теле появляются пластические деформации. На рис. 7, b–d зона, где величина интенсивности напряжений равна пределу текучести, затенена, ее граница обозначена жирной линией. Сначала эта зона в осевом сечении представляет собой узкую дугообразную полоску, простирающуюся от края нагруженной области поверхности тела до оси симметрии (рис. 7, b, c). Далее, с увеличением радиуса нагруженной области и ростом величины нагрузки до своего максимального значения (рис. 7, c) зона, где $\sigma_i = Y_0$, увеличивается. При этом ее внешняя граница совпадает с краем нагруженной области поверхности тела. Затем при уменьшении величины нагрузки эта зона отрывается от поверхности тела, отделяется от него и уменьшается в размерах

(рис. 7, d). Вскоре после момента 3 максимум интенсивности напряжений становится меньше предела текучести.

Из-за кратковременности процесса воздействия струи на тело неоднородность нагружения обычно игнорируют. Однако в таком случае пространственно-временные характеристики зоны, где интенсивность напряжений равна пределу текучести, оказываются несколько иными (рис. 8). В частности, без учета неоднородности нагружения эта зона возникает раньше, имеет большую толщину в окрестности оси симметрии и исчезает позже.

Более подробное изложение представленных в данной работе результатов можно найти в [16–26].

Работа выполнена при поддержке РФФИ (код проекта 12-01-00341-а).

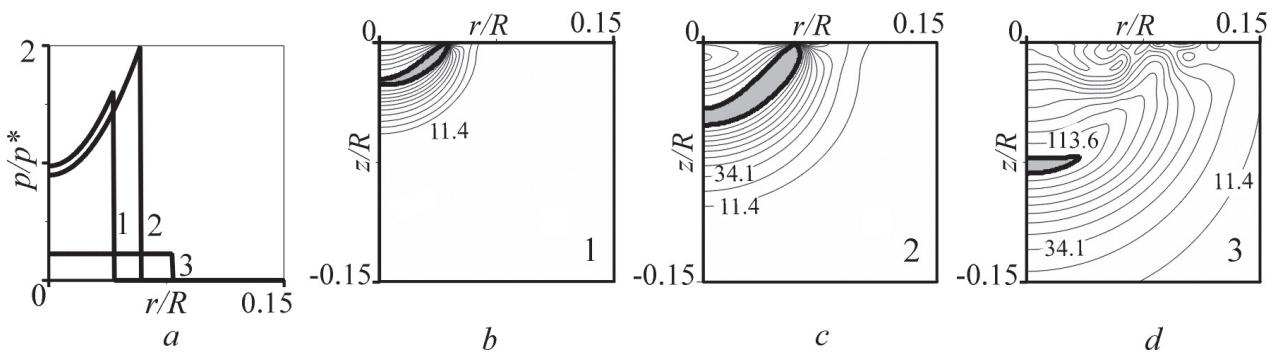


Рис. 7. Радиальные профили давления на поверхности тела (в три последовательных момента времени) с неоднородностью, характерной для ударного воздействия струи с полусферическим концом (a), и соответствующие поля интенсивности напряжений σ_i (в МПа) (b–d). Здесь R – радиус струи, p – давление на поверхности тела, $p^* \approx \rho_0 c_0 U$, ρ_0 – невозмущенные плотность и скорость звука в жидкости, U – скорость струи, r, z – радиальная и осевая координаты, σ_i – интенсивность напряжений. Жирными линиями показана граница зоны, где σ_i равно пределу текучести Y_0 .

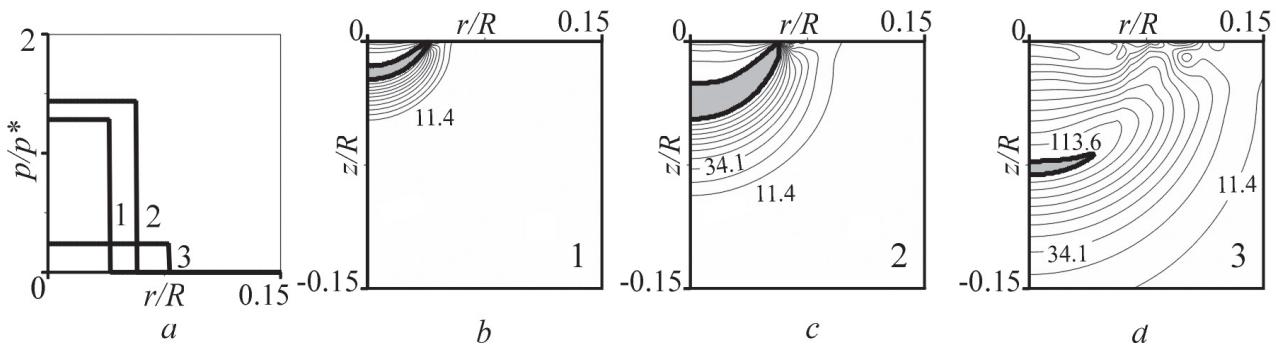


Рис. 8. То же, что на рис. 7, но без учета неоднородности радиальных профилей давления на поверхности тела

ЛИТЕРАТУРА

1. Parsons C.A., Cook S.S. Investigations into the causes of corrosion or erosion of propellers // J. of the American Society for Naval Engineers. 1919. Vol. 31. Issue 2. P. 536–541.
2. Terwissga T.J.C., Wijngaarden E., Bosschers J., Kuiper G. Cavitation research on ship propellers a review of achievements and challenges // Sixth International Symposium on Cavitation, 2006. Wageningen. The Netherlands. P. 1–14.
3. Preece C.M. Cavitation erosion // In: Preece CM (ed) Erosion. 1979. Academic Press. New York. P. 208–301.
4. Brennen C.E. Hydrodynamics of pumps. Oxford university press. 1994. 336 p.
5. Arndt R. E. A Cavitation in fluid machinery and hydraulic structures // Ann. Rev. Fluid Mech. 1981. 13. P. 273–328.
6. Brujan E.A., Nahen K., Schmidt P., Vogel A. Dynamics of laser-induced cavitation bubbles near an elastic boundary // J. Fluid Mech. 2001. 433. P. 251–281.
7. Kieser B., Phillion R., Smith S., McCartney T. The application of industrial scale ultrasonic cleaning to heat exchangers // Proceed of Int. Conf. on Heat exchanger fouling and cleaning. 2011. P. 336–338.
8. Мачалкин Ю.Н. Исследование и обоснование технологического процесса очистки деталей дизельной топливной аппаратуры моющим раствором в ультразвуковом поле: На примере распылителей форсунок: дис. ... к.т.н. М., 2003. 158 с.
9. Омельянюк М. В. Разработка технологии гидродинамической кавитационной очистки труб отложений при ремонте скважин: дис. ... к.т.н. Краснодар, 2004. 270 с.
10. Cleveland R.O., Mc. Ateer J.A. The physics of shock wave lithotripsy // A.D. Smith, G. Preminger, G. Badlani, L. Kavoussi (Eds.), Smith's Textbook on Endourology, Volume I, third ed. Wiley-Blackwell. 2012. P. 529–558.
11. Xi W.Q. Numerical simulation of violent bubble motion // Phys. Fluid. 2004. V. 16. P. 1610–1619.
12. Turangan C.K., Jamaluddin A.R., Ball G.J., Leighton T.G. Free-Lagrange simulations of the expansion and jetting collapse of air bubbles in water // J. Fluid. Mech. 2008. V. 598. P. 1–25.
13. Lauterborn W., Kurz T. Physics of bubble oscillations // Rep. Prog. Phys. 2010. V. 73. P. 106501–106587.
14. Field J.E., Camus J.J., Tinguley M., Obreschkow D., Farhat M. Cavitation in impacted drops and jets and the effect on erosion damage thresholds // Wear. 2012. 290-291. P. 154–160.
15. Tomita Y., Shima A. Mechanisms of impulsive pressure generation and damage pit formation by bubble collapse // J. Fluid. Mech. 1986. V. 169. P. 535–564.
16. Аганин А.А., Ильгамов М.А., Малахов В.Г., Халилова Т.Ф., Хисматуллина Н.А. Ударное воздействие кавитационного пузырька на упругое тело // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Физ.-матем. науки. 2011. Т. 153. Кн. 1. С. 131–146.
17. Косолапова Л.А., Малахов В.Г., Хисматуллина Н.А. Ударное воздействие кавитационного пузырька на упругое полупространство // Аналитическая механика, устойчивость и управление: тр. Х межд. Четаевской конф. Т. 2. Секция 2. Устойчивость. Казань: Изд-во Каз. гос. техн. ун-та, 2011. С. 294–304.
18. Аганин А.А., Ильгамов М.А. Кумуляция при сжатии кавитационных пузырьков в жидкости // Тр. Института механики им. Р.Р. Мавлютова УНЦ РАН. 2012. Вып. 9. Ч. I. Уфа: Нефтяное дело, 2012. С. 16–21.
19. Аганин А.А., Гусева Т.С. Численное моделирование контактного взаимодействия сжимаемых сред на эйлеровых сетках // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Физ.-матем. науки. 2012. Т. 154. Кн. 4. С. 74–99.
20. Аганин А.А., Хисматуллина Н.А. Расчет динамики тела при ударном воздействии кавитационного пузырька // Сеточные методы для краевых задач и приложения: мат-лы Девятой всеросс. конф. Казань: Отечество, 2012. С. 15–19.
21. Гусева Т.С. Численное моделирование воздействия кавитационного пузырька на жесткую стенку // Сеточные методы для краевых задач и приложения: сб. тр. Девятой всеросс. конф. Казань. 17–22 сентября 2012. С. 110–114.
22. Аганин А.А., Ильгамов М.А., Косолапова Л.А., Малахов В.Г. Схлопывание кавитационного пузырька в жидкости вблизи твердой стенки // Вестник Башкирского университета. 2013. Т. 18, вып. 1. С. 15–21.

23. Аганин А.А., Ильгамов М.А., Хисматуллина Н.А. Упруго-пластические деформации в теле при ударном воздействии кавитационного пузырька // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Физ.-матем. науки. 2013. Т. 155. Кн. 2. С. 151–166.
24. Гусева Т.С. Численное решение задач взаимодействия жидкости и газа на эйлеровых сетках без явного выделения контактных границ // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16, № 15. С. 135–140.
25. Аганин А.А., Гусева Т.С. Расчет ударных волн в переменных плотность, скорость, давление // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16, № 22. С. 104–109.
26. Аганин А.А., Гусева Т.С. Расчет контактного взаимодействия сжимаемых сред без явного выделения межфазных границ // Вестник Башкирского университета. 2013. Т. 18, № 3. С. 646–661.



MODELING OF CAVITATION BUBBLE IMPACT ON A BODY

© A.A. Aganin, T.S. Gyseva, L.A. Kosolapova, V.G. Malakhov, N.A. Khismatyllina

Institute of Mechanics and Engineering, Kazan Science Center, Russian Academy of Sciences,
Kazan, Russian Federation

A numerical technique for studying stresses and strains in the near-surface layer of a body as functions of cavitation bubble dynamics in its vicinity has been developed. Computation of shock-wave impact of a collapsing bubble on the near-surface layer of a body comprises three stages. Stage 1 is devoted to calculating variation of the liquid pressure and velocity fields as well as deformation of the bubble in the low speed phase of its collapse. This stage ends at the moment of contact of cumulative liquid jet arising on the bubble surface with the body wall (if the bubble directly touches the body) or with the part of the bubble surface nearest to the body (if there is a liquid layer between the bubble and the body). In stage 2, variation of the liquid pressure and velocity fields in the course of the following high-speed phase of the bubble collapse is determined. Stage 3 serves for computing variation of the stress and strain fields, yield zones in the near-surface layer of a body under the body surface pressure variation law calculated in the first two stages. A number of features of dynamics of the spheroidal bubble during its collapse near a rigid wall and influence of non-uniformity in load of the body surface under jet strike on the fields of stresses in the body, position and configuration of the zones with stress intensity at the yield level has been revealed.

Key words: cavitation, collapse of a bubble near a wall, cavitation damage, cavitation impact on a wall.

УДК 519.87

К 80-летию члена-корреспондента РАН М.А. Ильгамова

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ И ЗНАЧИМОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ МЕТОДАМИ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

© С.И. Спивак, О.Г. Кантор, Д.С. Юнусова

Рассматривается задача определения параметров линейных математических моделей по имеющимся экспериментальным данным, точное решение которых не удовлетворяет некоторым объективным условиям. В работе предложен метод получения приближенных решений, позволяющий осуществлять оценку величины погрешности измерений и их значимости, что, в свою очередь, предоставляет возможность совершенствовать исследования на стадии планирования экспериментов в части уточнения некоторых экспериментальных данных или их исключения из рассмотрения при непосредственном построении функциональных зависимостей. Приведены результаты апробации предлагаемого подхода.

Ключевые слова: задачи восстановления линейных зависимостей, погрешность измерений, значимость измерений.

Предметом рассмотрения в данной работе являются системы линейных алгебраических уравнений вида:

$$AX = B, \quad (1)$$

где $A = (a_{ij})$ и $B = (b_i)$ – экспериментальные данные ($i = 1, \dots, m$, $j = 1, \dots, n$), а $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ – искомые параметры модели.

К решению таких задач сводятся задачи восстановления линейных зависимостей по экспериментальным данным, возникающие при исследованиях в различных областях научной и практической деятельности. Точное решение системы (1) может не удовлетворять ограничениям модели или некоторым другим требованиям. В этой связи актуальным является определение приближенного решения таких систем и оценка величины погрешности измерений, под которой будем понимать расхождение значений расчетных и экспериментальных величин не в каждом отдельном наблюдении, а в целом по всей совокупнос-

ти наблюдений. В свою очередь это обуславливает необходимость изучения способов формализации таких задач.

Будем предполагать, что на параметры модели X наложены условия неотрицательности:

$$X \geq 0. \quad (2)$$

Достаточно часто на значения параметров накладываются ограничения, выражающие их принадлежность какому-либо множеству значений, поэтому будем считать, что параметры модели также удовлетворяют системе ограничений:

$$CX \geq D, \quad (3)$$

где $C = (c_{lj})$ – это матрица, состоящая из коэффициентов при параметрах модели в системе ограничений ($l = 1, \dots, k$, $j = 1, \dots, n$), а $D = (d_l)$ – концы промежутков значений, которым принадлежат параметры модели ($l = 1, \dots, k$).

СПИВАК Семен Израилевич – д.ф.-м.н., Институт нефтехимии и катализа Уфимского научного центра РАН, e-mail: semen.spivak@mail.ru

КАНТОР Ольга Геннадиевна – к.ф.-м.н., Институт социально-экономических исследований Уфимского научного центра РАН, e-mail: o_kantor@mail.ru

ЮНУСОВА Дарья Сергеевна, Башкирский государственный университет, e-mail: kazakova_d_s@mail.ru

Тогда задача определения приближенного решения системы (1) с учетом ограничений (2) и (3) может быть сведена к задаче линейного программирования:

$$\begin{aligned} \varepsilon &\rightarrow \min \\ |AX - B| &\leq \varepsilon \\ CX &\geq D \\ X &\geq 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь ε – параметр, характеризующий величину погрешности измерений.

В результате решения задачи (4) должны быть определены параметры модели, удовлетворяющие требуемым ограничениям и величина погрешности измерений.

Отметим, что матрицы A и B формируются по результатам наблюдений, а потому не могут рассматриваться как абсолютно точные, так как результаты их измерений неминуемо сопряжены с некоторыми ошибками, которые приводят к отклонениям измеряемых значений величин A и B от их истинных значений.

В случае предполагаемых ошибок в матрице B , различных для каждого отдельного измерения $i = 1, \dots, m$, задача определения параметров модели, обеспечивающих минимальное отклонение от экспериментальных величин (b_i) может быть сведена к задаче линейного программирования:

$$\begin{aligned} \varepsilon &\rightarrow \min \\ AX &= \Delta B \\ CX &\geq D \\ X &\geq 0 \\ |\delta_i - 1| &\leq \varepsilon, \quad \forall i = 1, \dots, m. \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь ε – это величина погрешности измерений, а Δ – диагональная матрица, на главной диагонали которой стоят элементы δ_i ($i = 1, \dots, m$) – неизвестные величины, отождествляемые с параметрами, характеризующими ошибки в измерениях элементов матрицы B . Величины ε и δ_i связаны очевидным соотношением: $\varepsilon = \max_i |\delta_i - 1|$.

В случае предполагаемых ошибок в каждом элементе матрицы A задача (1) может быть formalизована в следующем виде:

$$\begin{aligned} \varepsilon &\rightarrow \min \\ A'X &= B \\ CX &\geq D \\ X &\geq 0 \\ |\gamma_{ij} - 1| &\leq \varepsilon, \quad \forall i = 1, \dots, m, \quad \forall j = 1, \dots, n. \end{aligned} \quad (6)$$

Здесь матрица $A' = (\gamma_{ij} a_{ij})$ ($i = 1, \dots, m$, $j = 1, \dots, n$).

Задача (6) является нелинейной, поскольку в выражении $A'X = B$ элементы вектора X – неизвестные величины, а A' – матрица, которая зависит от $m \times n$ неизвестных величин. Данное обстоятельство создает существенные проблемы для численной реализации модели (6) и не является предметом рассмотрения данной работы. Вместе с тем относительно элементов матрицы A может быть известна информация, которая позволит упростить процесс получения решения, например, при наличии индивидуальных систематических ошибок при измерении каждой из наблюдавших величин или индивидуальных ошибок каждого отдельного наблюдения. Первая из перечисленных выше ситуаций отражается в пропорциональных изменениях всех элементов каждого из столбцов ($A' = A\Gamma$, $\Gamma = (\gamma_{jj})$, $j = 1, \dots, n$), что никак не отражается на погрешности измерений ε , а влияет только на параметры X , а вторая – строк ($A' = \Gamma A$, $\Gamma = (\gamma_{ii})$, $i = 1, \dots, m$), что сводит задачу определения неизвестных параметров к задаче (5).

Важное практическое значение имеет оценка влияния погрешности экспериментальных данных модели на погрешность измерений ε [1], что позволяет осуществлять анализ информационной ценности измерений и, как следствие, выявлять те, которые следует рассматривать как наиболее недостоверные или значимые и пр. Результатами такого анализа могут быть, например, выводы о необходимости, при наличии соответствующих возможностей, уточнения некоторых экспериментальных данных или рекомендации об их исключении из рассмотрения при непосредственном построении функциональных зависимостей.

Известно, что при решении задач линейного программирования для этих целей ис-

пользуется теория двойственности [2]. Применительно к исследуемой в настоящей работе проблеме решение соответствующих двойственных задач позволит оценить влияние элементов матрицы экспериментальных данных B и матрицы ограничений на параметры модели D в прямых задачах линейного программирования на величину минимального значения погрешности измерений ε . Двойственная задача для задачи линейного программирования (4) имеет вид:

$$\begin{aligned} & (B, y^1) - (B, y^2) + (D, y^3) \rightarrow \max \\ & A^T y^1 - A^T y^2 + C^T y^3 \leq 0 \\ & \sum_{i=1}^m y_i^1 + \sum_{i=1}^m y_i^2 \leq 1 \\ & y^1 \geq 0, \quad y^2 \geq 0, \quad y^3 \geq 0. \end{aligned} \tag{7}$$

Здесь $y^1 = (y_i^1)$, $y^2 = (y_i^2)$ ($i = 1, \dots, m$), $y^3 = (y_l^3)$ ($l = 1, \dots, k$) – векторы оптимального решения двойственной задачи.

Заметим, что в задаче (4) для оценки степени влияния i -го соотношения из системы неравенств $|AX - B| \leq \varepsilon$ на значение погрешности измерений ε необходимо рассмотреть соответствующие компоненты векторов y^1 и y^2 , являющихся решением задачи (7), и выбрать из них максимальный.

Аналогичным образом может быть выписана двойственная задача для задачи линейного программирования (5).

Описанный выше подход использовался при решении задачи нахождения распределения мольных долей фрагментов фуллерена в макроцепях полимеров [3], которая сводится к решению квадратной системы линейных алгебраических уравнений (1). Элементами квадратной матрицы A являются молярные экстинции ядер несвязанного фуллерена, и ядер, ковалентно связанных одной, двумя и n -связями с макроцепями соответственно, а в роли B – коэффициенты поглощения одного моля фуллереновых фрагментов. Искомые параметры X – это содержание фуллеренов в макроцепях полимеров.

Для этой задачи матрицы A и B имеют вид:

$$A = \begin{pmatrix} 54000 & 30800 & 35800 & 28500 & 30900 \\ 30900 & 22800 & 28300 & 27900 & 28800 \\ 19600 & 21000 & 21800 & 18500 & 16050 \\ 50500 & 24370 & 17630 & 15070 & 11800 \\ 60780 & 24150 & 15350 & 13000 & 11700 \end{pmatrix};$$

$$B = \begin{pmatrix} 2,453 \\ 2,001 \\ 1,475 \\ 1,435 \\ 1,408 \end{pmatrix}.$$

Решение, полученное методом обратной матрицы, следующее:

$$X = \left(5,067 \cdot 10^{-7}; 3,554 \cdot 10^{-5}; 1,211 \cdot 10^{-5}; -3,096 \cdot 10^{-6}; 3,19 \cdot 10^{-5} \right)^T.$$

Такое решение не имеет смысла, так как не все элементы вектора X неотрицательны. Поэтому определялось приближенное решение посредством сведения исходной проблемы к задаче линейного программирования вида (4):

$$\begin{aligned} & \varepsilon \rightarrow \min \\ & |AX - B| \leq \varepsilon \\ & X \geq 0. \end{aligned} \tag{8}$$

Решение задачи (8): $X = (9,504 \cdot 10^{-7}; 3,333 \cdot 10^{-5}; 1,274 \cdot 10^{-5}; 0; 2,964 \cdot 10^{-5})^T$, параметр ε , характеризующий величину погрешности измерений, в этом случае равен: $\varepsilon = 0,002786$. Решение двойственной к ней задачи (см. модель (7)):

$$\begin{aligned} & y^1 = (0,044; 0; 0,177; 0; 0,284)^T, \\ & y^2 = (0; 0,098; 0; 0,397; 0)^T. \end{aligned}$$

Компоненты решения двойственной задачи показывают, что наибольший вклад в значение погрешности измерений ε в задаче (8) вносит четвертый элемент матрицы B , а наименьший – первый.

В случае предполагаемых ошибок в матрице B рассматривалась задача линейного программирования вида (5):

$$\begin{aligned} \varepsilon &\rightarrow \min \\ AX &= \Delta B \\ X &\geq 0 \\ |\delta_i - 1| &\leq \varepsilon, \quad \forall i = 1, \dots, 5. \end{aligned} \quad (9)$$

Решение задачи (9): $X = (1,031 \cdot 10^{-6}; 3,301 \cdot 10^{-5}; 1,379 \cdot 10^{-5}; 0; 2,859 \cdot 10^{-5})^T$. Параметры, характеризующие ошибки в экспериментальных данных, равны: $\delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = \delta_5 = 0,9986$; $\delta_4 = 1,0014$.

Погрешность измерений в этом случае равна: $\varepsilon = 0,001396$ или $\varepsilon = 0,1396\%$. Решение двойственной к ней задачи:

$$\begin{aligned} y^1 &= (0,029; -0,064; 0,115; -0,259; 0,109)^T, \\ y^2 &= (0; 0,128; 0; 0,371; 0)^T, \\ y^3 &= (0,07; 0; 0,169; 0; 0,261)^T. \end{aligned}$$

Полученное решение также показывает, что наибольший вклад в значение погрешности измерений ε в задаче (9) определяется погрешностью четвертого элемента матрицы B , а наименьший – первым. Из этого следует, что наименее достоверным следует полагать измерение величины B в четвертом эксперименте.

Аналогичный подход был применен для определения степени влияния погрешностей наблюдаемых величин на погрешность измерения при решении задачи моделирования численности населения Российской Федерации методом системной динамики [4–7]. Общий вид исследованной модели системной динамики следующий:

$$\begin{aligned} \frac{dN}{dt} &= a_1 N^{\alpha_1} D^{\beta_1} I^{\gamma_1} - a_2 N^{\alpha_2} D^{\beta_2} I^{\gamma_2} \\ \frac{dD}{dt} &= a_3 N^{\alpha_3} D^{\beta_3} I^{\gamma_3} - a_4 N^{\alpha_4} D^{\beta_4} I^{\gamma_4} \\ \frac{dI}{dt} &= a_5 N^{\alpha_5} D^{\beta_5} I^{\gamma_5} - a_6 N^{\alpha_6} D^{\beta_6} I^{\gamma_6}, \end{aligned} \quad (10)$$

где N – численность населения РФ; D – душевые доходы за год; I – индекс потребитель-

ских цен. Информационную базу исследования составили данные официальной статистической отчетности за период с 1998 по 2009 гг.

По результатам специально организованного численного эксперимента была получена модель следующего вида:

$$\begin{aligned} \frac{dN}{dt} &= 8,139 \cdot 10^{-22} \cdot \frac{N^{0,05} \cdot D^2}{I^2} - 64,01 \cdot \frac{N^{0,33} \cdot D^{0,3}}{I^{0,3}} \\ \frac{dD}{dt} &= 560 \cdot D^{0,35} - 9900 \cdot I \quad (11) \\ \frac{dI}{dt} &= 0,131 \cdot I^{-0,4} - 0,0072 \cdot \frac{N^{0,092} \cdot D^{0,092}}{I^{0,092}}. \end{aligned}$$

Модель (11) с достаточно высокой точностью описывает экспериментальные данные, о чем свидетельствуют низкие значения средних ошибок аппроксимации для каждого из уравнений модели: $A_N = 0,13\%$, $A_D = 3,33\%$, $A_I = 5,86\%$.

Вместе с тем, как показывает практика использования статистической информации, исходные данные для модели (10) нельзя рассматривать как абсолютно точные. Это обусловлено рядом причин объективного характера: запаздывание сбора и обработки данных, неточности (а иногда и умышленные искажения) предоставляемой информации, аккумулируемой органами статистики, и пр. В этой связи, несмотря на хорошую точность построенной модели, целесообразной является оценка значимости имеющихся экспериментальных данных. И одним из возможных способов реализации этого является описанный в настоящей работе подход.

Ниже приводится описание его применения для первого уравнения модели (10). Для этого потребовалось осуществить линеаризацию данного уравнения, для чего было использовано разложение в ряд Тейлора с центром в точке $\{a_i^0, \alpha_i = 0, \beta_i = 0, \gamma_i = 0\}$, $i = \overline{1, 2}$:

$$\begin{aligned} \Delta N &\approx a_1 + a_1^0 \cdot \ln N \cdot \alpha_1 + a_1^0 \cdot \ln D \cdot \beta_1 + \\ &+ a_1^0 \cdot \ln I \cdot \gamma_1 - a_2 - a_2^0 \cdot \ln N \cdot \alpha_2 - \quad (12) \\ &- a_2^0 \cdot \ln D \cdot \beta_2 - a_2^0 \cdot \ln I \cdot \gamma_2. \end{aligned}$$

Были введены следующие обозначения:
 $x_1 = a_1$, $x_2 = a_2$, $x_3 = \alpha_1$, $x_4 = \alpha_2$, $x_5 = \beta_1$,
 $x_6 = \beta_2$, $x_7 = \gamma_1$, $x_8 = \gamma_2$. На основании исходной информации для определения параметров $\{a_i, \alpha_i, \beta_i, \gamma_i\}, i = \overline{1, 2}$ были сформированы матрицы A и B :

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1,88 & 0,69 & 0,00 & -1 & 1128,7 & 415,1 & 0,0 \\ 1 & 1,88 & 0,74 & -0,03 & -1 & 1128,6 & 444,8 & -18,7 \\ 1 & 1,88 & 0,77 & -0,02 & -1 & 1128,3 & 463,9 & -11,0 \\ 1 & 1,88 & 0,80 & -0,02 & -1 & 1128,1 & 481,6 & -10,2 \\ 1 & 1,88 & 0,83 & -0,01 & -1 & 1127,8 & 496,8 & -8,4 \\ 1 & 1,88 & 0,86 & -0,01 & -1 & 1127,5 & 513,0 & -6,8 \\ 1 & 1,88 & 0,88 & -0,01 & -1 & 1127,2 & 525,9 & -6,6 \\ 1 & 1,88 & 0,90 & -0,01 & -1 & 1126,9 & 540,1 & -6,2 \\ 1 & 1,88 & 0,92 & -0,01 & -1 & 1126,6 & 553,8 & -5,2 \\ 1 & 1,88 & 0,94 & -0,01 & -1 & 1126,4 & 566,5 & -6,7 \\ 1 & 1,88 & 0,96 & -0,01 & -1 & 1126,3 & 576,7 & -7,5 \\ 1 & 1,88 & 0,97 & -0,01 & -1 & 1126,3 & 584,5 & -5,1 \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} -262647,1 \\ -649238,1 \\ -586457,1 \\ -654217,1 \\ -685624,1 \\ -795385,1 \\ -693926,1 \\ -720608,1 \\ -532523,1 \\ -212070,1 \\ -104799,1 \\ 10589,9 \end{pmatrix}$$

С учетом всех необходимых требований к параметрам модели, задача определения приближенного значения параметров модели была formalизована в следующем виде:

$$\begin{aligned} \varepsilon &\rightarrow \min \\ |AX - B| &\leq \varepsilon \\ 0 \leq x_1 &\leq 3 \\ 1,948 \leq x_2 &\leq 2,050 \\ -14151439,74 \leq x_1 - x_5 &\leq 23,4 \quad (13) \\ 0 \leq x_6 &\leq 1 \\ 0 \leq x_p &\leq 5, p = 3, 4, 7, 8 \\ x_5 &\geq 0. \end{aligned}$$

Решение задачи (13): $X = (0; 1,948; 5; 5; 395119,963; 0; 5; 5)^T$, погрешность измерений $\varepsilon = 402804,23$, решение двойственной к ней (см. модель (7)):

$$y^1 = (0; 0; 0; 0; 0; 0,5; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0)^T,$$

$$y^2 = (0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0,5)^T,$$

$$y^3 = (0; 0; 0,001; 0,0595; 0,0015; 0; 3,5724; 0,87; 0; 0)^T$$

Полученные результаты позволили сделать вывод о том, что погрешность измерений в большей степени определяется верхним ограничением на переменную x_7 ($y_7^3 = 3,5724$), в меньшей 6-м и 12-м элементами матрицы B ($y_6^1 = 0,5$ и $y_{12}^2 = 0,5$), верхними ограничениями на переменные x_4 , x_5 , x_8 ($y_4^3 = 0,0595$, $y_5^3 = 0,0015$, $y_8^3 = 0,87$) и нижним ограничением на переменную x_3 ($y_3^3 = 0,001$). Данная информация может быть использована при планировании дальнейших экспериментов с исследуемой моделью. При этом должен соблюдаться следующий принцип: в каждом последующем эксперименте информативность новых измерений должна быть не менее значима, что должно отражаться при формировании соответствующих условий. Так, например, сужение диапазонов значений переменных x_4 , x_5 , x_7 , x_8 целесообразно проводить за счет увеличения нижних границ, а переменной x_3 – верхней.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-01-00749 «Качество моделей математической обработки наблюдений в социальных и экономических системах»).

ЛИТЕРАТУРА

- Спивак С.И., Тимошенко В.И., Слинько М.Г. Методы построения кинетических моделей стационарных реакций // Химическая промышленность. 1979. № 3. С. 33–36.
- Канторович Л.В., Горстко А.Б. Оптимальные решения в экономике. М.: Наука, 1972. 231 с.

3. Кузнецов С.И., Юмагулова Р.Х., Медведева Н.А., Хамидуллин Ф.Ф., Колесов С.В. Фуллерен-содержащие полимеры. Уф-спектроскопическое исследование // Высокомолекулярные соединения. Серия А. 2012. Т. 54, № 6. С. 859–864.
4. Спивак С.И., Кантор О.Г. Оценка качества спецификации моделей системной динамики // Журнал СВМО. 2012. Т. 14, № 2. С. 34–39.
5. Спивак С.И., Кантор О.Г. Оценка параметров моделей системной динамики // Журнал СВМО. 2011. Т. 13, № 3. С. 107–113.
6. Спивак С.И., Кантор О.Г., Салахов И.Р. Алгоритм получения прогнозируемых параметров социально-экономических систем // Системы управления и информационные технологии. 2013. № 4(54). С. 43–45.
7. Спивак С.И., Кантор О.Г., Салахов И.Р. Вычислительная реализация оценки управляющих параметров модели системной динамики // Вестник Башкирского университета. 2012. Т. 17, № 4. С. 1658–1660.

**ERROR ESTIMATES AND SIGNIFICANCE MEASURED
BY LINEAR PROGRAMMING**

© S.I. Spivak¹, O.G. Kantor², D.S. Yunusova³

¹Institute of Petrochemistry and Catalysis, Ufa Science, Ufa, Russian Federation

²Institute of Social and Economic Research, Ufa Science, Ufa, Russian Federation

³Bashkir State University, Ufa, Russian Federation

The problem of determining the parameters of linear mathematical models of the available experimental data, which has not an exact solution satisfies certain objective conditions, is shown. A method to obtain approximate solutions is represented in this paper. It allows to obtain estimates of the measurement errors and their significance. Also it provides an opportunity to improve research in the planning stage of the experiments in clarifying some of the experimental data or their exclusion from consideration in the direct construction of functional dependencies. Results of testing the proposed approach are given.

Key words: linear dependency recovery problems, measurement error, the significance of the measurements.

УДК 502.75

Посвящается 80-летию
Марата Аксановича Ильгамова – активного
сторонника сохранения шиханов

К ХАРАКТЕРИСТИКЕ ФЛОРЫ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ ШИХАНОВ ТРА-ТАУ И ЮРАК-ТАУ

© А.А. Мулдашев, В.Б. Мартыненко

Приводится информация об особенностях флоры и растительности уникальных палеорифов – шиханов Тра-тау и Юрак-тау, которые являются памятниками природы Республики Башкортостан (РБ). Кратко освещена история изучения флоры и растительности шиханов. Флора горы Тра-тау на сегодня включает 402 вида высших сосудистых растений, относящихся к 60 родам, список флоры горы Юрак-тау включает 366 видов, относящихся к 58 родам. Несмотря на то что горы располагаются на относительно недалеком расстоянии друг от друга и обладают сходными природными комплексами, имеется ряд существенных различий по составу видов. При сравнении флоры этих гор выявлено 286 общих вида.

На Тра-тау и Юрак-тау обнаружено произрастание 17 видов из Красной книги РБ, 9 из которых занесены в Красную книгу России. Причем популяции некоторых из них насчитывают десятки и сотни тысяч особей. Кроме того, на Тра-тау произрастают популяции 12 реликтовых и 21 эндемичных видов высших сосудистых растений, а на Юрак-тау – 10 и 15 соответственно.

Растительный покров шиханов Тра-тау и Юрак-тау существенно отличается от общей растительности района, он обладает высокой мозаичностью и обусловлен характером рельефа, экспозицией склонов и степенью развитости почв. В целом преобладают различные варианты степей и лугово-степей. На круtyх склонах с выходом плитняка, на неразвитых почвах распространены сообщества гиперпетрофитных степей. В нижней части распространены закустаренные степи и оステненные луга. Северные склоны покрыты типичными неморальными широколиственными лесами. На шиханах встречаются эндемичные типы растительных сообществ, аналогов которых в РБ нет.

Ключевые слова: шиханы Тра-тау и Юрак-тау, памятники природы, редкие виды растений.

Введение. К числу наиболее значимых объектов с богатым биоразнообразием в Южно-Уральском регионе следует отнести уникальные палеорифы – шиханы Тра-тау и Юрак-тау, которые являются памятниками природы Республики Башкортостан.

По данным геологов образование шиханов началось около 300 млн лет назад и происходило на протяжении 40–50 млн лет, когда на территории современного Башкортостана было море. Образовывались они в результате деятельности большой группы орга-

низмов, которые извлекали из морской воды кальций и создавали известняк [1–2].

На сегодняшний день стерлитамакская группа шиханов является небольшой частью грандиозной системы древних рифовых массивов, которая прослеживается от Прикаспия до Северного Ледовитого океана. Особенностью Стерлитамакских шиханов является то, что в результате тектонических движений более 20 млн лет назад они были выдвинуты на дневную поверхность, в то время как на остальном пространстве рифы или плохо об-

МУЛДАШЕВ Альберт Акрамович – к.б.н., Институт биологии Уфимского научного центра РАН,
e-mail: muldashev_ural@mail.ru

МАРТЫНЕНКО Василий Борисович – д.б.н., Институт биологии Уфимского научного центра РАН,
e-mail: Vasmar@anrb.ru

нажены или перекрыты большой толщей более молодых отложений [1–2].

Стерлитамакская группа шиханов представлена четырьмя горами-останцами: Тра-тау (Торатай), Юрак-тау, Куш-тау и Шах-тау (ныне уже не существует, так как разработан).

Гора Тра-тау расположена в Ишимбайском районе РБ. Имеет абсолютную высоту – 402 м над ур. м. и относительную – 270 м (от уровня реки Белой). Длина – 1200 м, ширина – 800 м. Форма конусовидная. Площадь проекции горы составляет около 42 га. Постановлением Совета Министров Башкирской АССР № 465 от 17 августа 1965 г. «Об охране памятников природы Башкирской АССР» гора Тра-тау учреждена как памятник природы под названием «Гора Тра-Тау». Памятник был организован с целью охраны всех природных комплексов (горы-останца, растительности и флоры), поэтому в постановлении он указан как «комплексный» [3].

Гора Юрак-тау расположена в Стерлитамакском районе РБ, в 2,2 км к западу от д. Юрактау. Абсолютная высота – 338,4 м над ур. м., относительная (от уровня прилегающих стариц реки Белой) – около 216 м. Длина – 2200 м, ширина – 1800 м. Форма коническая, склоны каменистые крутые, западный – скалистый, обрывистый. Площадь проекции горы Юрак-тау составляет около 64 га. Постановлением Совета Министров Башкирской АССР 26.12.1985 г. за № 212 «Об охране дикорастущих растений на территории Башкирской АССР» учреждена как памятник природы «Гора Юрак-Тау». Памятник природы изначально был выделен как ботанический, по охране «всей растительности», в настоящее время он является комплексным. На Юрак-тау обнажен один из лучших разрезов нижней перми. Под восточным склоном располагается уникальное сфагновое болото в карстовой воронке [3].

Краткая история изучения флоры и растительности шиханов. Шиханы всегда привлекали внимание путешественников, геологов и ботаников. Первое упоминание о Стерлитамакских шиханах в научной литерату

туре встречается в 1762 г. у П.И. Рычкова [4]. Он привел общие сведения о них, в частности, отметил безлесность гор Тра-тау и Юрак-тау. Впервые из исследователей в 1770 г. на шихан Тра-тау поднимался И.И. Лепехин [5] – участник академической экспедиции на Урал и Сибирь. Он дал общее геоморфологическое описание горы и указал на произрастание на вершине можжевельника казацкого.

В 1892 г. флору г. Тра-тау исследовали московские ботаники Б.А. и О.А. Федченко [6]. В 1900 г. бывший Стерлитамакский уезд посетил известный русский ботаник В.И. Талиев, который наряду с другими пунктами обследовал горы Шах-тау и Тра-тау. Большой интерес представляют данные по шихану Шах-тау, о былой флоре которого можно судить по гербарным сборам и публикации В.И. Талиева [7].

Большую концентрацию эндемиков на Стерлитамакских шиханах отмечал самый крупный исследователь и знаток флоры и растительности Урала П.Л. Горчаковский [8]. После 60-х г. XX в. на горах Тра-тау и Юрак-тау исследования преимущественно проводили сотрудники Института биологии УНЦ РАН.

Екатеринбургский систематик М.С. Князев с г. Юрак-тау описал новый для науки узкоэндемичный вид – клаусия агидельская (*Clausia agydeliensis* Knjasev) [9], а в 2001 г. он же описал новый вид под названием остролодочник башкирский (*Oxytropis baschkiriensis* Knjasev) [10]. Этот вид в РБ встречается не более чем в 10 пунктах, в том числе на г. Тра-тау. В результате горных разработок была полностью уничтожена популяция этого вида на г. Шах-тау (сохранились гербарные сборы 1942 г. эвакуированных украинских ботаников).

Некоторые сведения о растительности гор Тра-тау и Юрак-тау встречаются в работе Е.С. Смирновой [11]. Она привела основные растительные сообщества и отметила закономерности их распределения в зависимости от экспозиции и крутизны склонов.

В 2007 г. и в последующие годы растительность гор Тра-тау и Юрак-тау изучалась в ходе экспедиций лаборатории геоботаники и охраны растительности Института биологии

УНЦ РАН с целью ее классификации с использованием современных подходов.

Характеристика флоры шиханов. Список флоры г. Тра-тау на сегодня включает 402 вида высших сосудистых растений, относящихся к 60 родам, что составляет около 23% от общего числа видов флоры РБ. Список флоры г. Юрак-тау включает 366 видов, относящихся к 58 родам, что составляет около 22% от общего числа видов флоры РБ.

Несмотря на то что горы располагаются на относительно недалеком расстоянии друг от друга и обладают сходными природными комплексами, имеется ряд существенных различий по составу видов. При сравнении флоры этих гор выявлено 286 общих вида. Это означает, что на г. Тра-тау произрастает 118 видов, которых нет на г. Юрак-тау, и, наоборот, – на г. Юрак-тау произрастает 82 вида, которых нет на г. Тра-тау.

Учитывая то, что на столь небольшой площади каждой горы встречается почти четверть флоры РБ, ее следует признать чрезвычайно богатой и уникальной. Для сравнения отметим, что на территории горного массива Иремель, имеющего площадь более 5000 га и варьирование высот более 300 м, произрастает 370 видов высших сосудистых

растений. Флора Южно-Уральского государственного природного заповедника (площадью 252 тыс. га) включает 698 видов, природного парка «Мурадымовское ущелье» (площадь 23,6 тыс. га) – 502 вида, Башкирского государственного заповедника (площадь 49,6 тыс. га) – около 700 видов. На всех шиханах, включая и разработанную гору Шахтау, отмечено около 510 видов растений.

Всего на шиханах Тра-тау и Юрак-тау произрастает более 40 высших сосудистых вида, относимых к редким растениям Урала и Приуралья [12–13]. Из них 17 видов включены в Красную книгу РБ [14] и 8 видов – в Красную книгу России [15], то есть имеют государственную охрану.

Во флоре г. Тра-тау выявлено 12 реликтовых видов, из которых 3 вида являются доледниковыми (плиоценовые), а остальные реликты проникли на Южный Урал в плейстоцене и на ранних стадиях голоцене (табл. 1). На г. Юрак-тау произрастает 10 реликтовых видов, из которых 2 вида являются доледниковыми (плиоценовые).

Во флоре г. Тра-тау выявлен 21 эндемичный вид. Из них бедренец разрезаннолистный является узколокальным эндемиком и встречается только на г. Тра-тау (табл. 2). Во флоре г. Юрак-тау выявлено 15 эндемичных

Таблица 1

Реликтовые виды во флорах шиханов Тра-тау и Юрак-тау

Виды	Тра-тау	Юрак-тау
Неморальные (плиоценовые) реликты европейского происхождения		
<i>Festuca altissima</i>	+	–
<i>Geranium robertianum</i>	+	+
<i>Campanula trachelium</i>	+	+
Плейстоценовые скальные и горно-степные реликты сибирского происхождения		
<i>Carex pediformis</i>	+	+
<i>Allium rubens</i>	+	+
<i>Orostachys spinosa</i>	+	+
<i>Alyssum lenense</i>	+	+
<i>Thalictrum foetidum</i>	+	+
<i>Artemisia santolinifolia</i>	+	+
Плейстоценовые лесные и луговые реликты сибирского происхождения		
<i>Geranium pseudosibiricum</i>	+	–
<i>Artemisia sericea</i>	+	+
Плейстоценовые скальные реликты европейского происхождения		
<i>Schizereckia hyperborea</i>	+	+

видов, из которых 12 видов являются эндемиками с широким ареалом («субэндемики»).

Таблица 2

*Эндемичные виды во флорах шиханов
Тра-тау и Юрак-тау*

Вид	Тра-тау	Юрак-тау
<i>Koeleria sclerophylla</i>	+	+
<i>Dianthus acicularis</i>	+	+
<i>Minuartia krascheninnikovii</i>	+	—
<i>Otites baschkirorum</i>	+	+
<i>Aconitum nemorosum</i>	+	+
<i>Clausia agydeilensis</i>	+	+
<i>Astragalus helmii</i>	+	+
<i>Astragalus wolgensis</i>	+	—
<i>Hedysarum grandiflorum</i>	+	+
<i>Lathyrus litvinovii</i>	+	+
<i>Oxytropis baschkiriensis</i>	+	—
<i>Oxytropis spicata</i>	+	—
<i>Linum uralense</i>	+	—
<i>Pimpinella tomyophilla</i>	+	—
<i>Thymus cimicinus</i>	+	+
<i>T. punctulosus</i>	+	+
<i>Thymus talijevii</i>	+	+
<i>Pedicularis uralensis</i>	+	+
<i>Asperula petraea</i>	+	+
<i>Serratula gmelinii</i>	+	+
<i>Tanacetum uralense</i>	+	+

Узколокальными эндемиками являются 3, их ареал в основном ограничен Южным Уралом и Башкирским Предуральем.

По данным последних учетов, проведенных группой специалистов лаборатории геоботаники и охраны растительности Института биологии УНЦ РАН и лаборатории дикорастущей флоры и интродукции травянистых растений Ботанического сада-института УНЦ РАН, на шиханах Тра-тау и Юрак-тау произрастает большое количество редких и нуждающихся в охране видов высших судистых растений, занесенных в Красную книгу РБ [15]. Популяции некоторых из них достигают десятки и сотни тысяч особей (табл. 3).

Характеристика растительности шиханов. В соответствии с геоботаническим районированием РБ, горы Тра-тау и Юрак-тау находятся в Стерлитамакско-Мурапталовском районе красивейше-ковыльных и красновато-ковыльных степей Буздякско-Мелезузовского округа северной подзоны красивейше-ковыльных степей Предуралья степной зоны РБ [16].

Таблица 3

Численность редких и нуждающихся в охране растений на шиханах (тысяч особей)

Вид	г. Тра-тау	г. Юрак-тау
<i>Koeleria sclerophylla</i> P. Smirn. – Тонконог жестколистный	192	51
<i>Stipa korshinskyi</i> Roshev. – Ковыль Коржинского	0,2	—
<i>S. pennata</i> L. – К. перистый	160	48
<i>S. pulcherrima</i> C. Koch – Ковыль красивейший	135	7
<i>S. sareptana</i> A. Beck. – Ковыль сарептский	2	—
<i>S. zalesskii</i> Wilensky – Ковыль Залесского	—	0,03
<i>Fritillaria ruthenica</i> Wikstr. – Рябчик русский	100	2
<i>Tulipa biebersteiniana</i> Shult. et Schult. fil. – Тюльпан Биберштейна	61	64
<i>Minuartia krascheninnikovii</i> Schischk. – Минуарция Крашенникова	42	—
<i>Astragalus helmii</i> Fisch. – Астрагал Гельма	27	36
<i>Hedysarum grandiflorum</i> Pall. – Копеечник крупноцветковый	26	3
<i>Oxytropis baschkiriensis</i> Knjasev – Остролодочник башкирский	9	—
<i>Linum uralense</i> Juz. – Лен уральский	72	—
<i>Dictamnus gymnostylis</i> Stev. – Ясень голостолбиковый	1	—
<i>Thymus cimicinus</i> Blum ex Ledeb. – Тимьян клоповый	56	33
<i>Artemisia salsolooides</i> Willd. – Полынь солянковидная	0,06	—
<i>Pimpinella tomyophilla</i> (Woronow) Stank. – Бедренец разрезаннолистный	нет данных	—

Растительный покров этих гор существенно отличается от общей растительности района, он обладает высокой мозаичностью и обусловлен характером рельефа, экспозицией склонов и степенью развитости почв. В целом преобладают различные варианты степей и лугово-степей. На круtyх склонах с выходом плитняка, на неразвитых почвах распространены сообщества гиперпетрофитных степей. В нижней пологой части шиханов, где ранее практиковался выпас скота, распространены закустаренные степи и оstepненные луга. Северные склоны покрыты типичными неморальными широколиственными лесами из дуба, клена и липы (на Тра-тау лишь фрагментарно).

Оба шихана имеют высокое разнообразие растительности, их общее бета-разнообразие (на уровне вариантов) составляет 32 типа, разнообразие на уровне ассоциации – 21 тип. Анализ встречаемости различных типов растительных сообществ показал, что наибольшее разнообразие растительности наблюдается на г. Юрак-тау как по вариантам, так и по более крупным синтаксонам на уровне ассоциации (табл. 4).

Как видно из табл. 4, исследованные шиханы обладают оригинальной растительностью, сходство сообществ на уровне вариантов не превышает 20%, а на уровне более крупных единиц (ассоциаций) – 33%. Этого и сле-

Таблица 4

*Приуроченность различных типов растительных сообществ выявленных на шиханах
Тра-тау и Юрак-тау*

Название синтаксона	Тра-тау	Юрак-тау
<i>Brachypodio-Quercetum roboris</i>	+	+
<i>Brachypodio pennati-Betuletum pendulae</i>	-	+
<i>Aegopodio podagrariae-Tilietum cordatae</i>	+	+
<i>Brachypodio pinnati-Tilietum cordatae</i>	-	+
Сообщество <i>Pteridium aquilinum</i>	-	+
Сообщество <i>Melica transsilvanica</i>	-	+
Сообщество <i>Rubus caesius-Humulus lupulus</i>	-	+
<i>Spiraeo-Amygdalatum nanae</i> , вариант <i>typica</i>	+	-
Вариант <i>Dictamnus gymnostylis</i>	+	-
Вариант <i>Artemisia dracunculus</i>	+	-
<i>Spiraeo crenatae-Festucetum pseudovinae</i>	+	+
<i>Fragario viridis-Caraganetum fruticis</i>	-	+
<i>Spiraeo crenatae-Melicum transsilvanicae</i>	-	+
<i>Fragario-Festucetum typicum</i> , вариант <i>typica</i>	+	-
Вариант <i>Melica transsilvanica</i>	-	+
Вариант <i>Seseli libanotis</i>	+	-
Вариант <i>Stipa capillata</i>	-	+
<i>Fragario-Festucetum festucetosum pratensis</i>	-	+
<i>Stipo pennatae-Centauretum sibiricae</i> , вариант <i>typica</i>	+	+
Вариант <i>Stipa zalesskii</i>	-	+
<i>Carici pediformitis-Tanacetum uralensae</i> , вар. <i>typica</i>	+	+
Вариант <i>Ephedra distachya</i>	+	-
<i>Alyssum lenense-Festucetum valesiacae</i>	-	+
Сообщество <i>Centaurea ruthenica-Carex pediformis</i>	+	-
<i>Artemisio-Festucetum</i> , вариант <i>typica</i>	+	+
Вариант <i>Valeriana rossica</i>	-	+
Вариант <i>Festuca valesiaca</i>	-	+
<i>Trinio-Centauretum</i> , вариант <i>Goniolimon speciosum</i>	-	+
<i>Trinio-Centauretum</i> , вариант <i>Minuartia krascheninnikovii</i>	+	-
<i>Schivereckio hyperboreae-Abietinellietum abietinae</i>	-	+
Сообщество <i>Melica transsilvanica-Artemisia santolinifolia</i>	+	-
<i>Polygonetum avicularis</i>	+	-

довало ожидать, так как эти горы-останцы изолированы друг от друга и развитие растительности на каждой из них определялось своим набором экологических факторов, в первую очередь процессами выветривания горных пород и формирования почвенного горизонта, а также антропогенным использованием.

На известняковых обнажениях шиханов распространены уникальные эндемичные сообщества петрофитных степей, которые не встречаются в других районах Южно-Уральского региона. Данные сообщества отнесены к ассоциации *Trinio muricatae-Centauretum sibiricae*, описанной в статье С.М. Ямалова с соавторами [17]. Также к уникальным сообществам, аналогов которых в РБ нет, следует отнести растительность замшелых осыпей ассоциации *Schivereckio hyperboreae-Abietinellietum abietinae*. Похожие сообщества были описаны на осыпях крутых берегов реки Белой, но они почти все ушли под воду Юмагузинского водохранилища [18].

Заключение. Не секрет, что в настоящее время на разработку гор Тра-тау и Юратау претендуют производители соды. Однако надо понимать, что эти шиханы представляют природное наследие не только российского, но и мирового уровня. Они уникальны и неповторимы во многих отношениях: геологическом, ботаническом, зоологическом, археологическом, этно-культурном и пр. Поэтому ученая общественность должна сформировать четкую позицию в вопросе сохранения шиханов и всячески отстаивать их.

ЛИТЕРАТУРА

- Чувашов Б.И., Пруст Ж.-Н., Буассо Т., Венсан Э., Черных В.В. К истории формирования Стерлитамакских шиханов (Раннепермские рифовые массивы Южного Предуралья) // Ежегодник 1995. Екатеринбург, 1996. С. 25–34.
- Гареев Э.В. Геологические памятники природы Республики Башкортостан. Уфа, 2004. 296 с.
- Реестр особо охраняемых природных территорий Республики Башкортостан / под ред. А.А. Мулдашева. Уфа, 2010. 414 с.
- Рычков П.И. Топография Оренбургская, то есть обстоятельное описание Оренбургской губернии, сочиненное П. Рычковым. СПб., 1762. 623 с.
- Лепехин И.И. Дневные записки путешествия доктора Академии наук адъюнкта Ивана Лепехина по разным провинциям Российского государства 1768–1772 гг. СПб., 1772. Ч. 2. 340 с.
- Федченко О.А., Федченко Б.А. Материалы для флоры Уфимской губернии // Материалы к знанию фауны и флоры Российской империи. Вып. 2. 1894. 438 с.
- Талиев В.И. Следы боровой растительности в степной части Уфимской губернии // Тр. об-ва испытателей природы при Харьков. ун-те. 1903. Т. XXXVIII, вып. 2. С. 3–87.
- Горчаковский П.Л. Основные проблемы исторической фитогеографии Урала // Тр. Ин-та экологии растений и животных Урал. фил. АН СССР. Вып. 66. Свердловск, 1969. 286 с.
- Князев М.С. Новый вид рода *Clausia* (*Brassicaceae*) // Ботанический журнал. 1997. Т. 82, № 7. С. 125–127.
- Князев М.С. Заметки по систематике и хронологии видов рода *Oxytropis* (*Fabaceae*) на Урале. II. Виды рода *Oxytropis ambigua* // Ботанический журнал. 2001. Т. 86, № 1. С. 126–134.
- Смирнова Е.С. Особенности растительности Стерлитамакских шиханов // Записки Башк. фил. Геогр. об-ва СССР. Вып. 5. Уфа, 1968. С. 96–106.
- Горчаковский П.Л., Шурова Е.А. Редкие и исчезающие растения Урала и Приуралья. М., 1982. 208 с.
- Кучеров Е.В., Мулдашев А.А., Галеева А.Х. Охрана редких видов растений на Южном Урале. М., 1987. 205 с.
- Красная книга Республики Башкортостан (растения, грибы). Уфа, 2011. 384 с.
- Красная книга России (растения и грибы) / сост. Р.В. Камелин и др. М., 2008. 855 с.
- Жудова П.П. Геоботаническое районирование Башкирской АССР. Уфа, 1966. 124 с.
- Ямалов С.М., Баянов А.В., Мартыненко В.Б., Мулдашев А.А., Широких П.С. Эндемичные ассоциации петрофитных степей палеорифов Южного

Урала // Растительность России. СПб., 2011. № 19.
С. 117–126.

18. Соломещ А.И., Мартыненко В.Б., Баишева Э.З., Журавлева С.Е., Онищенко Л.И. Характе-

ристика флоры и растительности в зоне влияния Юмагузинского водохранилища и пути ее сохранения // Экологические аспекты Юмагузинского водохранилища. Уфа: Гилем, 2002. С. 93–113.



ON THE CHARACTERISTICS OF FLORA AND VEGETATION OF SHIKHAN MOUNTAINS TRA-TAU AND YURAK-TAU

© A.A. Muldashev, V.B. Martinenko

Institute of Biology, Ufa Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russian Federation

The paper contains information about peculiar features of flora and vegetation on unique paleoreef shikhan mountains Tra-tau and Yurak-tau, natural monuments of the Republic of Bashkortostan. The history of flora and vegetation research is shown. Today the flora of Mountain Tra-tau includes 402 species of vascular plants related to 60 genera; the list of flora of Mountain Yurak-tau includes 366 species related to 58 genera. Despite the fact that the two mountains are located relatively close to each other and have similar natural complexes, there are some essential differences in their species compositions. The comparison between the floras of these mountains shows 286 species in common. The floras of the shikhans are very peculiar. Seventeen species from the Red Data Book of Bashkortostan (and eight species from the Red Data Book of Russia) have been found on Tra-tau and Yurak-tau. The populations of some of these species include tens and hundreds of thousands of plants. Besides, the populations of 12 relic and 21 endemic vascular plant species occur on Tra-tau and 10 relic and 15 endemic species are found on Yurak-tau.

The vegetation cover on Tra-tau and Yurak-tau differs much from that of the adjacent areas. It has a highly mosaic arrangement and depends on terrain characteristics, slope exposure and the degree of soil development. By and large, different types of steppes and meadow steppes prevail. Hyperpetrophyte steppe communities are spread on steep slopes with flagstone outcrops and thin, undeveloped soils. Shrub steppes and steppe meadows occur on former pastures down the slopes. Typical nemoral broad-leaved forests with oak, maple and lime cover the northern slopes. Endemic types of plant communities found on the shikhans have no analogues in the Republic of Bashkortostan.

Key words: shikhans Tra-tau and Yurak-tau, natural monuments, rare plant species.

**МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ДОМЕЗОЗОЯ
БОЛЬШОГО КАВКАЗА И ЮЖНОГО УРАЛА
(СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ)**

© Т.Т. Казанцева

Сравниваемыми объектами явились территориально сближенные метаморфические образования: с одной стороны – блыбский и азгаринский комплексы Передового хребта Кавказа, с другой – суванякская и максютовская зоны Уралтау Южного Урала. Названные структуры значительно отличаются от сопредельных с ними площадей интенсивностью деформаций и более глубоким метаморфизмом пород. Приводятся материалы об идентичности структурной позиции, стиля тектоники, характера метаморфизма, состава субстрата и геохронологических данных сравниваемых объектов, что свидетельствует о возможной общности истории их геодинамического развития.

Ключевые слова: комплекс, формация, аллохтон, состав, субстрат, метаморфизм, докембрий, палеозой.

Предлагаемая к опубликованию статья направлена на продолжение выяснения давно дискутируемой проблемы южного окончания Уральской складчатой области.

Мы уже приводили результаты исследований по данному вопросу, в основу которых заложили формационные, структурные и геофизические материалы, полученные при анализе структурной геологии передовых прогибов, обрамляющих Восточно-Европейскую платформу с востока и юга [1]. Использовались и известные точки зрения выдающихся представителей геологической науки: А.П. Карпинского, А.Д. Архангельского, А.Л. Яншина и др. В итоге пришли к выводу, что взгляды на структурное сочленение Предуралья с Прикаспием и далее к западу с Преддонабасским прогибом наиболее обоснованы. По составу, строению и возрасту формирования эти региональные структуры идентичны. Наиболее активная в палеозое складчатая зона Южного Урала, его восточный склон, который раньше, согласно геосинклинальной теории, называли эвгеосинклиналью, направляется на восток, к Тянь-Шаню. Главный Гипербазитовый пояс Урала, маркирующий границу между западным и восточным склоном этого горного сооружения, к югу обнажается в области Султан-

Уиздага, где известен типичный серпентинитовый меланж уральского типа. Предполагалось, что частично западная и вся центральная части Южного Урала перекрываются на юге периклинальными прогибами, выполнеными молассой, как это полагали А.Л. Яншин и Р.Г. Гарецкий. Но уже тогда нами было высказано соображение, что мнение Н.С. Шатского о возможном продолжении южной окончности Урала на Кавказе должно быть осмыслено с учетом формационного анализа, геодинамических аспектов и повышившегося уровня знаний по геологии названных складчатых областей.

Основным объектом изучения на Кавказе явилась Транскавказская меридиональная зона, структурное положение и тектоническое строение слагающих ее структурно-формационных единиц. Эта зона, простирающаяся с севера на юг через весь центральный сектор Большого Кавказа от Манычского прогиба на севере до Дзирульского выступа на юге включительно, сложена докембрийскими и палеозойскими образованиями, сопоставимыми с одновозрастными формациями Южного Урала. Сравнительному анализу структурной геологии одного из этих объектов, в частности, Бечасынской зоне Лабино-Мал-

кинского структурного блока Кавказа с Башкирским антиклиниорием и с Зилаирским синклиниорием Южного Урала, посвящен наш доклад на предыдущем совещании [2]. В предлагаемом материале продолжается сравнительный анализ структурной геологии палеозоя Большого Кавказа и Южного Урала. Сравниваемыми объектами в данном случае явились сближенные территориально метаморфические образования: блыбский и ацгаринский комплексы Передового хребта Кавказа с максютовским и суванякским хребтом Уралтау Южного Урала.

Передовой хребет Большого Кавказа.

В палеозойской структуре Передового хребта Большого Кавказа, начиная с 70-х гг. XX в., выделялись герцинские аллохтоны, последовательно перекрывающие друг друга. Они сложены различными структурно-вещественными комплексами, представленными зеленокаменно измененными породами, существенно отличающимися как по литологии, так и по степени метаморфизма. Формирование их осуществлялось в различных геодинамических обстановках. По данным Е.В. Хайна [3], В.Л. Омельченко [4], М.Л. Сомина, В.А. Лаврищева [5] и многих других, здесь выделяются несколько аллохтонов (рис. 1).

Наиболее известными здесь являются следующие аллохтоны: *Тоханский*, сложенный филлитизированными алевролитами и аргиллитами, граувакковыми песчаниками (средний-верхний девон), красноцветными песчаниками, известняками (турнейский ярус нижнего карбона). *Кизилкольский-Урупский* (нижний девон – турне) представлен несколькими типами разрезов: вулканического, вулкано-кластического и осадочного происхождения. *Марухский* датируется ранним палеозоем, состоит из нескольких тектонических пластин, в каждой из которых присутствует офиолитовый комплекс с сопутствующими ему олистостромовыми образованиями, возраст которых не древнее турнейского яруса. *Ацгаринский* покров, сложенный метаморфитами, для которых характерны изменения от зеленых сланцев до амфиболитовой фации. Возраст дискутируется в пределах от докембрия до среднего палеозоя. *Блыбский* метаморфический комплекс, представленный кристаллическими сланцами, амфиболитами с телами эклогитов и отдельными выходами гипербазитов. Возраст его также дискуссионен – от протерозоя до середины палеозоя. В.Л. Омельченко в работе «О месте пород блыбского комплекса в домезозойской структуре зоны Передового хребта (Северный Кавказ)» [Геотек-

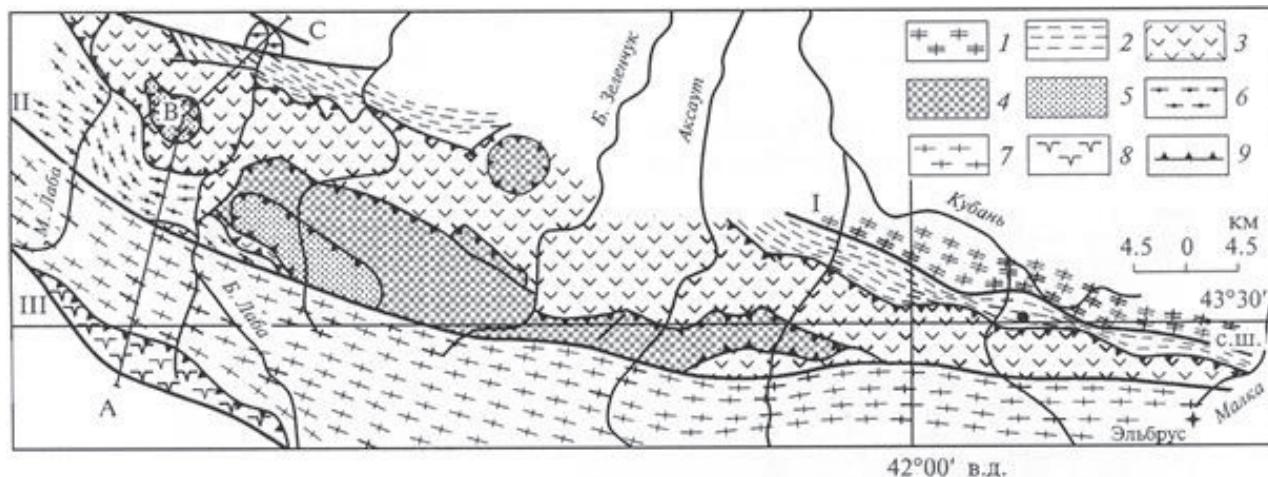


Рис. 1. Схема строения зоны Передового хребта Г.И. Баранова. По М.Л. Сомину и др. (2009), с небольшими изменениями. Неоавтохтонные образования сняты.

Комплексы: 1 – бечасырский метаморфический, 2 – тоханский преимущественно осадочный, 3 – кизилкольский (урупский) – вулканогенно-осадочный, 4 – марухский – офиолитовый, 5 – ацгаринский метаморфический; 6 – блыбский метаморфический; 7, 8 – макерский, гондарайский и лабинский Главного хребта; 9 – подошва основных покровов; основные разломы Большого Кавказа: I – Северный, II – Пшекиш-Тырныаузский, III – Главный Кавказский

тоника. 2007. № 4] на основании интерпретации геологических данных в русле мобилистского направления приводит обоснование его принадлежности к герцинским аллохтонам.

Южный Урал. Зона Уралтау. Уралтауская структура выделяется как осевая зона Урала, протягивающаяся субмеридионально на многие сотни километров при ширине от 5 до 25 км. На всем протяжении она состоит из двух тектонических пластин, надвинутых друг на друга с востока. Западная из них – Юмагузинская – сложена породами суванякского комплекса, а восточная – Иткуловская – состоит из образований максютовского комплекса. Суванякский комплекс на востоке по Янтышевско-Юлукскому надвигу, подчеркнутому тектонизированными серпентинитами, граничит с максютовским комплексом, который на востоке соседствует с Магнитогор-

ской синформой по Главному Уральскому надвигу. По [6], структурная геология зоны Уралтау характеризуется пластинчато-надвиговым строением. Надвигание аллохтонов происходит преимущественно с востока на запад (рис. 2).

На всем протяжении хребет Уралтау надвинут с востока на смежные структуры западного склона Урала. Пологий надвиг вдоль западного крыла антиклиниория во многих местах проявлен весьма отчетливо. Надвигание с востока слюдяно-кварцевых сланцев укшук-арвякской свиты верхнего рифея на различные горизонты силура и девона со срезанием их простирации почти под прямыми углами установлено в районе г. Белорецка. Между этим городом и с. Кирябинское, в синклинальном прогибе, образованном докембрийскими толщами Башкирского антиклиниория, сохранился аллохтонный покров метаморфических образований зоны Уралтау. Средняя часть его сло-

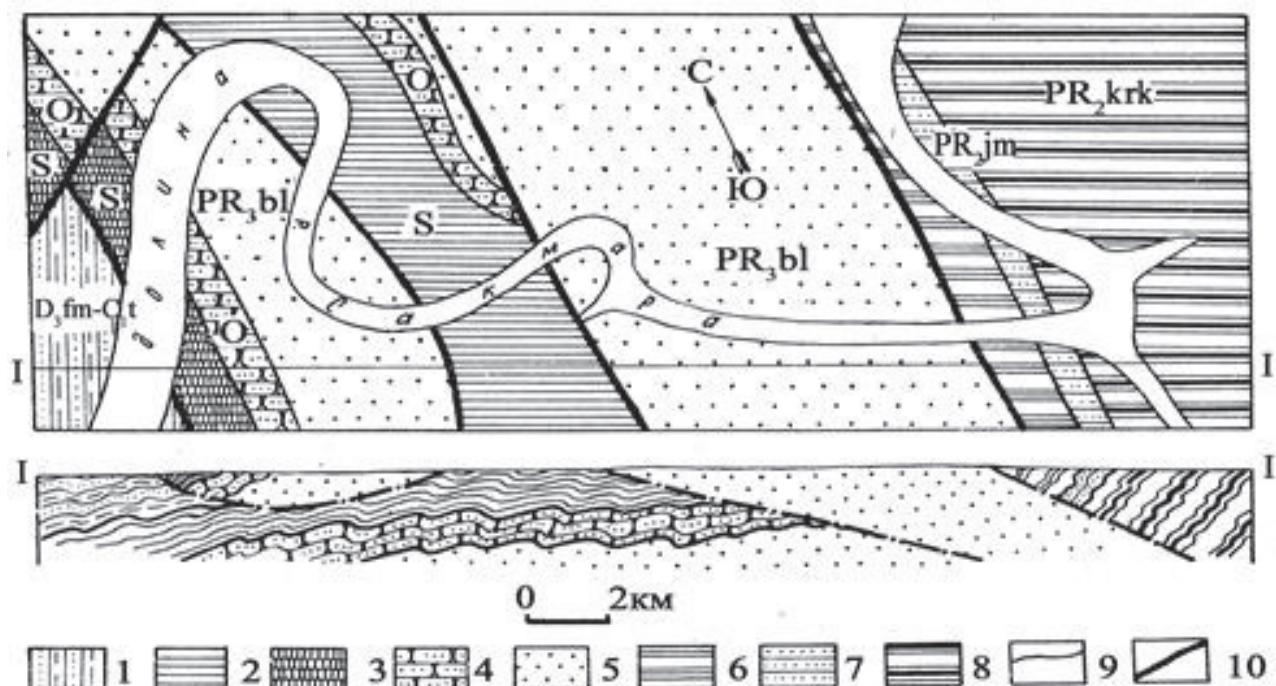


Рис. 2. Геологическая карта участка хребта Уралтау в районе широтного течения р. Сакмары, д. Янтышево и разрез по линии I–I. По М.А. Камалетдинову [6]:

1 – зилаирская свита (фаменский ярус верхнего девона – низы нижнего карбона): граувакковые песчаники, алевролиты, аргиллиты; 2–3 – силурийские отложения (2 – глинистые сланцы поднадвига; 3 – кремнистые сланцы аллохтона); 4 – средний и верхний ордовик: кварцевые песчаники; 5 – верхний рифей, белекейская свита: кварциты; 6–8 – средний рифей (6 – карамалинская свита: мусковито-хлорито-кварцевые и графитистые сланцы, пачки кварцитов; 7 – юмагузинская свита: хлорито-мусковито-кварцевые сланцы и кварциты; 8 – кайраклинская свита: графитистые и слюдистые кварциты и актинолито-хлорито-альбитовые сланцы); 9 – геологические границы; 10 – тектонические контакты

жена ниже- и среднепалеозойскими толщами, образующими синклиналь, известную под названием Тирлянской мульды.

В.И. Козлов, детально изучивший этот покров, отмечает срезание им ряда структур Башкирского антиклиниория, которые, очевидно, «ныряют» под аллохтон. Ряд картировочных скважин, пробуренных во фронтальной зоне надвига уральских метаморфитов, вскрыл под ними на глубинах до 150 м породы зигазино-комаровской и миньярской свит. Сам контакт представлен брекчией гематитизированных образований мощностью до 1 м. Падение подошвы шарьяжа, по данным названного автора, ориентировано на восток под углами 45–50°. О более пологом ее залегании свидетельствует крайне извилистая западная граница покрова, образующая в плане тектонические окна и полуокна. В более южных районах надвиг пород хребта Уралтау фиксируется данными сейморазведки, показавшими, что осадочный комплекс палеозоя зилаирского синклиниория в верховьях р. Большой Ик погружается на восток под верхнерифейско-палеозойские метаморфические сланцы под углами 10–20° [6].

Учитывая резкое различие в составе, строении и мощности образований, слагающих зону Уралтау и примыкающих структур, следует полагать, что амплитуда шарьяжа значительная.

Ниже приведем необходимые сведения о геологии метаморфических образований с одной стороны Блыбского и Ацгаринского комплексов Передового хребта Большого Кавказа и Максютовского и Суванякского – с другой стороны.

И в том и другом случае они представляют собой объекты, значительно отличающиеся от соседствующих с ними площадей более глубоким метаморфизмом пород, в связи с чем ранее их считали более древними, докембрийскими образованиями.

Сопоставимость проводилась по следующим позициям. Общий стиль тектоники, особенности пластинчато-надвигового строения и индивидуальность дислоцированности. Формационная принадлежность и типы

одновозрастных верхнепротерозойских и палеозойских образований. Первичные составы субстрата. Характер и интенсивность проявлений метаморфизма. Геохронологическое обоснование периодизации геологических событий с повышенным вниманием к абсолютной геохронологии вещественных комплексов, особенно устанавливаемых по цирконам. Известно, что этот минерал считается идеальным материалом для радиометрического определения возраста палеозойских и докембрийских пород. В последнее время цирконология придается особое значение, так как возраст цирконов может отвечать как времени кристаллизации исходной породы, так и периодам проявления метаморфизма и деформаций. В этом случае важен зональный циркон, каждая кайма которого отражает определенную эпоху преобразований. Таким образом, кристаллы цирконов содержат разностороннюю информацию о времени и последовательности событий в геологической истории того или иного региона. Приведена сводка имеющихся геохронологических данных, полученных по циркону в сравниваемых складчатых областях.

Блыбский метаморфический комплекс Передового хребта находится между реками Белой на западе и Большого Зеленчука на востоке. Самые крупные выходы его известны в бассейне р. Бол. Блыб, в междуречье Мал. Лаба и Бол. Лаба (Блыбское поднятие), а также в пределах массивов: Бескесского, Сахрайского и Даховского (рис. 3).

До недавнего времени с учетом условий залегания и степени метаморфизма он рассматривался как паравтохтонный докембрийского основания зоны Передового хребта. Контакт между блыбским комплексом и перекрывающими его образованиями большинством геологов признается тектоническим, с падением на северо-восток под углами 15–20°. Следовательно, их надо считать аллохтоном. Эти данные, приведенные В.Л. Омельченко, позволили ему судить надвиговом характере Блыбского тектонического нарушения (рис. 4).



Рис. 3. Схема геологического строения зоны Передового хребта в междуречье Белой и Большого Зеленчука. По М.Л. Сомину и В.А. Лаврищеву [5], с небольшими изменениями.

Буквы в кружках: Бл – Блыбское поднятие; массивы: Бс – Бескесский, Дх – Даховский, Сх – Сахрайский; Дж – выступ горы Джуга, Э – выступ горы Экспедиция. Геология заштрихованной горизонтальными линиями площади отображена на рис. 4. Ост. усл. обозн. см. рис. 4

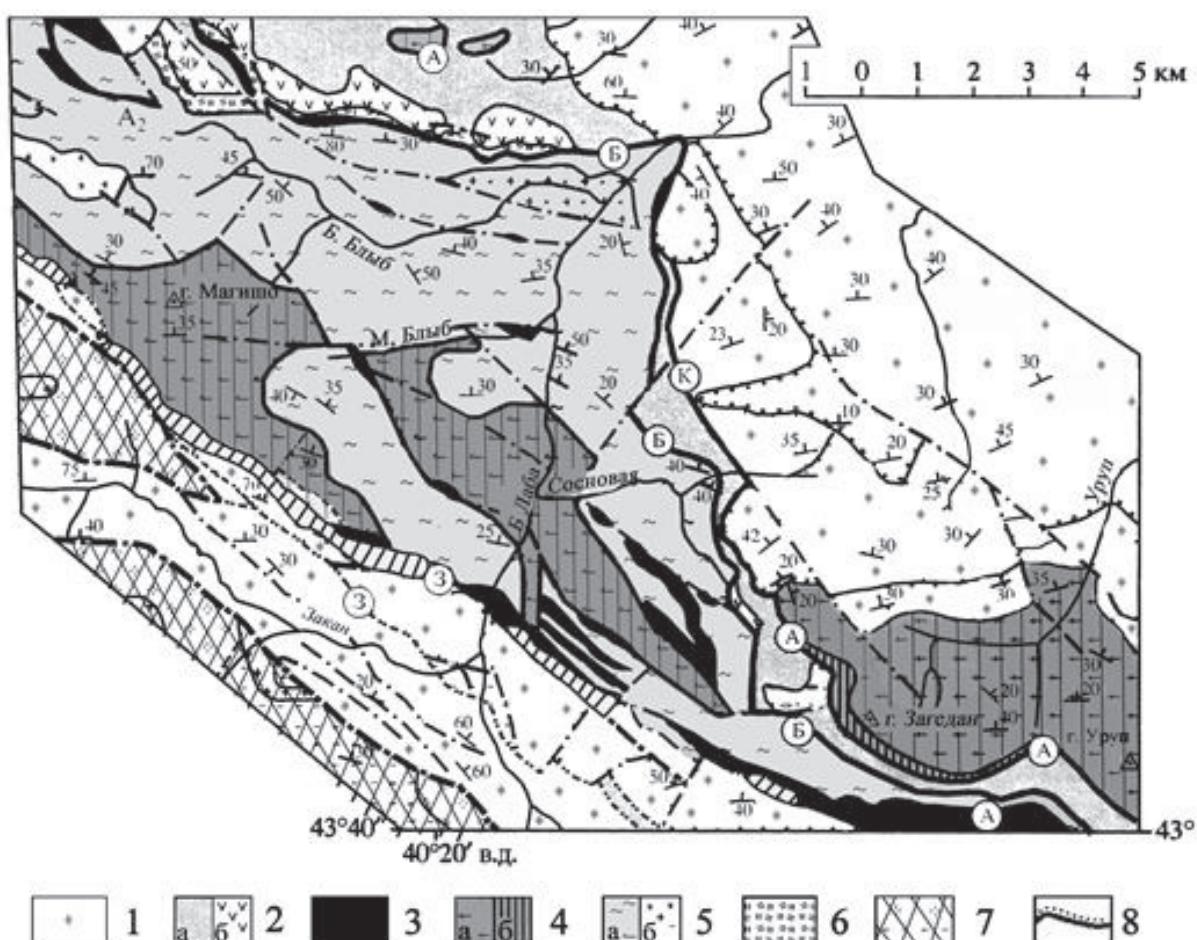


Рис. 4. Структурно-литологическая схема бассейна рек Большая Лаба, Большой Блыб, Закан.

По В.Л. Омельченко [4], с упрощением:

1 – мезозой-средний карбон: терригенные породы, красноцветные конгломераты, известняки; 2 – нижний девон-нижний карбон – породы Кизилкольского покрова: а – известняки, красноцветные конгломераты, терригенные породы, туфы, кремни, б – вулканиты, преимущественно основного состава; 3 – гипербазиты Марухского покрова; 4 – образования Ацгаринского покрова: а – кристаллические сланцы, граувакки, б – гранодиориты среднего палеозоя; 5 – образования Блыбского комплекса: а – кристаллические сланцы, гнейсы, кварциты, эклогиты среднего палеозоя, б – гранитоиды и диориты среднего палеозоя; 6 – метасоматиты в основании Блыбского надвига; 7 – образования зоны Главного хребта; 8 – главные надвиги (в кружках): Б – Блыбский, А – Ацгаринский, М – Марухский, К – Кизилкольский, З – Заканский

Существуют представления, что блыбский комплекс является одним из аллохтонов в составе тектонических пластин Передового хребта, располагающийся в их основании. Другие рассматривают его как одну из верхних тектонических единиц. Пишут, что первоначально он располагался на значительном удалении от остальных аллохтонов Передового хребта, а в результате последующих перемещений приведен с ними в соприкосновение. В этом случае высокую степень его метаморфизма объясняют большими амплитудами горизонтальных перемещений.

Основной породный состав данного метаморфического комплекса представлен кристаллическими сланцами, плагиогнейсами с подчиненным количеством амфиболитов (в т.ч. и гранатовых) и отдельными телами эклогитов. Наблюдается присутствие многочисленных небольших по размеру тел гипербазитов.

По И.П. Гамкрелидзе, Д.М. Шенгелиа [7], блыбский комплекс состоит из двух свит: *армовской и балканской*. *Армовская свита* представляет собой «совмещение тектонически перемешанных, различных по генезису древних изверженных и осадочных пород, метаморфизованных, скорее всего, в досреднепалеозойскую эпоху, а затем испытавших мощную метасоматическую переработку» (с. 192). Она сложена переслаиванием гранат-слюдяных и кварц-альбит-хлорит-эпидот-мусковитовых сланцев. Присутствуют также амфиболиты и серпентинизированные гипербазиты, с которыми связаны тела эклогитов. В *балканской свите* преимущественно развиты гранатовые амфиболиты. Верхняя часть разреза сложена гранат-двуслюдяными сланцами и гнейсами. Гранатовые амфиболиты развиты в пределах Блыбской структуры, а также известны в Даховском и Бескесском массивах.

Подчеркнем, что характернейшей особенностью состава блыбского метаморфического комплекса является присутствие в нем на разных уровнях разреза эклогитов и амфиболизированных эклогитов, а также в разной степени серпентинизированных гипербазитов. В верхах разреза распространены кианит-гранатовые метапелиты.

По В.Ю. Герасимову, эклогиты образуют линзовидные тела среди гранатовых амфиболитов. Минеральный состав их преимущественно: гранат и омфацит, с подчиненными в количественном отношении роговой обманкой, эпидотом, кварцем, парагонитом, фенитом и рутилом. Амфиболизированные эклогиты (район бассейна р. Б. Лаба) представлены будинированными телами мощностью от первых дециметров до 15 м. По составу – это полосчатые гранат-омфацит-эпидот-кианит-рутил-кварцевые породы.

Есть мнение, что полосчатость, параллельная контактам эклогитовых тел, характеризует первичную полосчатость метапесчаников или туфогенных пород, по которым они образовались. М.Л. Сомин же считает, что основная часть армовской свиты образовалась по вулканогенным породам основного и кислого состава, при скромном участии метапелитов и метатерригенных пород. Основанием тому является низкое содержание цирконов в сланцах и гнейсах.

Как пишет В.Л. Омельченко [4], метаморфизм блыбского комплекса относится к фации дистеновых гнейсов и амфиболитов с локальными переходами к эклогитовой фации по Н.Л. Добрецову, а по Д.М. Шенгелия – породы комплекса метаморфически изменены на уровне ставролитовой фации кианит-силиманитового типа глубинности.

И.П. Гамкрелидзе и Д.М. Шенгелиа [7] пришли к выводу, что исходные породы комплекса образовались в докембрии. Метаморфизм проградный, высокотермобарический осуществился при температуре 650–700°C и давлении 16–17 кбар. Период его протекания – от раннекаледонского до позднекаледонского.

Как видим, основной дискутируемой проблемой является время формирования первичного состава блыбского комплекса – докембрий или палеозой. Не до конца выяснена и периодизация их последующих метаморфических преобразований. На этот счет приводятся следующие материалы.

По [7], исходные породы комплекса относятся к докембрию. Возраст метаморфиче-

ских пород его свит (балканской и армовской) по K-Ar и Rb-Sr-методам находится в пределах от 354 до 460 млн лет. Интервалы метаморфических преобразований соответствуют 354 ± 10 – 385 ± 18 и 350 – 370 ± 40 млн лет. Метаплагиограниты комплекса, исследованные Д.З. Журавлевым и И.С. Красивской Sm-Nd изохронным методом показали 400 ± 11 млн лет (с использованием ортита и сфена) и 460 млн лет (вместо сфена учитывался апатит).

Датировки регионального метаморфизма, определенные по цирконам, отражают время, равное 410 ± 10 млн лет, что соответствует и U-Pb-возрасту. Как пишут М.Л. Сомин и В.А. Лаврищев [5], выполненные в ИГЕМ РАН многочисленные определения аргонового возраста метаморфитов Передового хребта приходятся на интервал 370–320 млн лет. В частности, датировка белой слюды из син-метаморфической кварцевой жилы в Блыбской структуре равна 355 ± 8 млн лет при содержании K 7,61%. Высококалиевые биотит и мусковит из ортогнейса Сахрайского массива показали 338 ± 6 и 334 ± 6 млн лет соответственно. Использование Sm-Nd-, Ar-Ar- и Lu-Hf-методов применительно к системе гранат-порода из эклогитов бассейна р. Уруштен (Блыбская структура) дало значения возраста 322–303 млн лет. Не укладывается в общую схему датировка 450 млн лет по флогопиту из контактовой зоны гранодиоритов и ультрабазитов Бескесского выступа. Кроме того, «изотопное датирование пород как в Блыбском, так и в небольших Даховском и Бескесском массивах показало, что SHRIMP и TIMS U-Pb датировки магматических цирконов из пяти проб ортопород кислого состава и габбро амфиболита находятся в интервале 400–323 млн лет. В одном случае, по нескольким точкам в технике SHRIMP II, получено требующее подтверждения значение возраста около 460 млн лет. Кластер 374 ± 2 млн лет (поздний девон) характеризует возраст группы из семи зерен цирконов, извлеченных из метатерригенных сланцев блыбского комплекса. Возраст метаморфизма пород определялся с помощью K-Ar, Rb-Sr, Lu-Hf и Sm-Nd методов, а также недавно А.Н. Кониловым по монациту с ис-

пользованием метода CHIME. Все датировки находятся в интервале 360–290 млн лет с четким максимумом 320 млн лет для K-Ar метода» [8, с. 368]. Большинство из приведенных данных свидетельствует в пользу средне-позднепалеозойского возраста метаморфизма.

Максютовский метаморфический комплекс прослеживается вдоль восточной части хр. Уралтау в субмеридиональном направлении почти на 200 км при ширине 5–10 км. Севернее д. Абдулкаримово он перекрыт аллохтоном Магнитогорской синформы. На западе – граничит с суванякским комплексом по Янтышевско-Юлукскому разлому (Центрально-Уралтауский надвиг), вдоль которого в соприкосновение приведены разнофациальные и разновозрастные толщи, имеющие разные структурные планы и различную степень метаморфизма. Плоскость сместителя круто погружается к востоку под углом около 60° . Восточной границей является Главный Уральский надвиг, имеющий в целом пологое падение на восток под углами от 10 до 50° . Он маркируется мощной зоной меланжа, в котором сохранились довольно крупные гипербазитовые массивы. Это Салатимско-Кемпирсайский гипербазитовый пояс (Кемпирсайский на Южном Урале).

Здесь с севера на юг выделялись крупные антиклинали: Галеевская, Якуповская и Кувашлинская, осложненные мелкой складчатостью, часто изоклинальной.

Названные антиклинали сложены образованиями галеевской, кайраклинской, юмагузинской и карамалинской свит, в составе которых преобладают кварциты, часто слюдистые, иногда с глаукофаном, гранатом, хлоритом, эпидотом и актинолитом, реже графит-кварцевыми, графитистыми и мусковит-кварцевыми сланцами, а также метаморфизованными вулканитами основного состава. Иногда отмечаются линзы мраморизованных известняков.

Исследованиями О.А. Захарова и В.Н. Пучкова [9], О.А. Захарова и М.Ю. Аржавитиной [10] установлено, что максютовский комплекс представлен несколькими разновеликими тектоническими пластинами (рис. 5 и 6).

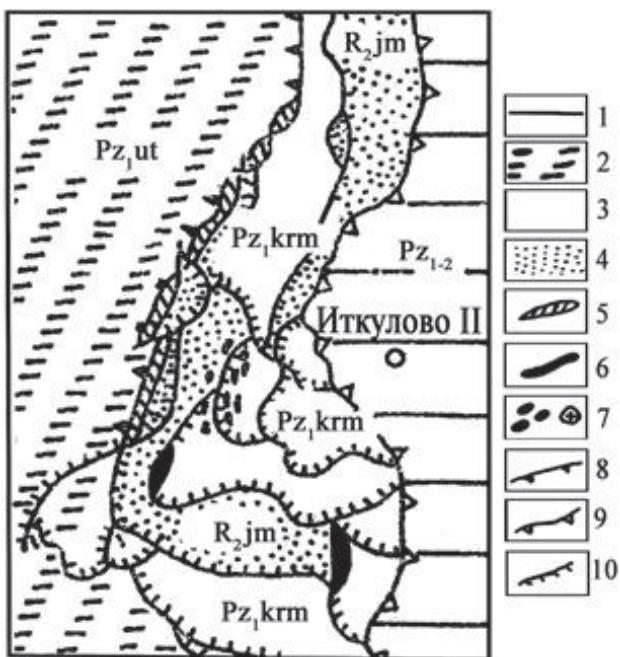


Рис. 5. Схема геологического строения северной части максютовского метаморфического комплекса. По О.А. Захарову и В.Н. Пучкову [9]:

1 – меланж Главного Уральского надвига и вулканогенно-осадочные отложения Присакмарской зоны Магнитогорской синформы ($Pz_{1,2}$); 2 – уткальская свита ($Pz_{1,ut}$); 3 – карамалинская серия ($Pz_{1,krm}$); 4 – юмагузинская свита ($R_{2,jm}$); 5 – метагаброиды юлукского комплекса; 6 – серпентиниты; 7 – эклогиты; 8 – Янтышевско-Юлукский разлом; 9 – Главный Уральский надвиг; 10 – надвиги

Изучение отложений максютовского комплекса и характера их метаморфизма, проведенное Д.Г. Ожигановым, С.С. Гороховым, А.И. Демчуком, В.И. Ленных, А.А. Алексеевым и др., показывает, что преимущественным распространением пользовались осадочные и частью вулканогенные образования основного состава, с телами основных и ультраосновных пород. В результате метаморфизма песчаных и песчано-глинистых отложений возникли кварциты и слюдяно-кварцевые сланцы, а известковистые осадки были преобразованы в мраморизованные известняки и мраморы. Зеленые сланцы формировались по основным вулканогенным и частью интрузивным породам или по продуктам их метаморфизма, что подтверждается результатами петрографических и петрохимических исследований.

Значительное развитие в составе комплекса эклогитов и глаукофановых сланцев

принесло ему широкую известность в связи с тем, что эти породы служат индикаторными при определении геодинамических условий формирования содержащих их образований. Они присутствуют во всех свитах описываемого комплекса, исключая галеевскую. Эклогиты представлены здесь массивными либо груборассланцованными породами темно-зеленой окраски. Обязательным минералом в их составе являются порфиробласты граната (гранат-альмандин). Присутствуют также: омфацит, глаукофан, обыкновенная роговая обманка, актинолит, хлорит, эпидот, клинозоизит, мусковит, сфен и рутил. Наиболее известны эклогиты в районе д. Кааяново, Максютово, Шубино, р. Сабалаир.

К общим особенностям геологии максютовского метаморфического комплекса А.А. Алексеев и др. [11] относят: «Преимущественно сиалический и терригенный характер субстрата метаморфических пород; в составе комплекса доля ортопород различной фациальной природы составляет в среднем около 10–12% и в конкретных разрезах не поднимается выше 20% от мощности всего разреза комплекса...». Не меньше половины мощности разреза сложено глинисто-песчаными высокозрелыми терригенными породами, превращенными при метаморфизме в слюдяно-кварцевые и слюдистые кварциты. А далее: «Ортопороды комплекса по петрохимическим и геохимическим характеристикам соответствуют как внутриплитным континентальным базальтам, так и базальтам срединно-океанических хребтов и недифференцированным натриевым базальтам офиолитовой ассоциации» (с. 138). Таким образом, максютовский комплекс, в соответствии с контрастностью его состава, включает нижнюю терригенно-осадочную толщу (докарамалинская часть разреза) и верхнюю офиолитовую часть (карамалинская свита), тектонически сближенные. Термобарические условия их формирования, по этим же авторам, оцениваются как умеренно высокие – 300–550°C по температуре и от 5–6 до 14 кбар по давлению. Для наиболее высокобарических кварц-жадеитовых пород – 500–

550°C и до 22, а иногда и до 25 кбар для коэситсодержащих эклогитов.

Проблема возраста субстрата максютовского метаморфического комплекса является весьма дискуссионной. В соответствии с унифицированными схемами, утвержденными МСК (1993), названный комплекс, представленный галеевской, кайраклинской, юмагузинской и карамалинской свитами, рассматривался как среднерифейский. Определение его докембрийским было основано на основании корреляции с вещественными комплексами Башкирского антиклиниория, время образования которых определялось цифрами от 1050 до 1400 млн лет. Кроме того, были получены датировки по цирконам из кварцитов галеевской и юмагузинской свит, которые по данным В.И. Козлова, оценивались от 960 до 2130 млн лет. Сейчас принято думать, что эти цирконы привнесены с области сноса, а потому принимать их во внимание не следует. По цирконам из метаморфических пород южной части Уралтау (карамалинская свита) оп-

ределен абсолютный возраст в интервале от 705 до 880 млн лет, на основании чего эта свита отнесена к позднему рифею. О возможном докембрийском возрасте максютовского комплекса говорят изотопные данные А.А. Краснобаева, полученные по магматическим цирконам из апориолитов, а также наличие древних реликтовых изотопных соотношений в некоторых эклогитах [12].

Согласно А.А. Алексееву и др. [11], для эклогитов максютовского комплекса получены две группы датировок. Sm-Nd методом – 396–358 млн лет. U/Pb – по рутилу и апатиту, а Sm-Nd – по гранату, омфациту, рутилу и апатиту время проявления высокобарического метаморфизма оценивается средним девоном, около 380 млн лет.

По данным С.Г. Ковалева и Е.А. Тимофеевой [13], этапность метаморфических событий максютовского комплекса определена Н.Л. Добрецовым в четыре интервала, соответствующих четырем этапам деформаций и метаморфизма. Это: 440–400, 370, 340–330,

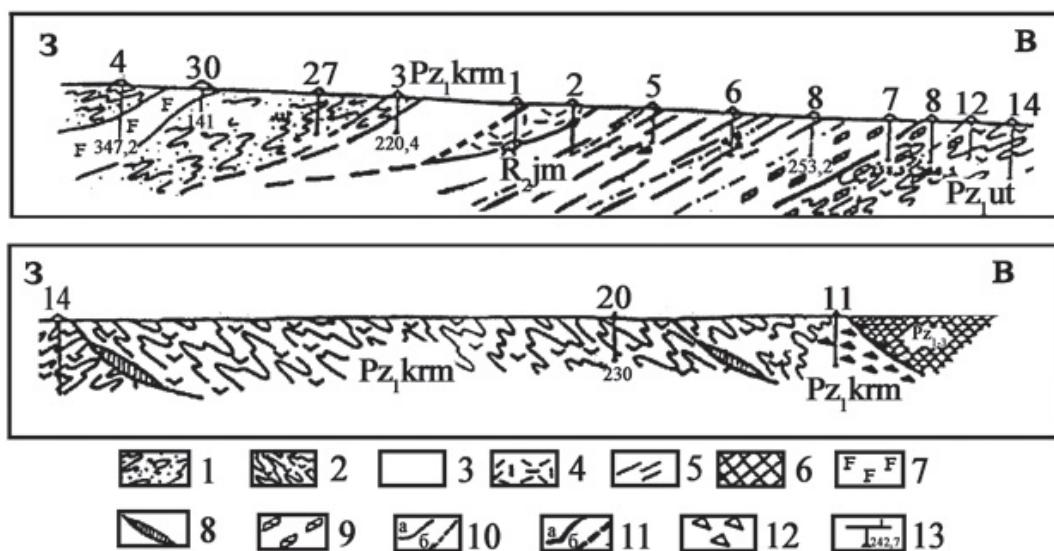


Рис. 6. Схематический геологический разрез Иткуловского структурного профиля. По О.А. Захарову и М.Ю. Аржавитиной [10]:

1 – уткальская свита ($Pz_{,ut}$): серицит-хлорит-кварц-альбитовые («рябчиковые») сланцы, серицитовые кварциты; 2 – карамалинская свита ($Pz_{,krm.}$): переслаивание хлорит-мусковит-графит-кварцевых, мусковит-хлорит-актинолит-альбитовых сланцев, мусковитовых и графитистых кварцитов; 3–5 – юмагузинская свита ($R_{,jm}$): 3 – гранат-глаукофан-мусковит-кварцевые сланцы, мусковитовые кварциты; 4 – мусковит-кварц-микроклиновые метаморфиты (ортогнейсы); 5 – прослои графитистых сланцев среди гранат-глаукофан-мусковит-кварцевых сланцев и мусковитовых кварцитов; 6 – серпентинитовый меланж зоны Главного Уральского надвига; 7 – метагаббройды Юлукского комплекса; 8 – линзы серпентинитов в основании тектонических пластин; 9 – будины эклогитов; 10 – геологические границы: а – достоверные, б – предполагаемые; 11 – тектонические границы: а – достоверные, б – предполагаемые; 12 – зона брекчирования; 13 – скважина, ее номер и глубина

300(?) млн лет. Из того же источника – Б. Бостик с коллегами также выделяет четыре интервала от 390 до 300 млн лет, а Д. Браун с соавторами установили, что на регрессивной стадии выделяется три интервала от 300 до 376 млн лет.

Имеются сведения о находках К.А. Львовым в мраморизованных известняках карамалинских отложений фауны археоциат, а А.М. Микрюковым – обломок конодонта позднекембрийского возраста. Находки конодонтовой фауны не древнее ордовика в мраморизованных известняках метаморфитов максютовского комплекса, в частности в районе д. Юлук, принадлежат О.А. Захарову. Этот же исследователь из линзы кайраклинских мраморов, взятой в ур. Альмухаметово, обнаружил и обломки конодонтов, которые по определению О.В. Артюшковой и Т.М. Мавринской, не древнее ордовика [10].

Приведенные данные согласуются с представлениями о двучленном строении максютовского комплекса. В.И. Ленных, например, рассматривает его как коллизионно-шовную зону, состоящую из тектонически совмещенных двух толщ. Нижняя из них – континентального происхождения, существенно терригенного состава. Верхняя – офиолитового состава. По О.А. Захарову и М.Ю. Аржавитиной, максютовский комплекс также представлен двумя сериями: нижней – юмагузинской, а верхней – карамалинской. Нижняя серия сложена кварцитами и гранат-мусковит-глаукофан-кварцевыми сланцами среднерифейского возраста. Она отнесена к коре континентального типа. Верхняя представлена графитистыми сланцами и метабазальтами с будинами серпентинитов и линзами известняков. Она рассматривается как производная коры океанического типа. Возраст субстрата ее, по В.Н. Пучкову, – позднесилурско-раннедевонский. Контакт между сериями тектонический. В соответствии с этими взглядами генезис высокобарических эклогит-глаукофансланцевых пород рассматривается как результат взаимодействия пограничной зоны палеоконтинент – океан.

Хорошо сопоставимы критерии сравнительности максютовского метаморфического

комплекса зоны Уралтау Южного Урала и блыбского комплекса Передового хребта Большого Кавказа. Подмечены следующие общности. Аллохтонное структурное положение, пластинчато-надвиговый стиль тектоники. Особый породный состав комплекса, характеризующийся присутствием эклогитов и офиолитов. Контрастность первичного состава с участием субстрата континентального и океанического происхождения. Равнозначность метаморфических преобразований (до высоких ступеней). Возраст первичных пород (докембрий либо палеозой). Несколько периодов их метаморфизаций, близко одновозрастных для сравниемых объектов в интервалах нижнего–верхнего палеозоя.

Ацгаринский метаморфический комплекс большинство современных исследователей Большого Кавказа считают тектонической пластиной (аллохтоном) в составе пакета герцинских покровов Передового хребта (см. рис. 4). Он протягивается с перерывами от верховьев рек Кяфар-Агура и Большого Зеленчука на востоке до р. Белой на западе, залегая на девонских и нижнекаменноугольных отложениях либо на породах офиолитового комплекса [14–16].

По сравнению с Блыбским он сложен образованиями, подвергшимся меньшим ступеням метаморфизма. В нем преобладают метатерригенные слюдяные сланцы, микрогнейсы и филлиты, образовавшиеся по песчаникам и алевролитам. Его расчленяют на ацгаринскую и кяфарскую свиты [17] либо абиширо-ахубскую, ацгаринскую, кяфарскую и речепстинскую толщи [18]. По И.П. Гамкрелидзе, Д.М. Шенгелии [7], Ацгаринский аллохтон состоит из нескольких самостоятельных пластин, отличающихся между собой составом исходных пород и степенью регионального метаморфизма. Выделяют четыре самостоятельных пластины: ацгаринскую, абиширо-ахубскую, чиликскую, кяфарскую, с площадью выходов ее от 5 до 25 км². Между пластинами картируются тектонические нарушения, маркируемые мощными зонами милонитов и местами хорошо выраженным

структурным несогласием между породами покрова (рис. 7).

Метаморфиты, слагающие тектонические пластины, отличаются по составу исходных пород и по степени регионального метаморфизма. Краткие сведения о них приводятся по [7].

Первая, самая нижняя пластина в комплексе Ацгаринского покрова, надвинута на верхнедевонские-нижнекаменноугольные отложения, относящиеся к Кизилкольскому тектоническому покрову, или на покров олиолитов, и отделена тектоническими нарушениями от других пластин. Представлена она метаморфизованными сланцами, мигматитами и чиликскими гранитоидами, что отличает ее от других пластин. Состоит из катаклизированных и ретроградно измененных метапелитов, насыщенных K_2O . Пород, богатых CaO , в ней мало. Это плагиоклазовые и пироксен-плагиоклазовые амфиболиты, в которых амфиболы представлены бурыми или буровато-зелеными ро-

говыми обманками. Степень регионального метаморфизма пород первой пластины соответствует фации биотит-мусковитовых гнейсов. Температура метаморфизма составляет 560–600°C, а давление – 3–3,2 кбар.

Вторая пластина расположена на олиолитах и породах первой пластины. Она сложена богатыми CaO разновидностями, среди которых различаются плагиоклазовые и эпидотовые амфиболиты, нередко со сфером и хлоритом, а также хлорит-эпидотовые сланцы со сфером, эпидот-актинолитовые сланцы и горнблендиты. Редко встречаются метапсаммиты и биотит-кварц-эпидот-плагиоклазовые сланцы. По минеральным парагенезисам степень регионального метаморфизма второй пластины соответствует ставролит-хлоритоидной субфации ставролитовой фации, а диафторизованных разновидностей – зеленосланцевой фации.

Третья пластина состоит из двух частей. В составе нижней преобладают породы, бо-

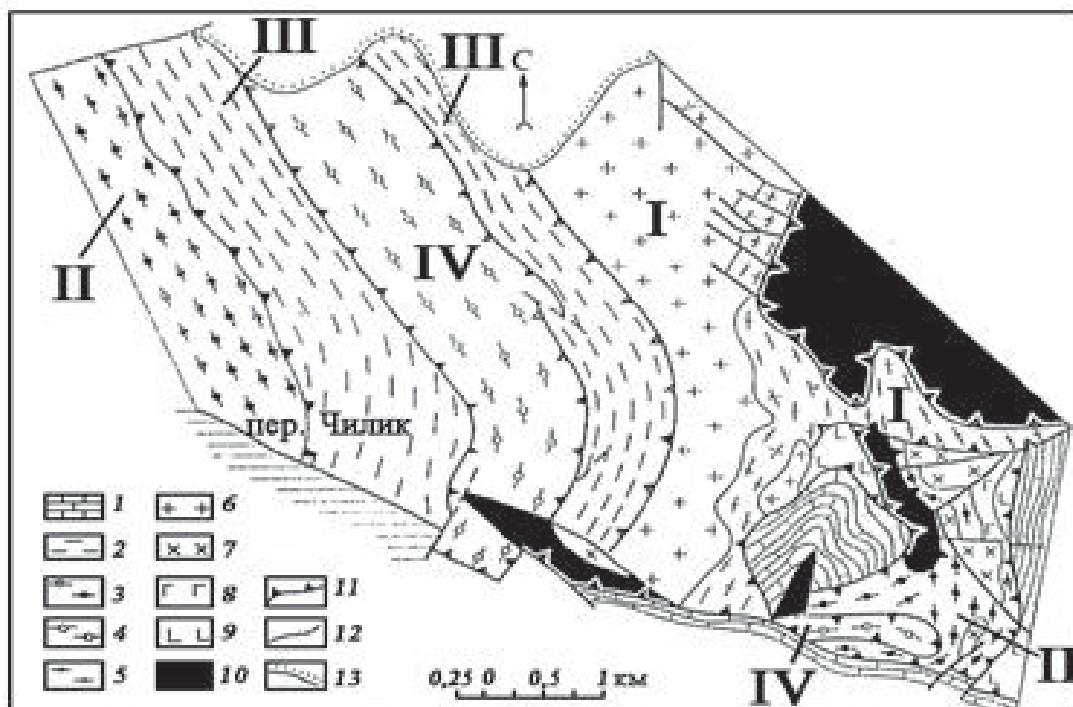


Рис. 7. Схема геологического строения верховьев рр. Кяфар и Ацгара. По Д.М. Шенгелиа и др. [19], с использованием материалов Е.В. Хайна, В.Ф. Сидоренко, Г.Л. Донченко и др.:

1 – известняки, филлиты и зеленые сланцы фамена-турне; 2 – микрогнейсы, графитовые сланцы; 3 – амфиболиты; 4 – десульфидные гранат-ставролитовые сланцы (Кяфарская тектоническая пластина); 5 – гнейсы с прослоями амфиболитов; 6 – мигматиты чиликского комплекса; 7 – габбро-диориты; 8 – габброиды; 9 – базальтовые порфирииты, спилиты, диабазы; 10 – серпентинизированные гипербазиты; 11 – надвиги; 12 – разрывы; 13 – стратиграфически несогласные. I, II, III и IV – тектонические пластины Ацгаринского покрова

гатые CaO, а в верхней части – K₂O. Среди пород нижней части присутствуют роговообманковые сланцы с повышенной метаморфизацией. Степень регионального метаморфизма соответствует биотитовой субфации зеленосланцевой фации. Температура метаморфизма составляет 340–480°C.

Основная часть четвертой пластины сложена насыщенными K₂O метапелитами. Второстепенную роль играют богатые CaO породы. Встречаются двуполевошпатовые гнейсы и графитовые кварциты. Степень регионального метаморфизма пород Кяфарской пластины соответствует ставролит-хлоритовой субфации ставролитовой фации. Температура минералообразования оценивается в 500–600°C.

По условиям давлений метаморфические породы тектонических пластин Ацгаринского покрова принадлежат к умеренному барическому типу.

На состав исходных пород метаморфитов Ацгаринского покрова существуют разные точки зрения. По мнению одних исследователей [17; 20], парагнейсы покрова образовались за счет песчаников и алевролитов. Ставролитовые и другие сланцы являются преобразованными глинистыми осадками, а амфиболиты – вулканогенными породами основного состава. Г.И. Баранов и И.И. Греков считают, что покров представляет собой часть литосферной плиты сиалического континентального типа. На существенно сиалический состав Ацгаринского покрова указывает и М.Л. Сомин. Противоположных точек зрения придерживаются Ш.А. Адамия и другие, считая метаморфиты метаофиолитами некоего океанического бассейна. По мнению И.П. Гамкрелидзе и Д.М. Шенгелиа состав исходных пород для разных пластин различный. Но лишь в четвертой и второй из них он в небольших объемах отмечает метавулканиты основного и среднего состава.

Большинство исследователей отложения Ацгаринского покрова предположительно датируют докембрием [7; 17], а Е.В. Хайн [16] – нижним палеозоем. «K-Аг возраст метаморфитов Ацгаринского тектонического по-

кровя, определенный М.М. Аракелянц по материалам М.Л. Сомина: по мусковитам из метапелитов Кяфарской пластины – 390, 387±10 и 368±10 млн лет, а из пегматита, прорывающего эти сланцы, – 364±11 млн лет; по роговой обманке из двух проб неметаморфизованной дайки лампрофира, секущей сланцы этой же тектонической пластины – 400±12 и 394±14 млн лет, и биотита из той же породы – 366±10 млн лет. М.Л. Сомин считает, что эти цифры ближе к истинному возрасту регионального метаморфизма. Наиболее высокое значение K-Аг возраста – 470±14 млн лет (Е. Хайн) получено по роговой обманке из амфиболита, вероятно, абиширо-ахубской единицы (Сомин и др.), или же второй пластины (Шенгелиа и др.) Ацгаринского тектонического покрова» [7, с. 211].

Суванякский комплекс. Метаморфические породы комплекса прослеживаются более чем на 400 км от хребта Уйташ (район севернее с. Кирябинское) на севере до широтного течения р. Урал на юге. Геологическое строение и метаморфизм комплекса освещались Д.Г. Ожигановым, С.С. Гороховым, В.И. Ленных, В.И. Козловым, А.А. Алексеевым и многими другими.

В южной части Уралтауской структуры ранее Д.Г. Ожигановым в составе нижней части суванякского комплекса, относимого им к среднему и позднему протерозою, выделялись: уткальская, курташская, тупаргасская, мазаринская и укшук-арвякская свиты. Позже В.И. Козловым здесь назывались: уткальская, курташская, акбийская и белекейская свиты. Краткие сведения о них приводятся по данным этого автора [21].

Уткальская свита пользуется большим распространением, непрерывно протягиваясь через всю Уралтаускую зону – от с. Кирябинское на севере до бассейна р. Баракал на юге. В составе ее преобладают слюдяно-хлорит-плагиоклаз-кварцевые сланцы, переслаивающиеся с существенно кварцевыми разностями, кварцитами и иногда графит-кварцевыми сланцами. Существенными признаками свиты является ритмичный характер пересла-

ивания полево-шпатовых и кварцевых разностей сланцев и кварцитов, а также наличие порфиробластов альбита, придающих породе «рябчиковый облик».

Курташская свита представлена несколькими толщами, связанными между собой постепенными переходами. В составе ее преобладают кварциты, мусковит-кварцевые сланцы, кварцito-песчаники и слюдяно-кварцевые сланцы. Иногда присутствуют графитистые и карбонатсодержащие разности. Севернее р. Суваняк свита расчленяется на две толщи, нижняя из которых кварцитовая, а верхняя – преимущественно сланцевая.

Акбийская свита имеет сложное строение и недостаточно обнажена. В ее составе по рр. Суваняк, Баракал и Бетеря выделяют: кварцito-песчаники, кварциты с линзами гравелитов и прослоями филлитизированных сланцев серицит-хлорит-кварцевого состава; плойчатые мусковит-кварцевые сланцы, ритмично переслаивающиеся, прослоями известковистые. В разрезе по р. Суваняк выделяют две толщи: кварцito-песчаниковую – нижнюю и преимущественно сланцевую – верхнюю.

Белекейская свита завершает разрез метаморфических толщ суванякского комплекса. Она распространена от истоков р. М. Суваняк на севере до широтного течения р. Сакмары на юге. С подстилающей акбийской свитой она связана постепенными переходами и отличается преобладанием сланцев, часто почти не метаморфизованных, а также сиреневой окраской пород нижней части разреза, маркирующих нижнюю границу свиты.

Субстрат метаморфического комплекса названных выше свит представлен почти исключительно терригенными породами. Аповулканические образования типа зеленых сланцев и особенно карбонатные породы имеют очень незначительное развитие.

По А.А. Алексееву и др. [11], метаморфические породы комплекса по химизму отвечают осадочным породам песчано-глинистого состава и отличаются низкой известковистостью, преобладанием калия над натрием в составе щелочей, повышенной и иногда высокой (в филлитах) глиноземистостью. Аль-

битсодержащие парасланцы, отличающиеся почти равными содержаниями натрия и калия, образовались, вероятно, по алевролитоглинистым породам с первично повышенным содержанием натрия.

Метаморфизм суванякского комплекса характеризуется относительно низкоградиентным, слабозональным региональным метаморфизмом в условиях филлитовой и зелено-сланцевой фаций, выдержаным на больших площадях. Наблюдается постепенное усиление степени метаморфизма пород комплекса вниз по стратиграфическому разрезу – от типичной филлитовой фации (белекейская и акбийская свиты) до мусковит-хлоритовой и местами до биотит-мусковитовой субфации зеленосланцевой фации (свиты от уткальской и ниже), а также с юга на север – от филлитовой до зеленосланцевой фации. Считают, что наблюдаемое в некоторых участках присутствие хлоритоидсодержащих пород указывает на обусловленность их локальными проявлениями стресс-метаморфизма.

Согласно [11], современные представления о возрасте слагающих суванякский метаморфический комплекс стратиграфических подразделений дискуссионны. В Унифицированных и корреляционных стратиграфических схемах Урала уткальская свита отнесена к среднему рифию, а остальные свиты комплекса – к верхнему рифию, кудашу и отчасти к венду. Важная информация для корреляции различно метаморфизованных толщ была получена при изучении типоморфизма обломочного циркона и определении его изотопного возраста. В частности, было установлено наличие в отложениях рифия стратотипических разрезов Башкирского антиклиниория и в одновозрастных им метаморфических образованиях Уралтауского антиклиниория трех единых уровней радиологического возраста дегритового циркона [21]. Нижний уровень (зигальгинская свита Башкирского антиклиниория) сопоставляется с уткальской свитой хр. Уралтау) определяется радиологическим возрастом малиново-красных, красных и темно-красных цирконов от 1600–2100 до 2300–2600 млн лет. Средний уровень – возрастом

темно-розовых и розовых цирконов от 1100–1400 до 1600–1700 млн лет. Верхний уровень (укская, урюкская, басинская, куккараукская, аршинская свиты Башкирского антиклиниория сравниваются с акбийской и белекайской свитами Уралтау) – возрастом розовых (от 1300–1500 до 1700 млн лет), матовых (2400 млн лет) и красных (от 2050–2300 до 2400–2600 млн лет) цирконов. Определение радиологического возраста циркона из гранитов Барангуловского массива (660 ± 15 млн лет, Pb-Pb и U-Pb методы) позволило уточнить возраст мазаринской свиты Уралтау, которую эти граниты прорывают, а значит, и в целом пород Уралтауского антиклиниория.

К настоящему времени известно достаточно много данных о развитии в составе суванякского комплекса образований палеозойского возраста. Так, при геологической съемке в западной части Уралтауской структуры в 1960 г. Д.Д. Криницким и В.М. Криницкой, а 1967 г. – Ю.В. Казанцевым в филлитах белекайской свиты была выявлена фауна грaptолитов венлок-лудловского возраста. Это позволило им отнести часть отложений белекайской свиты к силуру и предположить нижнеордовикский возраст отложений акбийской свиты. На основании находок фауны конодонтов в ряде пунктов, впервые сделанных В.Н. Пучковым в 1975 г., отложения суванякского комплекса отнесены к палеозою – от верхнего кембрия (уткальская свита) до силура (белекайская свита). Палеозойский возраст отложений суванякского комплекса был подтвержден пробуренной в западной части Уралтауской структуры скважиной Уралтауская-1, которая забурилась в метаморфических образованиях бе-

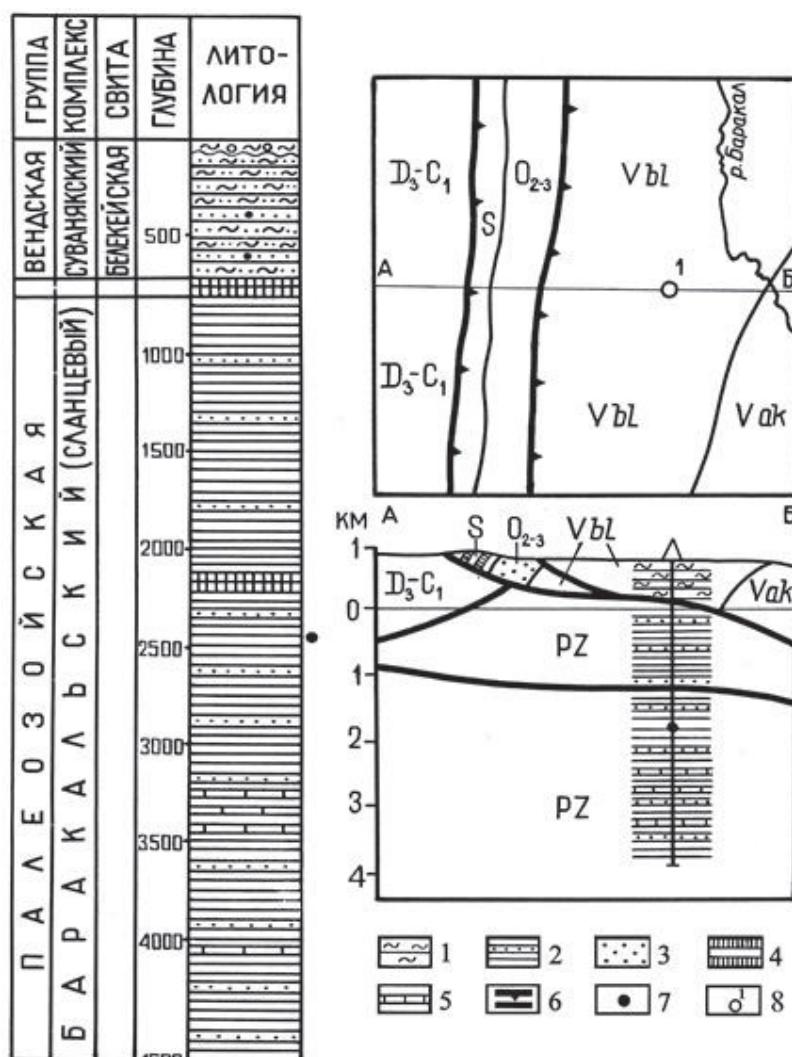


Рис. 8. Геологический разрез района скв. Уралтауская-1.

Составил Ю.В. Казанцев:

1 – серицит-кварцевые и серицит-хлорит-кварцевые сланцы с прослоями мелкозернистых кварцита-песчаников; 2 – глинистые сланцы с прослоями и пачками кварцевых алевролитов; 3 – песчаники; 4 – кремнистые и глинистые сланцы (переслаивание); 5 – известняки; 6 – надвиги; 7 – место отбора пробы с определимыми микрофоссилиями; 8 – скв. Уралтауская-1

лекеевской свиты, а на глубине 700 м вскрыла мощную сланцевую толщу (до глубины 4600 м). Изучение ее показало, что породы здесь сложно дислоцированы, отмечается плойчатость, многочисленные зеркала скольжения, а на глубине 2120 м – миллиониты. Ниже этого интервала Е.В. Чибриковой обнаружены в большом количестве и хорошей сохранности растительные микрофоссилии, а также акритархи. Они характеризуют возраст вмещающих их толщ как моложе кембрийского.

Мощную толщу палеозойских глинистых сланцев, вскрытую Уралтауской скважиной, мы отнесли к ранее неизвестной на Южном Урале структурно-формационной зоне, тектонически перекрытой с востока аллохтоном до-кембрийских пород хр. Уралтау (рис. 8).

По литологическому составу, условиям осадконакопления, возрасту и характеру дислоцированности эти образования сопоставлялись со сланцевой толщей Лемвинской структурно-формационной зоны Полярного Урала [21], хорошо описанной В.Н. Пучковым.

По данным С.С. Горохова, Л.Н. Овчинникова, А.А. Алексеева, радиологические определения калий-argonовым методом возраста метаморфических пород суванякского комплекса соответствуют значениям от 290 до 555 млн лет. Они группируются в интервалы 490–555, 350–425 и 290 млн лет, что интерпретируется как свидетельство проявления вендского и каледонского этапов метаморфизма. Наиболее молодая датировка в 290 млн лет получена по мусковит-хлоритоидному сланцу мазаринской свиты в Тирлянском районе. Она свидетельствует о локальном проявлении в зоне Уралтау и позднепалеозойской фазы метаморфизма.

Итак, геология метаморфического суванякского комплекса зоны Уралтау Южного Урала и ацгаринского – Передового хребта Большого Кавказа имеют следующие общие черты. Как это показано выше, их структурное положение – аллохтонное, а взаимоотношения с сопредельными структурными элементами – тектонические. Они хорошо сопоставляются по особенностям пластинчато-надвигового стиля тектоники. В первичном (до метаморфизма) составе их преобладают породы преимущественно осадочного генезиса. Выявляется общность в характере метаморфических преобразований сравниваемых комплексов. Это довольно низкие ступени метаморфизма. Дискутируется проблема возраста субстрата – до-кембрий либо палеозой. На современной стадии изученности решение этого вопроса находится на равнозначной неопределенности как по данным геохронологии, так и по палеонтологическим находкам.

Изложенное выше свидетельствует о хорошей сопоставимости геологии метаморфических комплексов домезозоя хребта Уралтау Южного Урала и Передового хребта Большого Кавказа, а следовательно, о вероятной общности истории их геодинамического развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Казанцева Т.Т., Казанцев Ю.В. О проблеме структурного продолжения южной конечности Урала // Вестник АН РБ. 2009. Т. 14, № 2. С. 5–16.
2. Казанцева Т.Т. К сравнительному анализу структурной геологии Южного Урала и Кавказа в палеозое // Известия Уфимского научного центра Российской академии наук. 2013. № 1. С. 7–79.
3. Хайн Е.В. Офиолиты в герцинской покровной структуре Передового хребта Северного Кавказа // Геотектоника. 1979. № 4. С. 63–80.
4. Омельченко В.Л. О месте пород блыбского комплекса в домезозойской структуре зоны Передового хребта (Северный Кавказ) // Геотектоника. 2007. № 4. С. 60–70.
5. Сомин М.Л., Лаврищев В.А. Совмещенные комплексы в структуре Передового хребта Большого Кавказа // Доклады РАН. 2005. Т. 401, № 3. С. 372–375.
6. Камалетдинов М.А. Покровные структуры Урала. М.: Наука, 1974. 230 с.
7. Гамкрелидзе И.П., Шенгелиа Д.М. Докембрийско-палеозойский региональный метаморфизм, гранитоидный магматизм и геодинамика Кавказа. М.: Научный мир, 2005. 460 с.
8. Сомин М.Л., Потапенко Ю.Я., Смульская А.И. Чучкурские ксенолиты и проблема тектонического положения среднепалеозойских вулканогенно-осадочных толщ Передового хребта Северного Кавказа // Доклады РАН. 2009. Т. 428, № 3. С. 368–370.
9. Захаров О.А., Пучков В.Н. О тектонической природе максютовского метаморфического комплекса на Южном Урале. Уфа, 1994. 30 с.
10. Захаров О.А., Аржавитина М.Ю. Геология и геохимия максютовского комплекса зоны Уралтау. Уфа: Гилем, 2007. 91 с.
11. Алексеев А.А., Алексеев Г.В., Галиева А.Р., Тимофеева Е.А. Метаморфическая геология западного склона Южного Урала. Уфа: Гилем, 2006. 212 с.

12. Пучков В.Н. Геология Урала Приуралья. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
13. Ковалев С.Г., Тимофеева Е.А. Термодинамические и геотектонические условия образования эклогитов максютовского метаморфического комплекса // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов АН РБ. 2012. № 18. С. 3–14.
14. Баранов Г.И., Греков И.И. Ацгаринский тектонический покров на Северном Кавказе // Тезисы докл. IV конф. по геологии и полез. иск. Северного Кавказа. Ессентуки, 1974. С. 101–102.
15. Хайн Е.В. Офиолиты и герцинская покровная структура Передового хребта Северного Кавказа: автореф. канд. дис. М.: ГИН АН СССР, 1981. 30 с.
16. Хайн Е.В. Офиолиты и покровная структура Передового хребта Северного Кавказа // Тр. ГИН. М.: Наука, 1984. 120 с.
17. Баранов Г.И., Кропачев С.М. Стратиграфия, магматизм и тектоника Большого Кавказа на докембрийском и палеозойских этапах развития // Геология Большого Кавказа. М.: Недра, 1976. С. 45–154.
18. Сомин М.Л. О движениях, формировавших структуру Большого Кавказа // Проблемы геодинамики Кавказа. М.: Наука, 1982. С. 110–117.
19. Шенгелиа Д.М., Чичинадзе Г.Л., Кецховели Д.Н., Мгалоблишвили И.З., Каходзе Р.Г. и др. Петрология метаморфитов Ацгаринского покрова на Северном Кавказе // Изв. АН СССР. Серия геол. 1986. № 5. С. 17–27.
20. Сомин М.Л., Хайн Е.В., Видяпин Ю.П. О проблеме Ацгаринского тектонического покрова // Тезисы докл. V конф. по геологии и полез. иск. Северного Кавказа. Ессентуки, 1980. С. 126–128.
21. Камалетдинов М.А., Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т., Козлов В.И., Постников Д.В. Геология и перспективы нефтегазоносности Урала. М.: Наука, 1988. 239 с.

COMPARATIVE ANALYSIS OF PRE-MESOZOIC METAMORPHIC COMPLEXES OF THE GREATER CAUCASUS AND THE SOUTHERN URALS

© T.T. Kazantseva

Institute of geology of the Ufimian scientific centre, Ufa, Russian Federation

The comparison involves geographically close metamorphic formations. These are the blybsky and atsgarinsky complexes of the Front Range of the Caucasus, on the one hand, and the suvanyaksky and maksyutovsky zones of the Uraltau Range of the Southern Urals, on the other. The mentioned structures are significantly different from the adjacent areas by intensity of deformations and deeper metamorphism of the rocks. The article contains materials about the identity of the structural position, tectonic style, the nature of metamorphism, the nature of the substrate and geochronological data of the compared objects, which shows possible generality of the history of their geodynamic development.

Key words: complex, formation, allochton, composition, substrate, metamorphism, Pre-Cambrian, Paleozoic.

УДК 553.061.12/17:550.89.001.57

К 80-летию члена-корреспондента РАН М.А. Ильгамова

ДИНАМИКА СТАНОВЛЕНИЯ АХУНОВО-КАРАГАЙСКОГО ГРАНИТНОГО МАССИВА И НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ ПОИСКОВЫХ РАБОТ ПО ЕГО ПЕРИФЕРИИ

© В.И. Сначёв

Раскрывается проблема становления Ахуново-Карагайского гранитного массива, расположенного в восточной части Магнитогорского мегасинклинория. Показано, что зоны изотермической стабилизации термоградиентного поля служили концентратами рудных полезных ископаемых. Рассмотрены условия формирования гранитов, длительность их кристаллизации, динамика развития теплового поля. Математическое моделирование позволило не только по новому взглянуть на металлогенению обрамления Ахуново-Карагайского гранитного массива, но и оценить его потенциальную рудоносность.

Ключевые слова: Ахуновский массив, граниты, тепловое поле, оруденение, динамика кристаллизации.

Ахуново-Карагайская гранитная интрузия с прилегающими к ней вулканогенно-осадочными породами расположена в северной части восточного крыла Магнитогорского мегасинклинория. Сложен участок девонскими и нижнекаменноугольными вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами, простирающимися в субмеридиональном направлении (рис. 1). Нижнекаменноугольные филлитовые и зеленые сланцы выходят на востоке района. К западу они сменяются сначала нижнедевонскими андезито-базальтами, затем среднедевонской базальт – андезит – дацит – риолитовой толщей и, наконец, флишоидными кремнисто-обломочными породами верхнего девона и известняками нижнего карбона. К западу от интрузии в зоне Агыро-Байдинского разлома развиты более древние кремнистые породы и диабазы силура, прорванные многочисленными дайками габбро – диабазов, габбро – диоритов, гранит – порфиров [1].

В плане Ахуново-Карагайский массив состоит из двух частей, соединенных между собой узкой перемычкой. Западную часть принято называть Ахуновским массивом, а восточную – массивом Уйского Бора. Между ними расположен Петропавловский массив

диоритов (рис. 1). Ахуново-Карагайский массив неоднороден по составу. В его сложении принимают участие многочисленные петрографические разности пород, среди которых наиболее широко распространены микроклиновые, плагиоклазовые и пегматоидные граниты. Главная роль принадлежит нормальнym микроклиновым гранитам. Возраст массива по радиологическим данным датируется рубежом среднего и верхнего карбона [2].

По периферии Ахуново-Карагайского массива известно значительное число связанных с ним редкometальных (вольфрамовых и золотых) рудопроявлений, сосредоточенных в большинстве своем на Байдинском участке, примыкающем к интрузивному телу с северо-запада (см. рис. 1). Кроме того, на Таш-Ярском участке (северная часть экзоконтакта) известны одноименное колчеданно-полиметаллическое месторождение, испытавшее значительное переотложение рудного вещества, и ряд сходных по составу рудопроявлений.

Для установления связи между рудными объектами и тепловым полем Ахуново-Карагайского массива нами было предпринято изучение температурного режима его формирования с помощью метода объемного моделирования. Исходные данные для расчета, а так-

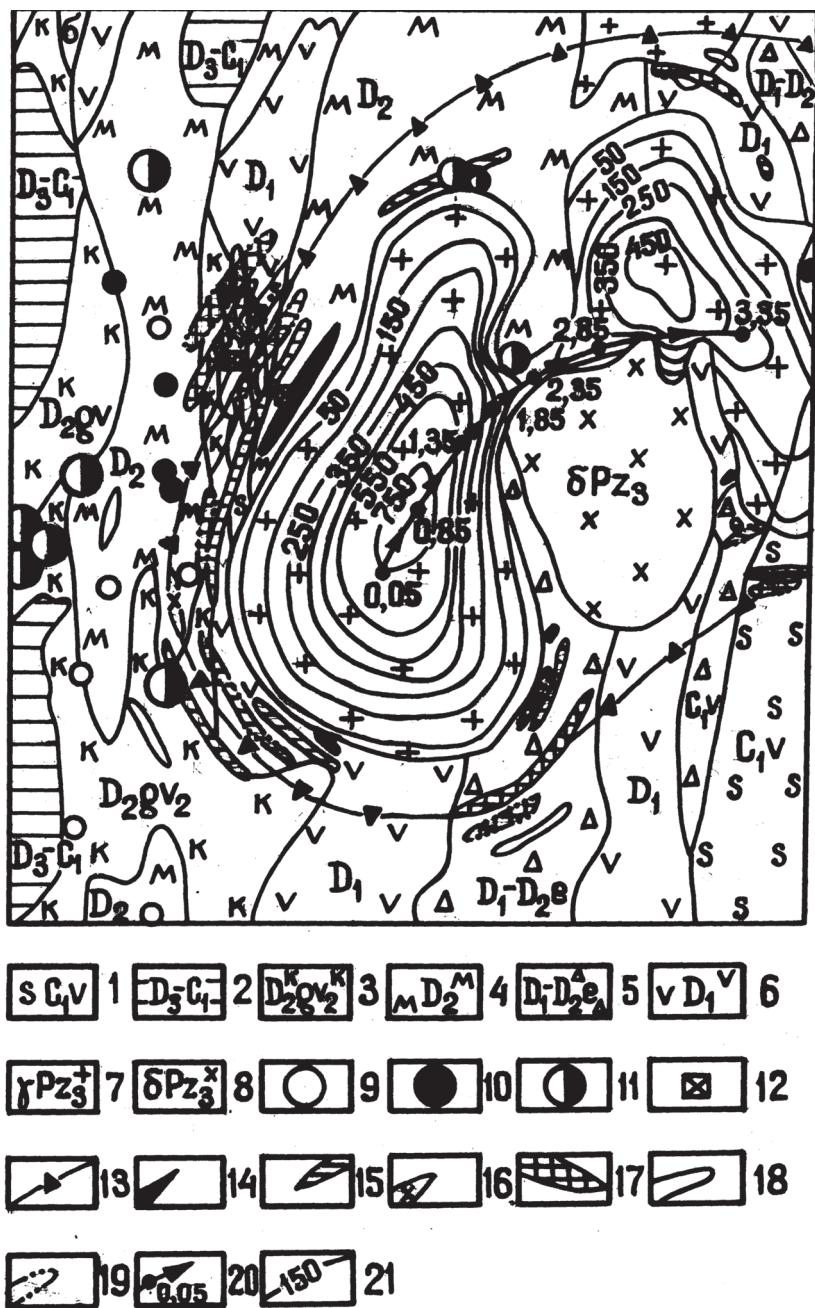


Рис. 1. Схема геологического строения обрамления Ахуново-Карагаского массива (составлена П.Ф. Сопко и др. [1]):

1 – филлитовые и зеленые сланцы; 2 – флишиоидные кремнисто-терригенные породы; 3 – осадочно-вулканогенные породы; 4 – базальт – андезит – дацит – риолитовая формация; 5 – туфогенные песчаники с прослойями базальтов; 6 – андезит-базальтовые породы; 7 – граниты; 8 – диориты; 9–12 – месторождения и рудопроявления: 9 – серноколчеданные; 10 – медноколчеданные; 11 – колчеданно-полиметаллические; 12 – шеелитовые; 13 – зона максимального развития изотермы 400°C; 14–18 – зоны изотермической стабилизации: 14 – 600°C; 15 – 500°C; 16 – 400°C; 17 – 350°C; 18 – 250°C; 19 – зоны изотермической стабилизации, вынесенные с глубины 2,5 км (знак внутри аналогичен срезу 0 км); 20 – миграция во времени центра максимальных температур (время в млн лет); 21 – миграция во времени границы твердая фаза-расплав, содержащий кристаллы (время в тыс. лет)

же динамика кристаллизации и эволюции теплового поля Ахуново-Карагайского массива рассмотрены ранее в статье [3], поэтому в данной работе остановимся на них очень кратко.

Исследованием затвердевших вклюений расплава в кварце микроклиновых гранитов установлено, что он кристаллизовался при температурах 890–920°C. Учитывая, что кварц выделяется из расплава в основном позднее полевых шпатов, температура массовой кристаллизации расплава при расчетах принята 950°C, а начальная его температура – 1000°C. Сопоставляя параметры первичных газовых вклюений с температурами гомогенизации затвердевших вклюений, было определено, что кристаллизация гранитоидов, находящихся на современном эрозионном срезе, происходила на глубине 3 км. Исходя из среднеземного температурного градиента, температура вмещающих пород здесь принята равной 90°C. При расчетах для более глубоких горизонтов температурные параметры гранитного расплава оставались постоянными, а температура вмещающих пород увеличивалась согласно принятому температурному градиенту.

Для проведения расчетов тепловых полей необходимо знание теплофизических параметров горных пород. В Институте геологии УНЦ РАН изучены теплоемкость, теплопроводность и температуропроводность главных разновидностей горных пород, слагающих рассматриваемую территорию (табл. 1).

Исходные данные для расчета тепловых полей

Основные разновидности пород	Плотность, г/см ³	Теплоемкость, кал/г *град	Теплопроводность, (кал/см *сек*град) 10 ⁻²	Температура в момент внедрения, °C	Температура начала кристаллизации, °C
Зеленые и филлитовые сланцы	2,78	0,260	0,617	90	–
Переслаивание зеленых сланцев и базальтовых порфиритов	2,84	0,264	0,630	»	–
Туфы и туфобрекчии андезитового состава	2,80	0,212	0,590	»	–
Туфы и туфобрекчии кислого состава	2,77	0,178	0,502	»	–
Туфы и туфобрекчии базальтового состава	2,83	0,239	0,577	»	–
Туфогенные песчаники	2,54	0,156	0,492	»	–
Основные эфузивы (измененные)	2,80	0,241	0,589	»	–
Эфузивы кислого состава	2,71	0,153	0,556	»	–
Миндалькаменные базальтовые порфириты	2,87	0,218	0,585	»	–
Эфузивы среднего состава	2,78	0,241	0,572	»	–
Диорит	2,80	0,152	0,703	»	–
Гранит	2,64	0,225	0,726	1000	950

Геологической основой моделирования явились представления о глубинном строении рассматриваемой территории [4]. По геофизическим данным Ахуновский массив является батолитом, вертикальная мощность которого составляет порядка 12–13 км. По геологическим наблюдениям и геофизическим материалам контакты гранитов с вмещающими породами в большинстве случаев имеют крутые (часто почти вертикальные) углы падения. Лишь в северной части на относительно небольшом расстоянии граниты погружаются полого под вмещающие вулканогенные образования, однако затем контакт вновь становится весьма крутым. В связи с такими особенностями морфологии массива был применен метод объемного моделирования в его двумерном варианте, рассчитав тепловые поля для трех горизонтов: современный эрозионный, срезы 2,5 км и 5 км от дневной поверхности. Основываясь на изложенных геологических данных, задача для каждого из трех

горизонтов математически может быть сформулирована аналогично тому, как это сделано в работе [5]. Отличие заключается лишь в том, что здесь учитывалась зависимость теплофизических параметров от температуры.

Динамика кристаллизации массива.

Процесс кристаллизации Ахуновского массива продолжался более 800 тыс. лет. Наиболее быстро кристаллизовались приконтактовые участки и верхние горизонты интрузии. Расплав длительное время (1 млн лет) сохранялся на горизонте 5 км. На горизонте 2,5 км расплав закристаллизовался за 850 тыс. лет, а на уровне современного эрозионного среза (условно гор. 0) кристаллизация закончилась примерно через 800 тыс. лет. На всех горизонтах в первую очередь затвердела перемычка, соединяющая западную и восточную части массива. Это происходило в течение первых десятков тысяч лет. В дальнейшем западная и восточная части массива кристаллизовались как самостоятельные

интрузии хотя и оказывали друг на друга, а особенно на область, расположенную между ними, заметное влияние. Западная часть кристаллизовалась на всех трех горизонтах примерно в 1,5 раза дольше, чем восточная.

Эволюция температурного поля. Температурное поле Ахуново-Карагайского массива имело четко выраженный северо-восточный эксцентризитет (рис. 1, 2), что объясняется высокой тепло- и температуропроводностью филлитов.

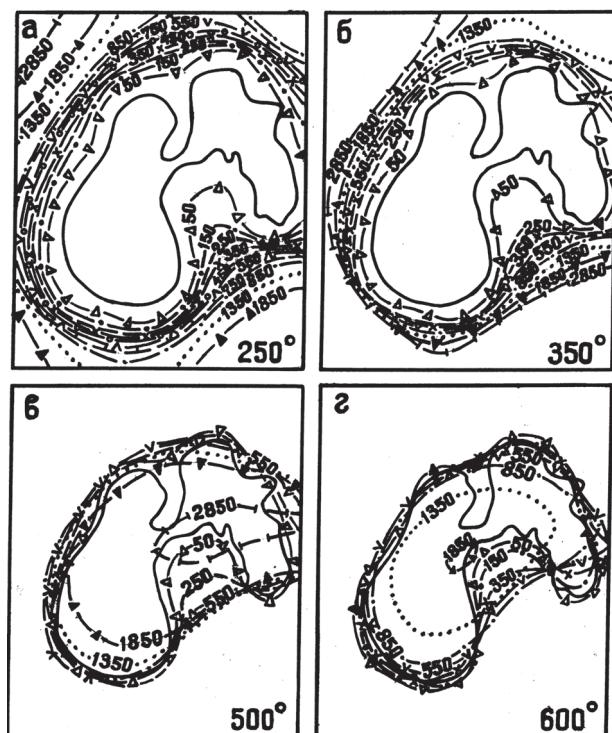


Рис. 2. Развитие во времени изотерм 250°C (a), 350°C (б), 500°C (в), 600°C (г). Время в тыс. лет

Моделирование проводилось на базе материалов, по точности отвечающих масштабу 1:200 000. В связи с этим нами проведено сопоставление результатов моделирования с данными гранат-биотитового и гранат-кордиеритового термометров [6] для роговиков района Таш-Ярского месторождения. Составы минералов получены с помощью рентгеновского микроанализатора (табл. 2). Сходимость температур, определенных по минеральным термометрам и в результате моделирования, удовлетворительная (табл. 3).

Закономерности размещения оруденения в температурном поле Ахуновского массива. В пределах рассматриваемой нами территории известен ряд колчеданных, редкометальных и золотых рудных объектов. Первые тесно связаны с девонской вулканогенной деятельностью. Все они, за исключением Таш-Ярского месторождения, расположены за пределами развития изотермы 400°C термального поля Ахуновского массива.

Сопоставление результатов математического моделирования с размещением других рудных объектов по периферии Ахуново-Карагайского массива позволило установить, что подавляющее их большинство строго ложатся в зоны изотермической стабилизации температур 350–550°C. Особого внимания заслуживают Таш-Ярский, Буйдинский, Карагайский, Северо-Курсанский участки (рис. 3).

Таш-Ярский участок. Опыт исследования контактово-термальных преобразований

Таблица 2

Химический состав и температура образования роговиков

Окислы, минералы	Скв. №	SiO ₂	Al ₂ O ₃	$\Sigma(FeO + Fe_2O_3)$	MnO	MgO	CaO	X_{Mg}^X	T, °C
Биотит-1 ^x	1254	33,8	20,6	22,3	—	5,9	—	0,32	710–730
Гранат-1	—	38,2	21,3	30,5	1,7	3,7	2,4	0,18	—
Кордиерит-1	—	48,7	32,4	14,4	0,1	5,8	—	0,42	720–740
Биотит-2	827	34,6	19,4	21,1	—	7,2	0,2	0,38	620–680
Гранат-2	—	37,3	22,2	33,5	3,3	2,42	2,1	0,11	—
Кордиерит-2	—	49,3	33,2	11,4	0,3	6,5	—	0,48	620–640
Биотит-3	1251	35,2	19,8	22,3	—	8,4	0,4	0,40	550–560
Гранат-3	—	37,2	21,7	34,2	0,9	1,86	1,2	0,09	—

Примечание. ^x цифровой обозначен номер точки наблюдения.

Сопоставление значений температур, полученных разными методами

По данным моделирования		По диаграммам фазового соответствия	
удаленность от массива	температура	удаленность от массива	температура
у контакта	700°C	у контакта	710–740°C
700–800 м	600°C	700–800 м	620–640°C
1000–1400 м	550°C	1200–1300 м	550–560°C

колчеданных месторождений показывает, что ощущимые изменения в составе рудных тел и их переработка происходят, начиная именно с температур порядка 400°C и выше. Согласно выполненным расчетам, на участке Таш-Ярского медноколчеданного месторождения, находящегося в северном экзоконтакте интрузива, была температура 700°C. Однако она существовала короткий промежуток времени. Гораздо дольше здесь сохранялись температуры 500–550°C. Зона, оконтуренная изотермой 500°C и вытянутая на 9 км в северо-восточном направлении, находилась в районе месторождения почти 1 млн лет. Таш-Ярское месторождение приурочено к ее центральной части. Месторождение представлено серией мелких субмеридиональных жил. Главные рудообразующие минералы – пирит, сфалерит, халькопирит, подчиненные – галенит, пирротин, магнетит. В окорудных вмещающих породах широко развиты биотит, гранат, кордиерит, турмалин. Таш-Ярское месторождение имеет длительную историю формирования, в которой можно выделить по крайней мере два этапа: доинтрузивный и постинтрузивный. В первый этап образовались вулканогенные колчеданные рудные тела. Во второй – происходила их перекристаллизация и переотложение. Экстракция рудного вещества из первичных вулканогенных руд протекала, вероятно, в температурном интервале 740–660°C на прогрессивной стадии kontaktового метаморфизма. При этом из-за существования значительных температурных градиентов рудные компоненты распылялись во вмещающих породах. В связи с тем, что начиная примерно с температуры 500°C здесь на длительное время установились нулевые градиенты температур, возникли условия для кон-

центрации высокотемпературной сульфидной минерализации. Поскольку крупных зон термостатирования в пределах контура T=400°C нет, то встретить здесь регенерированные колчеданные руды крупнее Таш-Ярского представляется маловероятным.

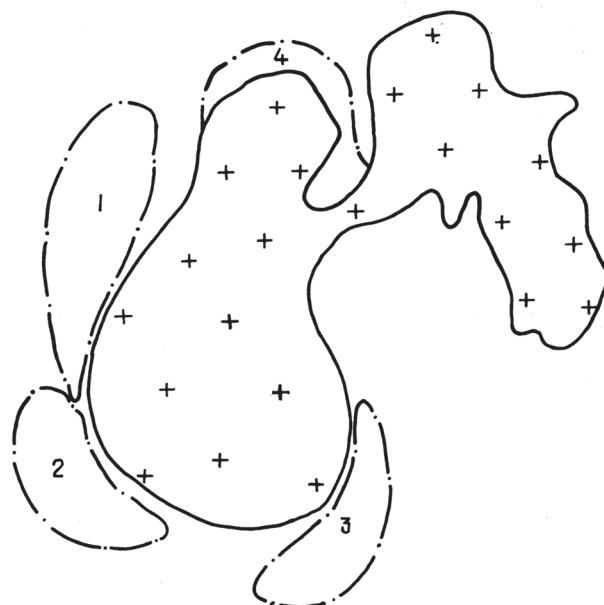


Рис. 3. Рекомендуемые площади на обнаружение оруденения. Участки: 1 – Буйдинский; 2 – Карагайский; 3 – Северо-Курсанский; 4 – Таш-Ярский

Буйдинский участок, занимающий площадь около 35–40 кв. км, расположен в западном экзоконтакте гранитной интрузии и так же, как и Карагайский участок приурочен к зоне Агыро-Буйдинского разлома, вытянутой в меридиональном направлении. Геологическое строение участка довольно простое. Центральная его часть, заключенная между двумя крупными разломами, сложена в основном силурийскими, нижнедевонскими породами основного, среднего и кислого состава, прорванными сложными по морфологии дайка-

ми габбро, габбро – диоритов, габбро – диабазов. Восточнее, ближе к контакту гранитного массива, широкой полосой протягиваются среднедевонские (эйфельские) эфузивы базальтового и риолитового состава, подвергнутые интенсивному kontaktовому метаморфизму. Далее на запад от сулурийско-нижнедевонских отложений развиты средне-девонские туфы и туфобрекции кислого и основного состава. В зоне развития Агыро-Байдинского разлома, трассирующегося на поверхности линзами серпентинитов, и в меньшей мере за ее контурами породы сильно рассланцованны, а местами подверглись значительным проявлениям березитизации и лиственинизации.

В пределах Байдинского участка известно несколько небольших месторождений и ряд рудопроявлений редких металлов (вольфрама, золота). Все они представлены залегающими в березитах и реже в лиственитах шеелито- и золотоносными кварцевыми жилами. Шеелитовая минерализация в кварце распространена гнездообразно. В ассоциации с ней отмечена и небольшая вкрапленность сульфидов. Протяженность жил незначительная, в пределах нескольких десятков метров. Простирание их в основном северо-восточное, близкое к меридиональному, падение западное. Многие из этих жил были выработаны еще в процессе разведки, что не позволяет провести их передокументацию. О происхождении жил нет единого мнения. Некоторые исследователи связывают их формирование с гидротермальной деятельностью Ахуново-Карагайского массива, другие считают более реальной связь с близ расположенным габброндным интрузивным телом [2]. Авторы склонны поддерживать первую точку зрения.

Пространственно все рудопроявления Байдинского участка можно разделить на две группы, первая из которых, наиболее удаленная от контакта Ахуново-Карагайского массива, приурочена к зоне субмеридионального разлома (Ганеевское, Воронцовское. Белая жила, Игнатьевское и др.), вторая расположена либо в восточной части габброндной интрузии, либо в зонах рассланцевания средне-

Острые горки, Арсламбаевское и др.). Важно отметить, что почти ни одно рудопроявление первой группы не содержит шеелит, тогда как в рудопроявлениях второй группы шеелит развит очень широко. Развитие здесь контрастной пары кислых и основных вулканитов дает возможность рассчитывать на нахождение не только редкометальных и золоторудных проявлений, но и медных и медноцинковых. На возможное открытие на Байдинском участке новых месторождений и рудопроявлений указывает еще и то, что шеелит и золото встречены здесь и во многих шлихах, взятых из мест вне сфер влияния известных шеелитопосных жил.

Наличие на Байдинском участке зон стабилизации температур делает эту область очень перспективной на выявление высокотемпературного гидротермального оруденения. Интервал времени стабилизации изотерм 600 и 500°C охватывает 350–850 тыс. лет, тогда как для изотерм 400, 350 и 250°C он несколько иной: 550–1350 тыс. лет. Это дает право считать перспективными для обнаружения гидротермальных руд всю область, расположенную между зонами стабилизации изотерм 250 и 500°C. Важность и правильность данного положения заключается еще и в том, что процесс рудоотложения, как известно, характеризуется не одной какой-то фиксированной температурой, а охватывает некоторый интервал. И не случайно все шеелитовые и золотые рудопроявления Байдинского участка лежат строго в пределах указанной области. Только два рудопроявления (в 400 и 500 м от массива) располагаются внутри области стабилизации изотерм выше 500°C. Образование их, вероятно, следует объяснить перегретым состоянием водных растворов в период формирования шеелит-кварцевых жил.

Двумерное моделирование теплового поля Ахуново-Карагайского гранитоидного массива сразу на нескольких гипсометрических уровнях (0–2,5 и 5 км) позволило в плотную приблизиться к объемной модели, что имеет большое значение не только для прогнозной оценки гидротермального орудене-

ния на глубину, но и для выявления его элементов залегания, необходимых для правильного ведения поисковых работ [7].

Примером тому может служить объемное изучение динамики теплового поля на Байдинском участке. Здесь на горизонте 0 км (современный эрозионный срез) зона изотермической стабилизации температуры 500°C тянется вдоль контакта гранитного массива на 16 км (см. рис. 1). Для более низких температур протяженность зон стабилизации уменьшается. Так, для температуры 400°C она не превышает 10 км, а для температуры 350°C – 7 км. Изотермы 250 и 120°C развивались во времени монотонно и не имели на данном участке каких-либо зон стабилизации. Это говорит об уменьшении перспективности площадей участка с удалением от контакта массива. Для горизонта 2,5 км картина несколько иная. Зоны изотермической стабилизации для разных температур близки по протяженности и не превышают 5–6 км. Продолжительность сохранения зон термостатирования на данном уровне несколько меньше, чем на срезе 0 км. Важно отметить и северо-западный эксцентризитет зон стабилизации среза 2,5 км по отношению к современному эрозионному срезу. В среднем зоны стабилизации смешены на 1–1,2 км к северо-западу. Такое развитие теплового поля с глубиной позволяет ожидать на Байдинском участке минерализованные системы трещин субмеридионального простирания с крутым (55–70°) запад – северо-западным падением. Термоупругие напряжения могли породить здесь системы трещин, ортогональные к рассмотренным, с субширотным простиранием. Для горизонта 5 км зоны изотермической стабилизации температур менее 600°C вообще отсутствуют, поэтому трудно говорить о какой-либо перспективности участка на таких глубинах. Сближенность зон термостатирования для разных температур срезов 0 и 2,5 км могли привести к телескопированности гидротермального оруденения на участке (особенно в приближенных к массиву частях Байдинского участка).

Как уже отмечалось ранее, для упрощения решения тепловой задачи нами исполь-

зовался двумерный вариант моделирования. Однако, когда было замечено, что зоны стабилизации ведут себя на разных уровнях по-разному, был применен искусственный прием, промежуточный между дву- и трехмерным моделированием. Тепловые поля, с выбранными в их пределах изотермами, для горизонтов 0 и 2,5 км нами аппроксимированы полиномами, и рассчитаны тепловые балансы между этими горизонтами. Зависимость длительности существования зон стабилизации для изотерм 350, 400 и 500°C от глубины показана на рис. 4. Нетрудно видеть, что наибольшая длительность в 1–1,5 млн лет, наблюдается на глубинах порядка 700–1200 м. Этот интервал глубинности, видимо, наиболее перспективен на обнаружение редкometальных и золотых руд. Продолжительность сохранения зон термостатирования па меньших глубинах несколько ниже, хотя и достигает даже на нулевом уровне не менее 0,85 млн лет, что также указывает на возможное обнаружение здесь интересных в промышленном отношении рудных тел. В целом редкметальное и золотое оруденение Байдинского участка на срезе 0 км представляет, вероятно, верхние части минерализованной зоны, перспективность которой с глубиной возрастает.

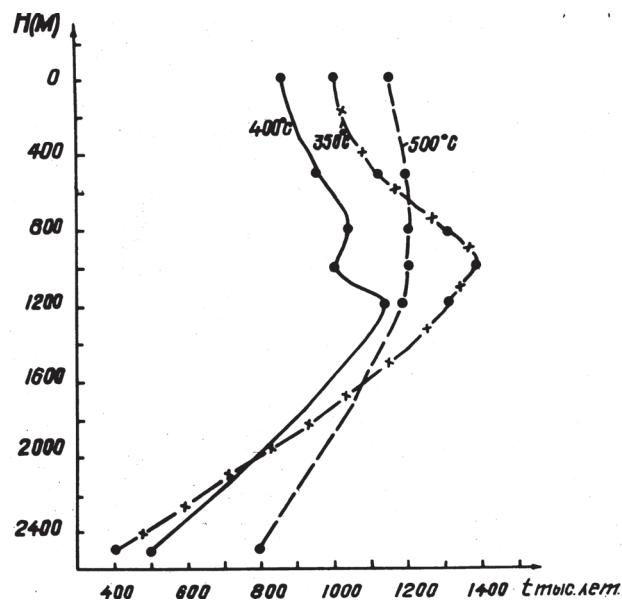


Рис. 4. Зависимость длительности стабилизации изотерм 350, 400, и 500°C от глубины на Байдинском участке

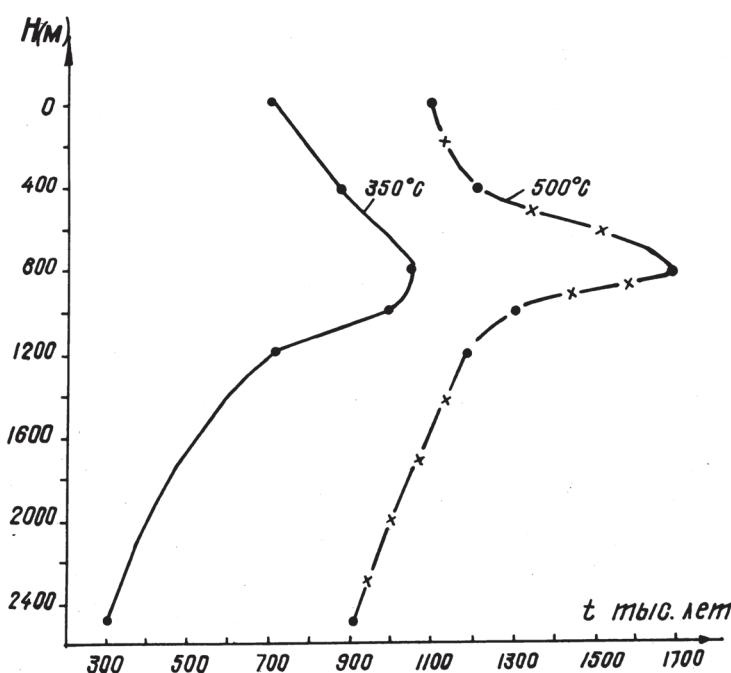


Рис. 5. Зависимость длительности стабилизации изотерм 350 и 500°C от глубины на Северо-Курсанском участке

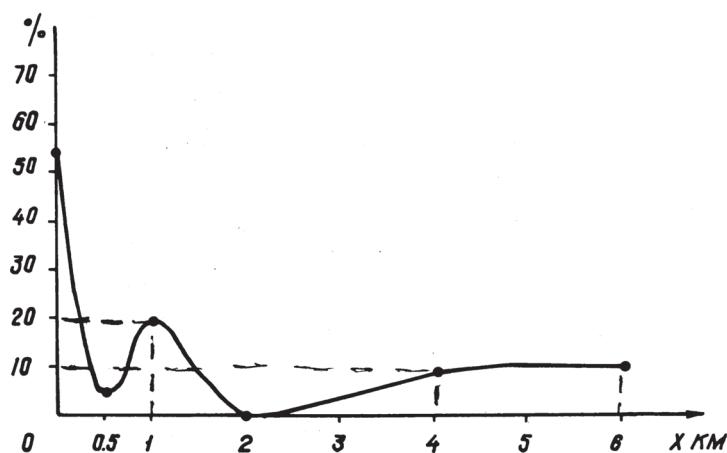


Рис. 6. Характер связи числа рудопроявлений (в % от их общего количества) с удаленностью от зон термостатирования

Карагайский участок находится южнее Буйдинского участка уже в пределах Челябинской области (см. рис. 1). Здесь на южном продолжении зоны Агыро-Буйдинского разлома известно несколько редкометальных и золоторудных проявлений (Карагайские жилы и др.). Тепловое поле на Карагайском участке развивалось близко к тому, что мы видим на Буйдинском участке. Отличие заключается в заметно меньших значениях температур в его пределах. В связи с этим Северо-Курсанский, Восточно-Петропавловский и Папапинский участки, расположенные на территории Челябинской области, также перспективны на обнаружение гидротермального оруденения.

Наиболее интересным из них является Северо-Курсанский участок. В отличие от Буйдинской площади на Северо-Курсанском участке зоны изотермической стабилизации горизонта 2,5 км для разных температур по отношению к горизонту 0 км смешались в противоположные стороны (см. рис. 1). Так, если для температуры 500°C смещение произошло в сторону контакта гранитного массива, то для температуры 350°C – на юго-восток от него. Поэтому на Северо-Курсанском участке можно ожидать системы зон минерализации с различными углами падения. В приконтактовой части падение минерализованных зон должно быть северо-западным, а в удаленных – юго-восточным. Незначительные смещения зон стабилизации горизонта 2,5 км по отношению к срезу 0 км позволяют говорить о более круtyх углах падения, чем на Буйдинском участке. Наиболее перспективными на обнаружение гидротермальных руд на Северо-Курсанском участке являются, как это следует на рис. 5, глубины порядка 400–1000 метров, что связано с очень большой длительностью сохранения на этих глубинах теплового поля. Температура 500°C, например, сохраняясь постоянной на глубине 800 м от современного эрозионного среза в течение 1,7 млн лет; температура 350°C просуществовала несколько меньший интервал времени, охватывающий 1 млн лет. На превышающих километр глубинах перспективность участка на обнаружение гидротермальных руд заметно снижается. Это проявляется не только в уменьшении длительности стабилизации температур с глубиной, но и в уменьшении размеров и площадей их локализации. Так, если на срезе

0 км зоны стабилизации изотерм 350 и 500°C протягиваются вдоль контакта Ахуново-Карагайского массива соответственно на 10 и 5 км, то на срезе 2,5 км их протяженность уменьшается до 4,5 и 3,5 км (см. рис. 1).

Несколько рудных объектов расположено вне зон термостатирования Ахуново-Карагайского массива (рис. 6). Они либо расположены вне зоны его влияния, либо связаны, вероятно, с Воронинским гранитным массивом, расположенным севернее массива Уйского Бора, тепловое поле которого не рассчитывалось. По периферии Ахуново-Карагайского массива, кроме перечисленных, выявился еще ряд участков, в пределах которых установлены крупные зоны термостатирования, что делает их весьма перспективными на поиски скрытого оруденения. На этих участках в ближайшее время также необходимо провести поисковые работы. При этом следует учитывать решающую роль «барьера температуропроводности» на литологических и тектонических контактах при локализации рудного вещества [8]. Приуроченность шеелитовых и других редкометальных рудопроявлений на Буйдинском участке к такого рода контактам пород и тектонических нарушений подтверждает правильность высказанного положения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сопко П.Ф., Салихов Д.Н. Интрузивный магматизм башкирской части Магнитогорского мега-

синклиниория // Изв. вузов. Геол. и разв. 1969. № 2. С. 3–15.

2. Нестоянова О.Д., Ленных Г.А. Объяснительная записка к геологической карте СССР М 1:200000 листа № 40–XVIII. М.: Госгеолтехиздат, 1959. 156 с.

3. Демин Ю.И., Сначёв В.И. Термальные поля Ахуновского гранитного массива и закономерности размещения в них оруденения // Докл. АН СССР. 1981. Т. 261, № 1. С. 152–156.

4. Сначёв В.И., Демин Ю.А., Романовская М.А., Щулькин В.Е. Термальный режим становления гранитоидных массивов / БНЦ УрО АН СССР. Уфа, 1989. 120 с.

5. Демин Ю.И., Красн М.С., Яковлев Г.Ф. Исследования динамики становления магматических тел в рудных районах методом объемного моделирования на ЭВМ // Вест. МГУ. Сер. геол. 1976. № 1. С. 3–18.

6. Сначёв В. И. Сравнительная характеристика степени преобразования колчеданных месторождений Весеннее и Таш-яр // Вулканализм и рудообразование Урала / БФАН СССР. Уфа, 1982. С. 58–65.

7. Сначёв В. И., Знаменский С. Е. Связь геохимических ореолов с тепловым полем Ахуново-Карагайского массива (Ю. Урал) // Литохимические методы поисков глубокозалегающих рудных месторождений. М.: Наука, 1985. С. 56–61.

8. Золотарев В. Г. Зоны стабилизации температур в тепловых полях гранитоидов и расположение в них рудных месторождений // Методы геохимического прогнозирования. Прага, 1979. Т. 1, вып. 1. С. 112–124.

DYNAMICS OF FORMATION AKHUNOVA-KARAGAI GRANITE MASSIF AND SOME METHODOLOGICAL ISSUES PROSPECTING AT THE PERIPHERY

© V.I. Snachev

Institute of geology of the Ufimian scientific centre, Ufa, Russian Federation

This paper is devoted to the problem of making Akhunova-Karagai granite massif, located in the eastern part of the Magnitogorsk megasinklinoriya. It is shown, that the isothermal zone temperature gradient field stabilization served concentrates ore minerals. The conditions for the formation of granites, the duration of their crystallization, the dynamics of the thermal field. Mathematical modeling has not only a new look at framing metallogeny Akhunova-Karagai granite massif, but also to evaluate its potential ore-bearing.

Key words: Ahunovsky array, granites, thermal field, ore mineralization, dynamics of crystallization.

УДК 81'27(470,57)

К 80-летию члена-корреспондента РАН М.А. Ильгамова

ЯЗЫКИ НАРОДОВ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

© Т.Г. Мухтаров, Ф.Г. Хисамитдинова

Статья посвящена социолингвистической характеристике языков народов Башкортостана. Описаны языки межнационального (русский, башкирский, татарский) общения, родные языки наиболее крупных этносов РБ. Указанные проблемы раскрыты в их функционировании. Даны предложения для сохранения и развития языков народов РБ.

Ключевые слова: Республика Башкортостан, языковая ситуация, башкирский язык, русский язык, перепись, этносы, языки народов России, родной язык, владение языком, ассимиляция.

По данным последних переписей в Республике Башкортостан (РБ) зафиксировано более 100 языков, представители 11 из которых имеет постоянную среду обитания и возможности естественного речевого общения. В это число входят тюркские (башкирский, татарский, чувашский), славянские (русский, украинский, белорусский), финно-угорские (марийский, удмуртский, мордовские) языки. Кроме перечисленных, представлены немецкий и латышский языки, носители которых также проживают компактно в отдельных районах и населенных пунктах Республики Башкортостан [1, с. 9]. В связи с тем, что представители остальных этносов расселены дисперсно, возможности естественного речевого общения для них могут дать только собственные семьи.

В условиях Башкортостана почти все вышеперечисленные языки являются национальными для своих этносов. Только русский, башкирский и татарский, судя по данным социолингвистов, являются не только родными, но и языками межнационального общения. Так, например, судя по данным переписи 2002 г., 96,4% населения республики владело русским языком. В 2010 г. этот показа-

тель составил уже более 98%, что, безусловно, свидетельствует о русском языке как языке межнационального общения в республике [2].

Довольно высок показатель владения русским языком у коренного башкирского населения Республики Башкортостан. В частности, из 1 172 287 чел. башкирского населения РБ 1 130 432 чел., по переписи 2010 г. владеют русским языком. Следует отметить, что у башкирского населения других регионов России этот показатель еще выше. В частности, в Челябинской области из 162 513 башкир русским языком владеет 160 327. В остальных регионах эти соотношения следующие: Оренбургская область: 46 696 – 46 110, Тюменская область: 46 405 – 46 170, Ханты-Мансийском АО: 35 428 – 35 253, Свердловская область: 31 183 – 31 001, Пермский край: 32 730 – 31 565, Курганская область: 12 257 – 12 058, Ямало-Ненецкая АО: 8297 – 8 251, Татарстан: 13 726 – 13 583, Самарская область: 7 290 – 7 210, Саратовская область: 3 489 – 3 475, Удмуртская Республика: 3 454 – 3 444 чел. В целом по России из 1 584 554 башкир русским языком владеет 1 537 677 человек [3]. Исходя из изложенного, можно констатировать, что

МУХТАРОВ Тимур Гаязович – к.соц.н., Институт истории, языка и литературы Уфимского научного центра РАН, e-mail: taymas77@gmail.com

ХИСАМИТДИНОВА Фирдаус Гильмитдиновна – д.филол.н., Институт истории, языка и литературы Уфимского научного центра РАН, e-mail: hisamitdinova@list.ru

русский язык является языком межнационального общения почти для всего башкирского населения РФ.

Что же касается Башкортостана, то в нем русский язык как язык межнационального общения функционирует во всех сферах жизнедеятельности этноса.

В Башкортостане одним из языков межнационального общения, как уже говорилось выше, является башкирский язык. По данным переписи 2002 г., башкирским языком, кроме башкир, владело 14 765 русских, 109 799 – татар, 556 – украинцев, 9 126 – чувашей, 2 921 – удмурта, 3 548 – марийцев, 321 – мордвы [2]. В 2010 г., судя по переписи, владеющих башкирским языком стало: русских – 20 258, татар – 131 950, украинцев – 524, чувашей – 6 276, удмуртов – 1 630, марийцев – 3 211, мордвы – 261 чел. По переписи 2010 г., количество владеющих башкирским языком увеличилось за счет 1 953 казахов, 1 279 узбеков, 404 таджика, 361 азербайджанца [3]. Всего к 2010 г. 169 067 чел. небашкирского населения РБ владело башкирским языком, для которого башкирский стал одним из языков межнационального общения. По-видимому, такая языковая ситуация распространена в сельских районах РБ с преобладающим башкирским населением.

Одним из языков межнационального общения в Башкортостане является и татарский язык. Так, например, по данным переписи 2002 г., татарским языком владело 34% населения РБ, т. е. 1 396 947 человек. В том числе татарским языком владело 859 748 татар, 449 207 башкир, 21 519 русских, 22 345 чувашей, 27 330 марийцев, 1 197 украинца, 919 мордвы, 8623 удмурта [2].

Что же касается родных языков, то, по данным переписи 2010 г., в Башкортостане 75,4% населения в качестве родного указали язык своей национальности, 45% – русский язык [2]. В число этих 45%, по-видимому, входит и большая часть коренного населения республики, т. к. из 1 172 287 башкир лишь 881 672 назвали родным язык своей национальности. Следует добавить, что 90 302 башкира назвали родным русский, 197 119 – та-

тарский, 626 – марийский, 180 – чувашский, 116 – удмуртский языки. Стоит отметить особо тот факт, что в качестве родного башкирский язык, кроме башкир, называли 6 883 татарина, 611 русских, 139 чувашей, 56 марийцев, 36 украинцев, 26 удмуртов, 8 мордвы [2].

Число указавших родным башкирский язык, т. е. язык своего этноса, намного меньше в других регионах РФ, чем Башкортостане. В частности, в Оренбургской области из 46 696 башкир лишь 35 531 назвали башкирский язык родным, 10 293 чел. в качестве родного указали на русский язык. В Свердловской области ситуация с родным языком еще хуже. Из 31 183 башкир, по переписи 2010 г., башкирский называли родным лишь 13 278 чел., 14 946 башкир в качестве родного указали на русский язык, т. е. почти половина башкирского населения области перестала считать язык своего этноса родным. В Челябинской области из 162 513 башкир башкирский язык называли родным 117 988, 43 160 чел. указали на русский язык. Плохая ситуация с башкирским языком и у башкир Пермского края. Из 32 730 башкир края лишь 6 187, т. е. лишь пятая часть башкир, признали родным язык своего этноса [3]. В регионах с дисперсным расселением башкир доля людей называвших язык своего этноса в качестве родного, еще ниже. Таким образом, судя по данным переписи 2010 г., позиция башкирского языка как родного ухудшается. Для наглядности можно привести табл. 1 распределения населения наиболее многочисленных национальностей Башкортостана по родным языкам [2].

Судя по таблице, из языков нерусских народов Башкортостана только татарский, удмуртский и марийский не утратили свои позиции. Языковой ассимиляции в большей степени подверглись украинский и белорусский языки. Это связано с тем, что данные этносы со временем переселения в Башкортостан в основном проживали в смешанных русско-украинских, русско-украинско-белорусских населенных пунктах. Позднее этому процессу способствовали активная урбанизация и фактор языковой близости трех восточнославянских этносов. В результате к переписи

2010 г. лишь 231 человек украинской национальности назвал в качестве родного украинский язык. Что же касается белорусского, то его судьба еще хуже, т. к., судя по таблице, лишь 122 белоруса назвали родным белорусский язык, 875 чел. из 1 000 указали на русский язык.

Таблица 1

Распределение населения Республики Башкортостан по родным языкам (на 1000 чел.)

Национальность	Языки своих этносов	Русский	Другие языки
Русские	998	—	2
Башкиры	753	77	169
Татары	853	139	7
Чуваши	766	225	8
Марийцы	884	111	5
Украинцы	231	765	4
Мордва	567	431	2
Удмурты	896	86	18
Белорусы	122	875	3

Из финно-угорских языков РБ наибольшей ассимиляции подвергся мордовский язык. Как показывает таблица, почти половина мордвы в качестве родного назвали русский язык.

К критической черте подошли башкирский и чувашский языки. Кстати, судя по сокращению численности чувашей в Республике Чувашия, в судьбе чувашского языка произошли существенные изменения. Если чувашскому языку угрозу представляет только русский язык как коммуникативно мощный язык, язык преобладающего, государствообразующего этноса, то башкирскому создает угрозу демографически мощный близкородственный татарский язык. Особенно опасная ситуация для башкирского языка сложилась в городах и районах северо-западного региона РБ. Если в городах в силу малочисленности, поздней урбанизации башкирам угрожает языковая ассимиляция со стороны русского и русскоязычного населения, то на северо-западе угроза исходит от татарского и татароязычного

населения региона. Исторически сложилось, что этот регион уже почти сто лет подвергается языковой и этнической ассимиляции. Это связано с обучением в школах на татарском языке, исполнением религиозных обрядов на данном языке, распространением смешанных в языковом плане поселений, преобладанием межнациональных браков и т. д.. Несмотря на принятие Закона о языках, в котором башкирский, наряду с русским, объявлен государственным, Госпрограммы по сохранению и развитию языков РБ на 2000–2005, 2006–2010, 2012–2016 гг., ряд указов Президента, постановлений правительства и др. нормативно-правовых актов, процесс языковой ассимиляции как в городах, так в северо-западном регионе РБ не приостановлен. Особенno тяжелая ситуация с башкирским языком сложилась в последние годы. Установка государства на равноправие языков не способствует сохранению нерусских языков России, т. к. демографически, и политически мощный, престижный русский язык оказывается в более лучшем положении, нежели миноритарные языки РФ.

Стабильный рост башкирского населения в городах также является причиной языковой ассимиляции. Сегодня более 46% башкир стали горожанами [4, с. 201–206]. Аналогичная ситуация сложилась и с другими этносами как Башкортостана, так и России в целом.

Как показывают мировые урбанизационные процессы, урбанизация в России будет продолжаться. В сложившейся ситуации, если не будут приняты соответствующие меры на федеральном уровне, языковая ассимиляция нерусских народов России может стать необратимой. Следует только вспомнить, что такие крупные языки как башкирский, бурятский уже попали в список «уязвимых языков». В частности, в 2009 г. башкирский язык был включен в изданный ЮНЕСКО «Атлас языков мира, находящихся в опасности» (UNESCO Atlas of the World's Languages in Danger), получив статус «уязвимый» [5, с. 279].

Президент Российской Федерации В.В. Путин говорил о том, что в Башкортостане

стане, как в капле воды, отражается вся многонациональная Россия с многообразием культур, языков, традиций, проблем. Действительно, в области сохранения языков нерусских народов России и Башкортостана довольно много проблем.

Безусловно, республиками делается довольно много для сохранения языков своих народов. В частности, в Башкортостане, как уже говорилось выше, принят Закон о языках народов РБ, внесены изменения в Конституцию РБ, Закон об образовании РБ, принятые республиканские программы по сохранению и развитию языков народов РБ [6, с. 308]. Аналогичные законы, программы по реализации Закона о языках существуют и в других республиках [1, с. 7–9]. Однако анализ результатов внедрения законов о языках в жизнь показывает, что, во-первых, многие статьи закона не реализованы по различным причинам, чаще социально-политическим и экономическим. Во-вторых, ряд статей как федерального, так республиканских Законов о языках противоречат новому федеральному закону № 309-ФЗ. В частности, в Республике Башкортостан реализация этого закона привела к неблагоприятным нововведениям для функционирования башкирского языка в сфере образования. Так, 28 ноября 2008 г. был введен в действие Приказ № 362 Министерства образования и науки РФ о проведении итоговой аттестации выпускников только на русском языке. Также в перечне предметов, по которым предусматривается государственная итоговая аттестация, отсутствуют родные языки.

В Республике Башкортостан после принятия этого закона башкирский язык стал предметом, по которому государственная итоговая аттестация стала факультативной. На основании ежегодных постановлений Правительства Республики Башкортостан проводится единый региональный экзамен по башкирскому языку. Единый региональный экзамен (ЕРЭ) по башкирскому языку, как уже говорилось выше, до сих пор не входит в число обязательных экзаменов. Министерство образования РБ обратилось в Министерство обра-

зования и науки РФ и Государственную Думу РФ с предложением ввести экзамен по родному языку в число обязательных для учащихся национальных школ.

Однако, судя по Постановлению Правительства РБ «О проведении ЕГЭ и ЕРЭ по башкирскому языку в РБ» от 31 января 2014 г., в котором принцип добровольности остался, ни Министерство образования и науки РФ, ни Государственная Дума РФ положительного ответа не дали. Как результат, число детей, выбирающих башкирский язык для сдачи ЕРЭ, сокращается. Если в 2010 г. ЕРЭ сдавало 415 чел., то в 2012 г. – всего 180. ЕРЭ редко выбирается для сдачи даже выпускниками профильных школ столицы республики – Уфы. Форму ЕРЭ выбирают те, кто планирует изучать эту дисциплину в вузе. Последние два года желающих не было. В башкирском лицее № 136 г. Уфы в прошлом году предмет по данной форме сдавали четыре человека. Все они планировали поступать на факультет башкирской филологии и журналистики Башкирского государственного университета. В 2012/13 учебном году в этом лицее ЕРЭ сдавал лишь один ученик [5, с. 79].

К сожалению, такое отношение к языкам народов России происходит даже после утверждения Президентом России «Стратегии государственной национальной политики Российской Федерации на период до 2025 г.», в которой «Сохранение и развитие культур и языков народов РФ, укрепление их духовной общности» выделены как основные принципы национальной политики Российской Федерации» [7].

После утверждения «Стратегии государственной национальной политики Российской Федерации на период до 2025 г.» вышло Распоряжение Правительства РФ от 15.07.2013 № 1226-р «Об утверждении плана мероприятий по реализации в 2013–2015 гг. «Стратегии государственной национальной политики Российской Федерации на период до 2025 г.». В плане мероприятий, состоящем из 82 пунктов, определены 12 приоритетных направлений, в числе которых одним из первых стоит

направление «Сохранение и развитие культур и языков народов РФ» [8].

В целом 2013 г. в России явился знаковым в разработке нормативно-правовых актов по национальной политике. Кроме предыдущего документа, об этом свидетельствует разработка и принятие в августе 2013 г. Федеральной целевой программы «Укрепление единства российской нации и этнокультурное развитие народов России (2014–2020 гг.)», в которой в пункте «Поддержка языкового многообразия на территории Российской Федерации» предусмотрены мероприятия, направленные на реализацию языковой политики в России [9]. На данную программу запланировано 6,7 млрд руб. Однако, судя по содержанию, реальной работы, конкретных мер по сохранению языков народов РФ в федеральной целевой программе не предусмотрено. В программе большое место уделено проведению различных совещаний, семинаров, конференций, фестивалей. К тому же, судя по тексту, критерии эффективности, представленные в «Программе», носят формальный характер. Поэтому, на наш взгляд, ни на сохранение языков народов Российской Федерации, ни на укрепление единства российской нации данная Федеральная целевая программа вряд ли будет работать. Если даже определенные направления программы зарабатывают, вряд ли они будут работать в полную силу как и многие законы по национальной политике, которых в России довольно много. В сложившейся ситуации для сохранения и развития языков народов РФ, во-первых, необходимо все законы России по национальной политике привести в соответствие с Законом РФ «О языках народов Российской Федерации». Во-вторых, на российском уровне необходимо разработать и принять федеральную целевую программу по сохранению и развитию языков народов РФ, аналогичную программе «Русский язык» на 2011–2015 гг. [10]. Поддерживая принятие программы «Русский язык», хотелось бы отметить, что в защите нуждаются и языки других народов. Местные законы, программы не могут решить архиважные для целостности

России вопросы языковой политики. Для того чтобы народы России чувствовали себя комфортно, не чувствовали ущемления своих языковых прав, Россия не должна такой важный вопрос, связанный с национальной безопасностью страны, делегировать в регионы, республики. Поэтому программа «Языки народов России» должна носить только федеральный характер. Только в этом случае есть перспективы сохранения миноритарных языков народов России.

ЛИТЕРАТУРА

- Хисамитдинова Ф.Г. О реализации Закона Республики Башкортостан «О языках народов Республики Башкортостан» Уфа, 2003. 80 с.
- Население Башкортостана. Итоги Всероссийской переписи населения 2010 г. по Республике Башкортостан. URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm
- Всероссийская перепись населения 2010. Национальный состав и владение языками, гражданство. Т. 4. URL: http://www.gks.ru/free-doc/new_site/perepis2010.
- Мухтаров Т.Г., Хисамитдинова Ф.Г. Башкиры в городах: демографические изменения и языковые проблемы // Городские башкиры: проблемы этнокультурного и социально-демографического развития: мат-лы VII Межрег. науч.-практ. конф. Уфа, 2014. 348 с.
- Мухтаров Т.Г. Этноязыковые процессы в башкирском обществе в 1980–2000-х гг. // История башкирского народа. В 7 т. Т. VII. Уфа, 2012. С. 255–282.
- Хисамитдинова Ф.Г. Современный башкирский язык // История башкирского народа. В 7 т. Т. VII. Уфа, 2012. С. 299–308.
- Стратегия государственной национальной политики Российской Федерации на период до 2025. URL: <http://www.minnac.ru/minnac/info/14183.html>
- План мероприятий по реализации в 2013–2015 годах «Стратегии государственной национальной политики РФ на период до 2025 г.» Распоряжение Правительства РФ от 15.07.2013г. №1226-р. URL: <http://www.irkobl.ru/sites/ngo/detail.php>
- Федеральная целевая программа «Укрепление единства российской нации и этнокультурное

развитие народов России (2014–2020 годы)). URL:
<http://www.garant.ru/news/490652>.

10. Федеральная целевая программа «Русский язык» на 2011–2015 гг. URL: <http://www.garant.ru/news/332589>.



LANGUAGES OF THE PEOPLES OF BASHKORTOSTAN: CURRENT STATE AND PROSPECTS

© Т.Г. Mukhtarov, F.G. Khisamitdinova

Institute of History, Language and Literature, Ufa Scientific Centre, Russian Academy of Sciences,
Ufa, Russian Federation

The article is devoted to sociolinguistic characteristics of the languages of the peoples living in Bashkortostan. The authors describe languages used for interethnic communication, the native languages of the largest ethnic groups of the Republic of Bashkortostan (Russian, Bashkir, Tatar). These problems are revealed in their functioning. Proposals are given for the conservation and development of the languages in the Republic of Bashkortostan.

Key words: Republic of Bashkortostan, language situation, the Bashkir language, the Russian language, census, ethnic groups, languages of the peoples of Russia, native language, language proficiency, assimilation.

РЯДОМ И ВДАЛЕКЕ

Оглядываясь назад и стремясь осмыслить прошедшую жизнь, пытаюсь часто представить мироощущение тех выдающихся людей, которых встретил на протяжении своей жизни. Ведь они в какой-то мере слепок, отражение загадочной истории страны с названием кратким СССР.

Одна из самых загадочных фигур для меня – научный руководитель моей кандидатской диссертации Марат Аксанович Ильгамов. Немного найдется людей с такими разносторонними талантами и интересами. Был в моей жизни период, когда я достаточно близко соприкоснулся с научной стороной деятельности Марата Аксановича. Это были годы с 1965 по 1972. Другие периоды его жизни – юность и взросление, а затем стремительный административный рост – мне неизвестны. Что стоит за стремительными поворотами его судьбы, только ли внешние обстоятельства?

Вернемся в 1965–1972 гг. Это было самое благоприятное для жизни время существования СССР, когда возможности для творчества, учебы, для научного роста и деятельности еще сохранялись и даже расширялись. С одной стороны, это определялось в течение 50–70-х гг. фундаментальными идеями, лежащими в основе планов развития Страны Советов. С другой стороны, тем микроклиматом, который существовал тогда в университетской среде и, может быть, в еще большей степени – в академическом обществе. Как этот микроклимат сформировался и сохранился – для меня загадка. Возможно, он сохранился с людьми, оставшимися с дореволюционных времен. Затем это общество пополнялось в значительной мере идеалистами, приходившими в науку с целью служить ей.

Конечно, и тогда влияние власти на академическую науку было очень велико. Ее влиянием объясняется появление в рядах академии, видимо, наиболее известного на Западе «ученого» – Трофима Лысенко, а также немалого количества подобных ему лиц. Это влияние также вызвало резкий рост количества членов академии. Вместе с тем именно власть формулировала проблемы, имеющие большое значение для существования страны, решение которых повысило авторитет академии в 1950–1960-х гг. Именно в те годы в науку влилась вторая волна идеалистов, к которым, вне сомнения, принадлежал Марат Аксанович Ильгамов.

В какой-то мере к этой волне принадлежит и автор этих воспоминаний. Конечно, в той волне были люди разных способностей и устремлений. К концу 60-х гг. многие поняли, что и в академической среде прекрасно работают простейшие правила человеческого общежития. Но плоды работы этих правил мы еще не сильно ощущали в те далекие годы!

Я окончил Казанский университет по специальности «Механика» в 1964 г. До этого проходил годовую студенческую практику в Подмосковье, на закрытом предприятии, связанном с космической и военной техникой, активно развивавшейся в то время. Именно знакомство с реальным производственным процессом убедило меня в том, что человек моего склада там не нужен. Поэтому, получив распределение на указанное предприятие, я начал искать себе другое направление деятельности. Это привело к встрече с Ильгамовым, который работал тогда в Казанском физико-техническом институте (КФТИ) Казанского филиала Академии

наук. Память не удержала обстоятельств первой встречи. Видимо, она произошла буквально в коридоре, и у Ильгамова сложилось зрительное представление обо мне. Несомненно, были знакомые, хлопотавшие за меня перед ним, знающие, что ему – одному из самых перспективных людей КФТИ – нужны сотрудники. Видимо, самым важным из них был Рашад Гадеевич Суркин, сотрудник Казанского филиала АН СССР, который за 5 лет до этого способствовал поступлению Ильгамова в КФТИ. Во всяком случае, какого-либо обсуждения моих знаний и подготовки к будущей деятельности или введения меня в область будущих занятий не было. В определенной мере я объясняю это исключительной деликатностью характера Марата Аксановича. Он не был готов выступать в роли судьи человеческой личности, оценивающего потенциал будущего исполнителя его научных планов. Вместе с тем определенная проверка моего потенциала состоялась: какое-то время (около двух месяцев), пока выбивалась для меня ставка младшего лаборанта, я работал, не получая зарплаты. Ильгамов видел, что я могу сидеть за столом с утра до ночи, даже не знаясь о деньгах!

Как бы то ни было, я очутился в комнате, занимаемой в основном группой Ильгамова. В ее состав входили я и два студента. Один из них, Абрик Камалов, остался в группе, и я многие годы общался с ним как в институте, так и дружески.

В последующие годы группа Ильгамова стремительно увеличивалась. Это было связано с тем, что его тематика, связанная с прочностью ракетных систем, была тогда очень востребована. Имеются два пути развития ракетной техники: первый, использующий жидкостные двигатели, основанный на горении смеси жидкого топлива в специальной камере сгорания. И второй, использующий твердое топливо, которое само формирует камеру сгорания. В обоих случаях динамика горения, так и возникающих в камере сгорания колебаний очень сложна, и в те годы была плохо изучена. Первая книга Ильгамова была посвящена этим колебаниям.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
КАЗАНСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

М. А. ИЛЬГАМОВ

КОЛЕБАНИЯ УПРУГИХ ОБОЛОЧЕК, СОДЕРЖАЩИХ ЖИДКОСТЬ И ГАЗ

Трудоучебная книга
Марату Аксановичу
от автора. Ильгамов
2 окт. 69 г.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА 1989

Марат Аксанович еще в годы работы в Уфе на авиационном предприятии приобрел уникальный опыт изучения динамики и прочности конструкции двигателя. Затем в Казани этот опыт постепенно уложился в некоторые математические структуры. Приблизительно в 1964–1965 гг., видимо, Марат Аксанович начал работать над книгой, в которой замыслил собрать материал, связанный с динамической прочностью как жидкостных, так и твердотопливных ракет. Так как публикаций по этой теме было немного, в основном в зарубежных журналах, Ильгамову пришлось усиленно заняться разработкой теории. При этом он учитывал, что динамику ракетных систем нельзя рассматривать как некоторую сумму колебаний отдельных элементов конструкции. Нужно учитывать, например, вза-

имодействие оболочки камеры сгорания и процесса горения. При полете эти элементы систем становятся взаимосвязанными. В частности, особую роль начинает играть взаимодействие стенок баков с топливом и взаимодействие колебаний поверхности твердого топлива с процессом горения. Весь этот огромный комплекс вопросов Ильгамов стремился рассматривать как единый процесс. Конечно, ему нужны были помощники, которые могли бы проводить необходимые расчеты и даже, под его руководством, научные исследования. Поэтому в его окружении в течение 1965–1969 гг. появилось много новых сотрудников. Некоторые из них обладали большим исследовательским талантом. Среди них хочется выделить Бориса Гулина и Жавдата Сахабутдинова. Они давно ушли из жизни, но в моей памяти останутся как люди, обладавшие удивительными и разносторонними способностями, которые в полной мере проявились в процессе учебы у Марата Аксановича и последующего многолетнего сотрудничества с ним.

Конечно, все мы склонны идеализировать все, что связано с нашими молодыми годами. Плохое забывается, хорошее сохраняется, по крайней мере, так устроена моя память. Но в те годы, о которых я пишу, надежды молодости (они были тогда не слишком претенциозными) имели шансы у многих реализоваться – по крайней мере, в науке. Аспиранта или сотрудника выбирали довольно тщательно. Конечно, просьба старого приятеля, начальника имела значение, как, например, в моем случае, но это было нетипично. О том, чтобы кого-то выделять, давать преимущество, не определяемое явными заслугами, в нашем коллективе не могло быть и речи. Это определялось природным демократизмом и добродорядочностью Ильгамова. Он сердечно относился ко всем нам. Одним из памятных мне примеров его высокой порядочности и бескорыстия служит история с сотрудником соседней лаборатории. Ему не дали при распределении квартиру, на которую он имел все права. Местком отдал ее сотруднику, женатому на дочери очень уважаемого про-

фессора Казанского университета. Марат Аксанович бурно протестовал и добился отмены неправильного решения. Конечно, он был тогда совсем молодой (менее 35 лет) и верил, что есть правда на земле. Но для меня тот поступок был актом абсолютного бескорыстия и служения справедливости. И нужна была смелость. Конечно, это не смелость кулачного бойца! Не думаю, что Ильгамов любил драться в молодости, но его способность к смелым и решительным действиям в решающий момент чувствовалась.

Как-то я пришел на работу и рассказал историю, случившуюся со мной прошедшей ночью: я вышел на улицу, чтобы еще раз обдумать мое предстоящее выступление на философском семинаре. Во время прогулки на меня напали четверо, но случайный прохожий помог мне – как потом выяснилось, его тоже задирала эта четверка – и мы вместе разогнали их по углам и дворам. В кровоподтеках я явился утром на работу в день доклада. Ильгамов с таким интересом слушал описание моего ночного приключения, что, казалось, жалел, что сам в нем не поучаствовал.

В науке и личной жизни он не раз шел на смелые эксперименты. Мы жили в одной гостинице в 1992 г. в Америке. Мы были там по приглашению американских университетов, то есть в какой-то мере финансово обеспечивались. Но Марат Аксанович не раз вспоминал первую поездку в США в 1982 г. Это было время тяжелого кризиса в отношениях СССР и США. Ильгамов был, по его словам, единственным подданным СССР на территории США. Финансирулась поездка эта, видимо, по минимуму. Но это, как можно легко сообразить, был единственный шанс поработать в Америке. И Марат Аксанович рискнул пуститься в трехмесячное путешествие по Америке, имея минимум средств, следуя дешевейшим маршрутам и останавливаясь в дешевых гостиницах. А подобное связано со страшным риском. Где-нибудь в Новом Орлеане (и не только там) в поисках жилья или в приступе любознательности можно случайно зайти в негритянский или пуэрто-рикан-

ский квартал и не выйти из него. Я уже имел представление о жизни в США, и не раз вздрагивал, представляя его авантюру.

У Ильгамова было правило: дать сотруднику максимально быстро показать свое лицо. В практике это сводилось к тому, что стремящийся к самостоятельности и оригинальности сотрудник довольно быстро мог опубликовать статью под своим именем, хотя идея исследования целиком принадлежала Ильгамову. То же самое относилось к математическому методу, описанию результата, обсуждению и оформлению статьи. Так было и в моем случае. Трудно представить, как такое отеческое отношение вдохновляло меня. Надо сказать, что и в школе, и в университете я не блистал способностями и успехами. Не надеялся я на последние, входя в стены КФТИ. Ученый секретарь института как-то заметил нового сотрудника, который старается быть незаметным настолько, что двигается по коридору, пытаясь втереться в стенку. В школе я не мог поверить, что могу получить оценку «пять». Здесь же не мог поверить, что могу написать научную статью. Но это в конце концов произошло. Только сейчас, имея представление о жизни других научных коллективов, понимаю, какая удача, что я попал тогда в доброжелательные руки Ильгамова!

Помню, он приводил меня в трепет, когда за несколько минут находил ошибки в моих многодневных и тщательных математических выкладках. Это казалось волшебством: ведь у меня тогда даже не было представления об использовании размерностей физических переменных для оценки правильности физических формул.

В первые годы, когда нас было немного, он изредка приглашал нас к себе домой. Я помню новогодний вечер 1966 г. Мы вышли из дома гулять и шли мимо общежития, где веселилась, танцевала и смеялась молодежь. Я удивился, как заинтересовано наблюдал за ней Ильгамов. Мне почудилось, что не так много было таких же часов веселья в его молодости, когда он приехал в Уфу из деревни и был поглощен учебой и работой. Ко-

нечно, он хотел иметь что-то радостно-молодое в Казани. Хотя он был далек от спорта, но, помню, с энтузиазмом участвовал в институтских лыжных вылазках. Мороз, иней и бесконечная лыжня по Волге и лесу. Потом собираемся в каком-нибудь промерзшем домике, где не теплее, чем на улице, но есть горячий чай. Удивительное дело, я не помню на таких вылазках употребления алкоголя. Общеизвестно, что тогда еще не было поголовного пьянства!

Незабываемые годы! Я вижу себя спустившимся вместе с Ильгамовым на берег Казанки (лето 1965 г.). Стоял редкостно светлый и жаркий день, такие бывают только в молодости. Там был пирс, с которого мы прыгали в воду. Это закончилось тем, что очки Ильгамова утонули у пирса, и не сразу были найдены. Как у многих близоруких людей, его лицо без очков приобретало удивительно доброе и беззащитное выражение.

Теперь мне кажется, что Ильгамов в чем-то выделял меня среди сотрудников, хотя я доставлял ему немало хлопот и неприятностей своей излишней прямотой в высказываниях и эгоцентризмом. Сначала я ухитрился испортить навсегда отношения с Суркиным, который, напоминаю, был моим ходатаем перед Ильгамовым при приеме на работу. Потом я стал отличаться антисоветскими высказываниями. По-видимому, это дошло и до Ильгамова. На предложение секретаря парткома отдела, всеми очень уважаемого человека, вступить в компартию я ответил отказом. Ведь сам Ильгамов был беспартийным. Я уезжал на летние месяцы на поиски приключений и денег на Север, в Сибирь и на Камчатку, мало заботясь о времени отпуска. Подобное, думаю, отмечалось у руководства отдела, а может, института, и, конечно, никого не радовала моя абсолютная непредсказуемость.

Однако это никак не сказалось на личном отношении Ильгамова и сотрудников ко мне. Хотя привело к тому, что защита моей кандидатской диссертации стала невозможной в родной Казани, и мне пришлось защищать ее в Ленинградском университете в 1971 г. Но я по-прежнему бывал в семье

Ильгамова. Помню, он пригласил меня погостить на даче, которую снимал на берегу Волги. Незабываемые солнечные, пахнущие сосновыми дни, – такого запаха нет в Новой Зеландии! Но, может, его нет уже и в России!

Однако отношение ко мне уже вполне сложилось, и предполагать мой дальнейший научный рост в стенах института было трудно. В частности, с 1966 г. до моего увольнения из института я был на должности исполняющего обязанности младшего сотрудника, хотя к концу этого срока мне уже стукнуло 30 лет, я имел учченую степень и определенную научную репутацию. Вспоминаю, что метод удержания сотрудника на ставке, не соответствующей его научным заслугам, был распространенным при работе власти с кадрами. Уважаемый всеми нами Иосиф Вениаминович Свирский, будучи известным доктором наук, оказывался на должности младшего сотрудника, когда чем-то не удовлетворял начальство.

Я, конечно, по своей простоте все это не понимал, да и не задумывался о своем будущем, однако Ильгамов представлял это хорошо. По-видимому, всем сказанным выше объясняется то, что он стал активно способствовать моему переезду в Киев, куда я переехал в конце 1972 г. Никто там не встретил меня пирогами, однако научная школа Ильгамова позволила выжить и там.

Вплоть до моего отъезда отношение ко мне Ильгамова было вполне доверительным. Помню, что летом 1972 г. он с семьей на несколько недель уехал в отпуск и оставил меня жить в своей квартире. Когда я приходил в квартиру особенно голодный, то лез в их ходильник, где хранились удивительно вкусная деревенская сметана и гранатовый сок.

К моему отъезду в Киев Ильгамова окружала целая плеяда талантливых воспитанников. Но, видимо, я среди них выделялся. Конечно, не способностями. Скорее всего, смелостью пытаться решать задачи, в которых изначально ничего не понимал. Учитывая эту смелость (нахальство?), Марат Аксанович посыпал меня в некотором смысле в поисковые исследования, которые, возможно, на тот момент не были для него главными, но которые

оказались для меня очень и очень важными, определившими мою научную судьбу. Видимо, Ильгамову была симпатична некоторая авантюрность моего характера, и он подыскивал мне задачи, соответствующие ему.

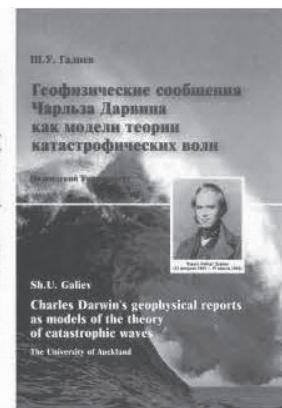
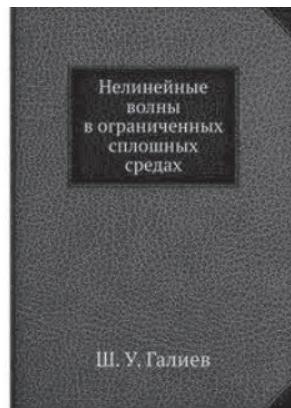
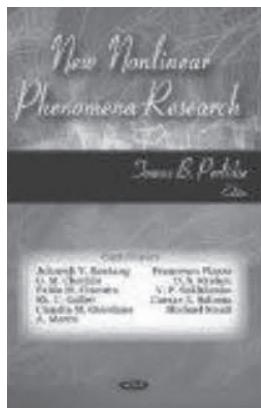
Далее я попытаюсь описать и проиллюстрировать две идеи Ильгамова, которые до сих пор определяют мои научные интересы.

Первая идея – исследование волновых процессов в резонансных областях. Сложность проблемы в том, что линейная теория дает в этих областях бесконечные амплитуды волн. Ситуация не улучшается, если учитывать нелинейные эффекты. В последнем случае традиционная теория возмущений дает бесконечные амплитуды для увеличивающегося количества возникающих в резонансной области гармоник.

Много позднее мы осознали, что встретились с фундаментальной проблемой – проблемой появления бесконечностей в методе возмущений. Эта трудность возникает во многих областях физики и техники, и она не преодолена до сих пор. В частности, аналогичная проблема возникает при развитии общей теории «великого объединения законов физики». Знаменитый физик Ричард Фейнман до конца жизни исследовал проблему катастрофических бесконечностей, препятствующих гармоничному объединению гравитации и квантовой механики. Он отметил: «По моим ощущениям – хотя я могу и ошибаться – существует не один способ решения этой задачи. Я не думаю, что есть только один способ, которым мы можем избавиться от бесконечностей».

В конце 60-х гг. прошлого века мы наметили путь решения этой проблемы на примере очень частной резонансной проблемы, что отражено в нашем совместном труде (Ш.У. Галиев, М.А. Ильгамов, А.В. Садыков. О периодических ударных волнах в газе // Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. 1970. № 2. С. 57–66).

Вся моя последующая активность свелась в значительной мере к анализу идеи Марата Аксановича о волновом резонансе. Развитию этой идеи посвящены мои основные книги.



Именно на этой идеи была построена моя кандидатская диссертация, написанная под руководством Марата Аксановича. Хочется подчеркнуть, что я был первым кандидатом наук, подготовленным им.

Конечно, непросто разглядеть первонаучальные идеи нашей публикации 1970 г. за нагромождением формул и аналогиями моих последующих публикаций. Но Марат Аксанович склонен воспринимать это как неизбежную издержку развития науки. Он радуется успехам других и старается разглядеть основное в исследовании, если обсуждает его. Мне лестно, что он нашел время для того чтобы ознакомиться с моей последней книгой и проанализировать ее в широком историческом контексте в следующих рецензиях:

1. Ильгамов М.А. Моделирование природных явлений методами нелинейной динамики (о книге Ш.У. Галиева «Геофизические сообщения Чарльза Дарвина как модели теории катастрофических волн») // Известия УНЦ РАН. 2012. № 1. С. 64–68.

2. Ильгамов М.А. О столетии и двухсотлетии Чарльза Дарвина // Вестник АН РБ. 2012. Т. 17, № 2. С. 66–69.

Вторая идея была совершенно другого рода. Как уже отмечалось, вес и характеристики многих ракет определяются весом жидкого топлива, заполняющего специальные баки. В свою очередь, параметры баков определяются взаимодействием их стенок с топливом. Традиционно полагалось, что влияние этого взаимодействия не очень велико. Од-

нако Ильгамова всегда интересовали сильные взаимодействия. В данном случае – взаимодействие при сильном перемещении (деформации) стенки камеры и трубопровода с газом, жидкостью и твердым топливом.

Под руководством Марата Аксановича была создана соответствующая экспериментальная установка для исследования гидродинамической штамповки тонкостенных элементов конструкций. Уже первые эксперименты дали неожиданные результаты, а именно: были обнаружены почти случайные пульсации давления в жидкости, возникающие при быстрой пластической деформации тонкой стенки. С первого взгляда объяснить эти пульсации было непросто. Поэтому Ильгамов привлек мое внимание к этим данным. Это было в 1974 г.

Эти пульсации меня очень заинтересовали. Я знал, что в жидкости может возникать кавитация. И вспомнил о некоторой идее расчета кавитационных явлений, которую я много лет до того излагал университетским однокашникам.

Это был мой звездный час. Положив в основу результаты, опубликованные в работе Ильгамова и Павлова, я довольно быстро написал докторскую диссертацию. Процесс ее защиты и утверждения ВАКом был непростым. Предлагаемый метод исследования оказался настолько нетрадиционным, что Московский университет выступил резко против диссертации. Ситуацию разрядило письмо из Министерства обороны США с просьбой разрешить перевод моей диссертации на английский язык.

ПОРТРЕТ УЧЕНОГО

DYNAMICS OF STRUCTURE ELEMENT INTERACTION
WITH A PRESSURE WAVE IN A FLUID
Sh. U. GALIYEV

(Original Russian Edition published in 1977 by Naukova Dumka, Kiev)

TRANSLATED BY MORRIS D. FRIEDMAN

Translation Sponsored by the Office of Naval Research with the Permission
of the Author

Вот такая цепь случайностей, инициированная интересом Ильгамова к сильно нелинейным процессам в нестационарно деформируемом баке, привела к получению мной докторской степени, а затем – квартиры в Киеве, должности заведующего научным отделом и, возможно, открыла мне путь к эмиграции в Новую Зеландию.

Сказанное выше, конечно, составляет очень малую часть прошлого и лишь частично раскрывает масштаб личности Марата Аксановича. Наши пути разошлись. Я переехал, как уже сказано, в Киев, а затем в Новую Зеландию, а он – в Уфу. Его загадка для меня неразрешима. Но он всегда впереди. Он всегда среди людей и для них. В чем-то можно с ним не соглашаться. Но меня нескованно обрадовало, когда в 2005 г. я увидел его читающим Жан-Жака Руссо. Он всегда в духовном росте. Марат Аксанович – это высокий пример человека для многих из нас.

Ш.У. ГАЛИЕВ,
профессор
Оклендского университета,
Новая Зеландия



**ПАМЯТИ АКАДЕМИКА
Г.А. ТОЛСТИКОВА – ВЫДАЮЩЕГОСЯ УЧЕНОГО
(21.01.1933 – 25.04. 2013)**

В 1968 г. из г. Чимкент Казахской ССР в Институт органической химии Башкирского филиала Академии наук СССР был приглашен на должность заведующего лабораторией молодой кандидат химических наук Генрих Александрович Толстиков. Институт в то время возглавлял видный химик прекрасный организатор науки, академик АН Казахской ССР, председатель Президиума БФАН СССР Сагит Рауфович Рафиков. Для развития науки в Башкирии он пригласил на работу молодых ученых из разных уголков страны.

Майским летним днем 1968 года в Институте появился высокий, стройный молодой человек с роскошной шевелюрой русых волос. Это был Толстиков. В руках он нес тугу набитый портфель. Позднее мы узнали, что в портфеле была его докторская диссертация, которую он успешно защитил в 1969 году. Генрих Александрович сразу же включился в работу. Он стал первым помощником Рафикову. Его отличали целеустремленность и большая работоспособность.

Институт быстро набирал обороты: появились новые научные направления (высокомолекулярные соединения, органическая химия, химическая физика и др.), создавались новые отделы и лаборатории. Институт органической химии стал Институтом химии БФАН СССР. В институте проводились научные исследования высочайшего уровня и создавались новые материалы и технологии (полимеры, препараты для медицины и сельского хозяйства). Каждая лаборатория при личном участии Толстикова была нацелена на современное научное направление. Институт химии БФАН СССР становится одним из ведущих центров нефтехимии и полимеров в Советском Союзе.

В 1971 г. Толстиков был назначен заместителем директора института, а в 1977 г. становится его директором. После отъезда Рафикова из Уфы он был назначен и на должность Председателя Президиума БФАН СССР – ныне Уфимский научный центр РАН. Генрих Александрович успешно совмещает работу по руководству институтом и филиалом Академии наук. За выдающиеся достижения в науке он избирается членом-корреспондентом, а затем и академиком АН СССР. Такое стремительное восхождение по ступенькам науки было закономерным. Сама природа дала ему такие качества: кипучая деятельность, огромная энергия, терпение, мужество, доброжелательность, целеустремленность в научном поиске. Несмотря на большую загруженность научной работой и административно-хозяйственными вопросами (как раз в это время достраивался библиотечный корпус), Генрих Александрович, уезжая домой, нагружал свой портфель научными журналами, чтобы оперативно изучить и узнать, что делается в мире в области химических наук. Каждое утро, приходя на работу, ученый стремительно, через две ступеньки взбегал на 2-ой этаж лабораторного корпуса, где проводились эксперименты. Своей неиссякаемой энергией, чуткой научной интуицией, пламенной страстью и любовью к науке Толстиков наглядно показывал растущему коллективу как надо подчинить все одной цели – служению наук.

После лабораторий он входил в кабинет директора, где проводил ученыe советы, совещания с заведующими лабораторий и принимал посетителей, директоров институтов и сотрудников Филиала. Он был избран депутатом Уфимского Горсовета, решал вопросы граждан. Приходилось работать до самого

позднего вечера. К нему шли звонки из разных городов страны.

За короткие сроки в Институте химии под руководством Г.А. Толстикова выросло большое число химиков высокой квалификации (кандидаты и доктора наук). Наиболее достойные из них стали членами-корреспондентами и академиками РАН и Академии наук РБ. Большинство его учеников работают в Башкортостане, в институтах Сибирского и Уральского отделений РАН. Наиболее талантливый его ученик Джемилев Усеин Меметович, член-корреспондент РАН и академик АН РБ – ныне председатель Уфимского научного центра РАН. Доктор химических наук, также воспитанник Толстикова – Шарипов Глюс Лябивович – заместитель Председателя Президиума УНЦ РАН, долгие годы работал в качестве главного ученого секретаря Академии наук Республики Башкортостан. Один из его учеников И.Б. Абдрахманов, академик АН РБ, написал к 80-летию Генриха Александровича два стихотворения: «Есть встречи данные судьбой» и «Понимание». Привожу отрывок одного из них.

*Его все вдохновляет слово
Безумно рад я – он со мной
И вновь клубится формул рой
Хоть впереди еще пороги
Но вместе с ним мы их пройдем.
Его вы не призываите, боги
Мы на Земле всегда при нем.*

При вручении этих стихов Генрих Александрович был растроган и сказал, что будет хранить их с самыми цennыми своими документами. Работая длительное время референтом Г.А. Толстикова, я ежедневно поражалась

его трудолюбию, внимательному и уважительному отношению к людям, любви к своей семье – жене Лоре Федоровне, дочери Татьяне и сыну Саше.

Г.А. Толстиков – автор и соавтор 12 монографий, многочисленных публикаций в отечественных и зарубежных журналах, в том числе 30 обзоров, свыше 500 авторских свидетельств и патентов. Он один из крупнейших химиков-органиков, доктор химических наук, профессор, академик АН СССР. Лауреат Государственных премий СССР и Российской Федерации в области науки и техники; общенациональной Демидовской премии. Кавалер орденов Знак почета, Дружбы народов, За заслуги перед Отечеством IV-ой степени и был награжден многими медалями.

В 1993 г. Г.А. Толстиков в связи с изменившейся ситуацией уехал в г. Новосибирск, где продолжал трудиться директором Института органической химии им. Н.Н. Ворожцова, первым заместителем Председателя Сибирского отделения РАН. Был избран членом Президиума РАН.

Генрих Александрович Толстиков был прекрасным организатором с высоким авторитетом, яркой личностью. Своим интеллектом, богатым внутренним миром он притягивал к себе людей, ценил дружбу. Красивый, умный, необыкновенно добрый человек.

Скончался видный ученый 25 апреля 2013 года, в г. Новосибирске, где и похоронен.

Поклонимся светлой памяти Генриха Александровича Толстикова, выдающегося ученого химика-органика, человека с большим щедрым сердцем.

Т.И. ПЕНЬКИНА



ПАМЯТИ УЧЕНОГО

ВСПОМИНАЯ Г.А. ТОЛСТИКОВА

*Учитель, перед именем твоим
позволь смиренно преклонить колени!*

Время летит неумолимо, время сжимается, и порой кажется, что то, что было давно, происходило только вчера. А ведь прошло более тридцати лет. Отчетливо помню тот чудный весенний день, когда в воздухе звенела капель, когда в душе пели соловьи, и сердце было наполнено приливом сил, ощущением любви и радости ко всему окружающему миру. Я вошла в коридор Президиума Башкирского филиала АН СССР и увидела быстро идущего мне навстречу мужчину приятной внешности, в распахнутом пиджаке с развевающейся шапкой пышных волос. Он стремительно летел по коридору. Иногда он здоровался со встречными, приостанавливался, пожимал руку, но неуклонно продолжал путь к своему рабочему кабинету.

Это был он – Генрих Александрович Толстиков. Когда он приблизился ко мне, я увидала сверкающее улыбкой лицо и упавшую на высокий лоб серебристую прядь седых волос, которая, кстати, придавала ему определенный шарм. Он задорно тряхнул головой, и прядь седых волос улетела с глаз на затылок. Я невольно обратила на него внимание. Он излучал внутреннее обаяние. Это была наша первая встреча, и мое первое впечатление было незабываемым.

На дворе стоял 1980 год. Как раз в это время я устроилась на работу в поликлинику БФАН СССР. Чуть позже я узнала все «рега-



лии» человека, случайно встреченного в коридоре. Доктор химических наук, директор Института химии, председатель Президиума Башкирского филиала Академии наук СССР.

Генрих Александрович познакомившись со мной, довольно скоро понял, что я не просто врач, работающий от звонка до звонка, что называется, для «галочки», но еще и человек, постоянно бывающий в библиотеке, стремящийся поднять свой профессиональный уровень. Генрих Александрович неоднократно давал мне возможность ездить на повышение квалификации в Москву, Ленинград, Ташкент, Нижний Новгород. На протяжении 12 лет моей работы в академической поликлинике, я много раз повышала свою квалификацию и во многом благодаря участию со стороны Генриха Александровича я получила в итоге первую категорию врача-невролога.

Конечно, в работе случалось всякое.

Да, когда рядом есть такие надежные бойцы «невидимого фронта», которые помогают, поддерживают, направляют – жить можно. Я этим людям благодарна. Такие люди не дают унизить и растоптать другого. Это так важно в жизни. Теперь конечно, для меня это все уже позади.

Генрих Александрович был не только чутким и внимательным к проблемам своих коллег руководителем, но и прекрасным семьянином. Я знала не понаслышке его семью – несколько раз мне довелось встречаться с его супругой Лорой Федоровной и его



сыном Сашей. Это были замечательные люди, интеллигентная, культурная семья со своими устоявшимися, можно даже сказать, патриархальными традициями. Глядя на них было понятно, откуда черпает свою силу, свое вдохновение такой крупный ученый и организатор науки, как Генрих Александрович. Он всегда был примером мне и путеводной звездой в моем профессиональном росте. Я понимала, что нужно много работать, чтобы чего-то добиться. Нужно работать как Генрих Александрович на своем месте. Так что в жизни все не зря! Встретив пример достойного человека, мы ищем его и в других и, к счастью, находим. Хороших людей все-таки больше, чем плохих.

Я рада, что мне в жизни встретился такой замечательный человек, как Генрих Александрович, и что мне довелось общаться с ним. Я всегда знала, что он где-то рядом, и всегда протянет руку помощи.

E.M. КАЙНОВА



ЗНАМЕНАТЕЛЬНЫЙ ДЕНЬ ДЛЯ УФИМСКОЙ НАУКИ

14 мая 2014 года надолго запомнится уфимским ученым, собравшимся для празднования Дня Уфимского научного центра Российской академии наук. Этому знаменательному событию были посвящены два мероприятия.

Большое впечатление на присутствовавших произвела церемония открытия мемориальных досок, посвященных светлой памяти двух крупных деятелей уфимской и башкортостанской науки, внесших огромный вклад в становление и развитие химии и физико-химии высокомолекулярных соединений – академика Юрия Борисовича Монакова и члена-корреспондента РАН Валерия Петровича Казакова. На открытии выступили председатель УНЦ РАН, член-корреспондент РАН Усеин Меметович Джемилев; советник РАН, член-корреспондент РАН Марат Аксанович Ильгамов; заместитель председателя УНЦ РАН, доктор химических наук Глюс Лябивович Шарипов – соратники и коллеги корифеев, память о которых была запечатлена на мемориальных досках. В своих речах они рассказали об основных этапах деятельности безвременно ушедших от нас ученых, поделились личными воспоминаниями.

У.М. Джемилев отметил, что день открытия мемориала является не просто знаменательным, но и печальным для нас днем, поскольку в лице Ю.Б. Монакова и В.П. Казакова российская и мировая наука утратила крупнейших ученых в своих областях. Вспомнил Усеин Меметович и о члене-корреспонденте АН СССР Сагите Рауфовиче Рафикове, долгие годы возглавлявшем Башкирский филиал Академии наук СССР. Именно он пригласил на работу в Уфу Юрия Борисовича и Валерия Петровича, которые до этого работали в Казахстане и Сибири. У.М. Джемилев

милев отметил огромный вклад С.Р. Рафикову, Г.А. Толстикова, Ю.Б. Монакова и В.П. Казакова в создание новых направлений в химии и физико-химии, разработке и внедрении оригинальных технологий, которые нашли свое применение в производстве. Их работы были известны далеко за пределами нашей страны.



Во время торжественной церемонии открытия мемориальных досок акад. Ю.Б. Монакову и чл.-корр. РАН В.П. Казакову. Слева направо: чл.-корр. РАН М.А. Ильгамов; чл.-корр. РАН, председатель УНЦ РАН У.М. Джемилев

Торжественная церемония завершилась выступлениями учеников и коллег Ю.Б. Монакова и В.П. Казакова по Институту органической химии УНЦ РАН: доктора химических наук Н.И. Сигаевой и С.И. Кузнецова, возложением цветов и памятными фотографиями.

Второй частью Дня Уфимского научного центра явилось торжественное заседание, прошедшее в конференц-зале президиума УНЦ РАН. Заседание открыл приветственной речью председатель УНЦ РАН У.М. Джемилев. Свое выступление он посвятил истории развития и становления УНЦ РАН, а также учреждений, входящих в его состав с момента создания БФ АН СССР – УНЦ РАН.

После этого состоялась торжественная церемония вручения наград молодым спортсменам. В последнее время в УНЦ РАН проводится активная работа по организации спортивных мероприятий с привлечением молодых ученых и специалистов. В феврале 2014 года сотрудники учреждений УНЦ РАН приняли участие в открытой Спартакиаде Республики Башкортостан, где сборная команда УНЦ РАН, впервые принимавшая участие в подобном меро-

приятии, заняла по итогам соревнований первое общекомандное место.

Большой интерес у зрителей вызвал праздничный концерт самодеятельных коллективов уфимских ученых, организованный по инициативе объединенного комитета профсоюза УНЦ РАН и при активном содействии Совета молодых ученых УНЦ РАН, профкомов ИБГ УНЦ РАН и ИНК УНЦ РАН.

В завершение праздничного собрания с приветственным словом выступила председатель объединенной профсоюзной организации работников УНЦ РАН С.П. Носарева. В своем выступлении она пожелала ученым здоровья, благополучия, взаимопонимания и творческих успехов и выразила надежду, что в это непростое для российской науки время Уфимский научный центр РАН выстоит и добьется новых вершин.

