

Научный журнал

Основан в 2010 г.  
Выходит 4 раза в год

Учредитель  
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки  
Коми научный центр УрО РАН

# ИЗВЕСТИЯ

КОМИ НАУЧНОГО ЦЕНТРА  
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

---

№ 1(17)

2014

---

**Главный редактор:**

академик *А.М. Асхабов*

**Редакционная коллегия:**

*д.т.н. И.Н. Андронов, д.м.н. Е.Р. Бойко, д.э.н. Н.М. Большаков,  
к.г.-м.н. И.Н. Бурцев, к.и.н. И.О. Васкул, к.т.н. И.И. Волкова,  
д.б.н. В.В. Володин, д.б.н. М.В. Гецен (зам. главного редактора),  
д.ф.-м.н. Н.А. Громов, д.б.н. С.В. Дёгтева, к.геогр.н. Т.Е. Дмитриева,  
д.и.н. И.Л. Жеребцов, чл.-корр. РАН А.В. Кучин,  
д.г.-м.н. О.Б. Котова, д.б.н. Н.В. Ладанова (отв. секретарь),  
чл.-корр. РАН В.Н. Лаженцев (зам. главного редактора),  
д.и.н. П.Ю. Павлов, чл.-корр. РАН И.М. Рощевская, д.х.н. С.А. Рубцова,  
к.и.н. А.В. Самарин (помощник главного редактора),  
д.филол.н. Г.В. Федюнева, д.т.н. Ю.Я. Чукуреев, д.б.н. Д.Н. Шмаков*

**Редакционный совет:**

*акад. В.В. Алексеев, чл.-корр. РАН В.Н. Анфилогов,  
акад. В.И. Бердышев, акад. В.Н. Большаков,  
д.э.н. В.Н. Задорожный, д.э.н. В.А. Ильин,  
акад. В.Т. Калинин, акад. В.А. Коротеев, к.т.н. Н.А. Манов,  
акад. В.П. Матвеев, акад. Г.А. Месяц, акад. Ю.С. Оводов,  
чл.-корр. РАН Е.В. Пименов, акад. М.П. Рощевский,  
чл.-корр. РАН А.Ф. Титов, акад. В.Н. Чарушин, д.т.н. Н.Д. Цхадая*

Адрес редакции:

167982, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 24  
Президиум Коми НЦ УрО РАН, каб. 317.  
Тел. (8212) 24-47-79, факс (8212) 24-22-64  
E-mail: [journal@presidium.komisc.ru](mailto:journal@presidium.komisc.ru)  
[www.izvestia.komisc.ru](http://www.izvestia.komisc.ru)

*Подписной индекс в каталоге «Почта России» 52047*

ISSN 1994-5655

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору за  
соблюдением законодательства в сфере массовых ком-  
муникаций и охране культурного наследия. Свид. о ре-  
гистрации средств массовой информации ПИ № ФС 77-  
26969 от 11 января 2007 г.

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Коми научный центр УрО РАН, 2014

Science Journal

Founded in 2010  
Published 4 times a year

Established by  
Federal State Budgetary  
Institution of Science  
the Komi Science Centre,  
Ural Branch, RAS

# PROCEEDINGS

OF THE KOMI SCIENCE CENTRE  
URAL BRANCH  
RUSSIAN ACADEMY OF  
SCIENCES

---

№1(17)

2014

---

**Editor-in-chief:**

academician *A.M.Askhabov*

**Editorial Board:**

Dr.Sci. (Tech.) *I.N.Andronov*, Dr.Sci. (Med.) *E.R.Boyko*, Dr.Sci. (Econ.) *N.M.Bolshakov*,  
Dr.Sci. (Geol.&Mineral.) *I.N.Burtsev*, Cand.Sci. (Hist.) *I.O.Vaskul*,  
Cand.Sci. (Tech.) *I.I.Volkova*, Cand.Sci. (Biol.) *V.V.Volodin*,  
Dr.Sci. (Biol.) *M.V.Getsen* (Deputy Chief Editor), Dr.Sci. (Phys.&Math.) *N.A.Gromov*,  
Dr.Sci. (Biol.) *S.V.Degteva*, Cand.Sci. (Geogr.) *T.E.Dmitrieva*, Dr.Sci. (Hist.) *I.L.Zherebtsov*,  
RAS corresponding member *A.V.Kuchin*, Dr.Sci. (Geol.&Mineral.) *O.B.Kotova*,  
Dr.Sci. (Biol.) *N.V.Ladanova* (Executive Secretary),  
RAS corresponding member *V.N.Lazhentsev*, Dr.Sci. (Hist.) *P.Yu.Pavlov*,  
RAS corresponding member *I.M.Roshchevskaya*, Dr.Sci. (Chem.) *S.A.Rubtsova*,  
Cand.Sci. (Hist.) *A.V.Samarin* (Sub-Editor), Dr.Sci. (Philol.) *G.V.Fedyuneva*,  
Dr.Sci. (Tech.) *Yu.Ya.Chukreev*, Dr.Sci. (Biol.) *D.N.Shmakov*

**Editorial Council:**

academician *V.V.Alekseev*, RAS corresponding member *V.N.Anfilogov*,  
academician *V.I.Berdyshev*, academician *V.N.Bolshakov*, Dr.Sci. (Econ.) *V.N.Zadorozhny*,  
Dr.Sci. (Econ.) *V.A.Ilyin*, academician *V.T.Kalinnikov*, academician *V.A.Koroteev*,  
Cand.Sci. (Tech.) *N.A.Manov*, academician *V.P.Matveenko*, academician *G.A.Mesyats*,  
academician *Yu.S.Ovodov*, RAS corresponding member *E.V.Pimenov*,  
academician *M.P.Roshchevsky*, RAS corresponding member *A.F.Titov*,  
academician *V.N.Charushin*, Dr.Sci. (Technol.) *N.D.Tskhadaya*

**Editorial Office:**

Office 317, Presidium of the Komi Science Centre,  
Ural Branch, RAS  
24, Kommunisticheskaya st., Syktyvkar 167982  
Tel. +7 8212 244779 Fax +7 8212 242264  
E-mail: [journal@presidium.komisc.ru](mailto:journal@presidium.komisc.ru)  
[www.izvestia.komisc.ru](http://www.izvestia.komisc.ru)

*The "Russian Post" catalogue subscription index 52047*

ISSN 1994-5655

Registered by the Russian Federal Surveillance Service  
for Compliance with the Law in Mass Communications  
and Cultural Heritage Protection. The certificate of mass  
media registration – ПИ № ФЦ 77-26969 dated 11 January,  
2007.

© Federal State Budgetary Institution of Science  
the Komi Science Centre, Ural Branch, RAS, 2014

# СО Д Е Р Ж А Н И Е

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Н.А. Громов. Высоко- и низкоэнергетические пределы электрослабой модели ..... 5

## ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Н.А. Жук, Е.С. Гируть, Т.А. Попова, Т.В. Обедина. Синтез, электрофизические и магнитные свойства марганецсодержащих твердых растворов ниобата висмута  $Bi_3NbO_7$  кубической модификации .....10

А.А. Шубаков, Е.А. Михайлова, Ю.С. Оводов. Использование микроорганизмов для извлечения марганца из водных сред .....16

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Л.Г. Хохлова. Ретроспективный анализ химического состава воды озер Большеземельской тундры (Большой Харбей и Головка).....19

В.В. Володин, К.В. Безматерных, Г.В. Смирнова, О.Н. Октябрьский, Л.И. Алексеева, В.А. Канев. Антиоксидантные свойства экстрактов растений семейства *Lamiaceae*, произрастающих в Республике Коми .....27

И.В. Бешлей, Т.И. Ширшова. Стероидные сапонины в многолетнем луке *allium schoenoprasum* L. ....32

А.А. Распутина, И.М. Рощевская. Электрическое поле сердца в период деполяризации желудочков на поверхности тела крыс в течение раннего постнатального онтогенеза .....38

С.В. Ахметзянова, Н.А. Киблер, В.П. Нужный, Д.Н. Шмаков, Н.В. Артеева. Влияние антиортостатической гипокнезии на последовательность деполяризации, реполяризации миокарда и гемодинамические показатели сердца собаки .....43

К.С. Пугачев, А.А. Кребе, И.В. Филишов, Е.В. Зюзин. Сверхмедленные колебания потенциалов нейромодуляторных центров головного мозга и корковых отделов сенсорных систем .....51

## ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

О.В. Удоратина, В.А. Капитанова, Д.А. Варламов. Редкометалльные гранитоиды (Кулемшор, Приполярный Урал).....57

Н.С. Уляшева, Ю.Л. Ронкин. Химический состав и геодинамические обстановки формирования протолитов амфиболитов и гранатовых эклогитов марункеуского комплекса (Полярный Урал) .....71

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

А.В. Фуркин, М.В. Третьякова, Р.В. Агиней. Влияние протекающего по подземному трубопроводу постоянного электрического тока на потенциал «труба–земля» ..80

А.И. Кобрунов, М.И. Барабанов. Алгоритм учета влияния вмещающей среды при инверсии гравиметрических данных .....84

А.М. Бургонудинов, Б.С. Юшков, О.Н. Бурмистрова, М.А. Воронина. Причины образования деформаций и разрушений на покрытии автомобильных дорог .....89

## ИСТОРИКО-ФИЛОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Т.Ю. Туркина. Орнитоморфные мотивы в искусстве населения Европейского Северо-Востока в I тыс. до н.э. – I тыс. н.э. ....94

Т.И. Дронова, Н.Е. Плаксина. Старообрядческая икона Нижней Печоры: предварительные итоги изучения ..... 103

И.И. Лейман. География ярмарок на Европейском Севере России: из истории в современность..... 110

## ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

Т.В. Тихонова. Оценка потенциала экосистем субарктических территорий Республики Коми ..... 117

ХРОНИКА ..... 124

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТДЕЛ (ЮБИЛЕИ) ..... 128

# CONTENTS

## PHYSICAL And MATHEMATICAL SCIENCES

N.A. Gromov. Higher and low energy limits of electroweak model ..... 5

## CHEMICAL SCIENCES

N.A. Zhuk, E.S. Girut, T.A. Popova, T.V. Obedina. Synthesis, electrical and magnetic properties of manganese-containing solid solutions of niobate bismuth  $\text{Bi}_3\text{NbO}_7$  cubic modification .....10

A.A. Shubakov, E.A. Mikhailova, Yu.S. Ovodov. Use of microorganisms for extraction of manganese from aqueous media .....16

## BIOLOGICAL SCIENCES

L.G. Khokhlova. The retrospective analysis of chemical composition of water of the Bolshezemelskaya tundra lakes (Bolshoi Kharbei and Golovka).....19

V.V. Volodin, K.V. Bezmaternykh, G.V. Smirnova, O.N.Oktyabrsky, L.I.Alekseeva, V.A.Kanev. The antioxidant characteristics of plant extracts of the family *Lamiaceae* in the Komi Republic.....27

I.V. Beshley, T.I. Shirshova. Steroidal saponins in perennial onion *Allium schoenoprasum* L. ....32

A.A. Rasputina, I.M. Roshchevskaya. Cardiac electric field during ventricular depolarization on the body surface of rats in the early postnatal ontogenesis .....38

S.V. Akhmetzyanova, N.A. Kibler, V.P. Nuzhny, N.V. Arteeva, D.N. Shmakov. Effects of antiorthostatic hypokinesia on the sequence of the myocardial depolarization and repolarization of ventricles and hemodynamic indices of the heart in dog.....43

K.S. Pugachev, A.A. Krebs, I.V. Filippov, E.V. Zyuzin. Infralow brain potentials of neuromodulatory centers and highest cortical sensory areas.....51

## GEOLOGICAL And MINERALOGICAL SCIENCES

O.V. Udoratina, V.A. Kapitanova, D.A. Varlamov. Rare metal granitoids (Kulemshor, Subpolar Urals).....57

N.S. Ulyasheva, Yu.L. Ronkin. Chemical composition and geodynamic conditions of amphibolites and garnet eclogites protoliths formation in the marunkeu complex (the Polar Urals).....71

## TECHNICAL SCIENCES

A.V. Furkin, M.V. Tretyakova, R.V. Aginei. The influence of direct current flowing along the underground pipeline on the potential "pipe-ground" .....80

A.I. Kobrunov, M.I. Barabanov. The algorithm of considering the effects of the containing environment at gravity data inversion .....84

A.M. Burgonutdinov, B.S. Yushkov, O.N. Burmistrova, M.A. Voronina. Reasons for formation of deformations and destructions on the covering of highways.....89

## HISTORICAL And PHILOLOGICAL SCIENCES

T.Yu. Turkina. Ornithomorphic motives in the art of the population of the European northeast (I millennium B.C. – I millennium A.D.).....94

T.I. Dronova, N.E. Plaksina. Old Believers' icon of the Low Pechora: preliminary results of studying..... 103

I.I. Leiman. Geography of fairs in the European North of Russia: from history to the present... 110

## SOCIAL SCIENCES

T.V. Turkina. Estimation of ecosystems potential of sub-Arctic territories of the Komi Republic ..... 117

CHRONICLE ..... 124

OFFICIAL (ANNIVERSARIES) ..... 128

УДК 539.12.01

## **ВЫСОКО- И НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДЕЛЫ ЭЛЕКТРОСЛАБОЙ МОДЕЛИ**

Н.А. ГРОМОВ

*Отдел математики Коми НЦ УрО РАН, г.Сыктывкар  
gromov@dm.komisc.ru,*

На уровне классических калибровочных полей рассматриваются пределы нулевой и бесконечной энергии для электрослабой модели с контрактированной калибровочной группой. В высокоэнергетическом пределе все частицы электрослабой модели теряют массу, так что лагранжиан предельной модели содержит только безмассовые нейтральные  $Z$ -бозоны, безмассовые  $u$ -кварки, нейтрино и фотоны, а также их слабые и электромагнитные взаимодействия. Слабые взаимодействия становятся дальнедействующими и осуществляются посредством только нейтральных токов. Предельная модель отвечает развитию Вселенной в первую секунду после Большого взрыва.

**Ключевые слова:** калибровочная теория, электрослабая модель, контракция, предельная модель

### **N.A. GROMOV. HIGHER AND LOW ENERGY LIMITS OF ELECTROWEAK MODEL**

The zero energy and infinite energy limits of the modified Electroweak Model with the contracted gauge group are regarded at the level of classical gauge fields. All particles of the model lose their mass in higher energy limit and lagrangian includes only massless neutral  $Z$ -bosons, massless  $u$ -quarks, neutrinos and photons, as well as their weak and electromagnetic interactions. The electroweak interactions become long-range and are carried out by neutral currents only. The infinity energy limit of the Electroweak Model is in line with the electroweak phase transition and neutrino decoupling which take place during the first second after the Big Bang.

**Key words:** gauge theory, electroweak model, contraction, limit model

### **Введение**

Электрослабая модель, объединяющая электромагнитные и слабые взаимодействия элементарных частиц, хорошо описывает имеющиеся экспериментальные данные. Она получила дальнейшие убедительные подтверждения своей адекватности с недавним открытием скалярного бозона Хиггса в экспериментах на большом адронном коллайдере. Эта модель представляет собой калибровочную теорию, основанную на калибровочной группе  $SU(2) \times U(1)$ , являющейся прямым произведением двух простых групп. В физике хорошо известна операция контракции (или предельного перехода) групп [1], которая преобразует простую группу в неполупростую. Для симметричной физической системы контракция ее группы симметрии означает переход к предельному состоянию системы. В случае сложной физической системы, каковой является электрослабая модель, изучение ее предельных состояний при тех или иных предельных значениях физических параметров дает возможность лучше понять поведение системы в целом.

В данной работе мы обсудим на уровне классических калибровочных полей модифицированную электрослабую модель с контрактированной калибровочной группой. Ранее было показано [2–4], что контракционный параметр связан с энергией  $s$  элементарной частицы в системе центра масс, так что контракция калибровочной группы отвечает низкоэнергетическому пределу электрослабой модели. Вместе с тем, в отличие от чисто математического подхода, в котором компоненты векторов рассматриваются как числовые поля, электрослабая модель включает интерпретацию этих компонент как физических полей, отвечающих различным элементарным частицам, что позволяет рассмотреть высокоэнергетический предел электрослабой модели.

### **1. Модифицированная электрослабая модель**

Рассмотрим электрослабую модель, в которой контрактированная калибровочная группа  $SU(2; j) \times U(1)$  действует в бозонном, лептонном и кварковом секторах. Контрактированная группа  $SU(2; j)$  и пространство ее фундаментального представления

$C_2(j)$  получаются **согласованным преобразованием** простой унитарной группы  $SU(2)$  и комплексного пространства  $C_2$  вида

$$\begin{aligned} z'(j) &= \begin{pmatrix} jz'_1 \\ z'_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha & j\beta \\ -j\beta & \bar{\alpha} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} jz_1 \\ z_2 \end{pmatrix} = \\ &= u(j)z(j), \quad u(j)u^\dagger(j) = 1, \\ \det u(j) &= |\alpha|^2 + j^2|\beta|^2 = 1 \end{aligned} \quad (1)$$

при стремящемся к нулю контракционном параметре  $j \rightarrow 0$  или при нильпотентном значении последнего  $j = \iota, \iota^2 = 0$ .

Контрактированная группа  $SU(2; \iota)$  изоморфна евклидовой группе  $E(2)$ , а пространство  $C_2(\iota)$  есть расслоенное пространство с одномерной базой  $\{z_2\}$  и одномерным слоем  $\{z_1\}$ . Действие унитарной группы  $U(1)$  и электромагнитной подгруппы  $U(1)_{em}$  в пространстве  $C_2(j)$  описывается теми же самыми матрицами, что и в  $C_2$ .

Пространство  $C_2(j)$  можно получить из  $C_2$  заменой  $z_1 \rightarrow jz_1$ , которая в свою очередь индуцирует замену генераторов алгебры Ли вида:  $T_1 \rightarrow jT_1, T_2 \rightarrow jT_2, T_3 \rightarrow T_3$ . Поскольку калибровочные поля принимают значения в алгебре Ли калибровочной группы, мы можем вместо преобразования генераторов произвести замену калибровочных полей, а именно:  $A_\mu^1 \rightarrow jA_\mu^1, A_\mu^2 \rightarrow jA_\mu^2, A_\mu^3 \rightarrow A_\mu^3, B_\mu \rightarrow B_\mu$ . Для стандартных бозонных калибровочных полей эта замена выглядит следующим образом:

$$W_\mu^\pm \rightarrow jW_\mu^\pm, \quad Z_\mu \rightarrow Z_\mu, \quad A_\mu \rightarrow A_\mu. \quad (2)$$

Левые фермионные поля лептонов и кварков  $L_l = \begin{pmatrix} \nu_l \\ e_l \end{pmatrix}, Q_l = \begin{pmatrix} u_l \\ d_l \end{pmatrix}$  являются  $SU(2)$ -дублетами, т.е. векторами пространства  $C_2$ , поэтому их компоненты преобразуются так же, как компоненты вектора  $z$ :

$$\nu_l \rightarrow j\nu_l, \quad e_l \rightarrow e_l, \quad u_l \rightarrow ju_l, \quad d_l \rightarrow d_l. \quad (3)$$

Правые поля лептонов и кварков являются  $SU(2)$ -синглетами, т.е. скалярами, и поэтому не преобразуются.

В представленной схеме параметр контракции оказывается связанным с энергией  $s$  в системе центра масс и выражается через фундаментальные параметры электрослабой модели формулой

$$j^2(s) = \frac{g}{m_W} \sqrt{s}, \quad (4)$$

где  $m_W$  есть масса  $W$ -бозона, а  $g$  — константа [3,4]. Таким образом, контракция калибровочной группы  $j \rightarrow 0$  отвечает низкоэнергетическому пределу электрослабой модели.

После преобразований (2), (3) бозонный лагранжиан электрослабой модели можно представить в виде

$$\begin{aligned} L_B(j) &= L_B^{(2)}(j) + L_B^{int}(j) = \\ &= \frac{1}{2} (\partial_\mu \chi)^2 - \frac{1}{2} m_\chi^2 \chi^2 - \frac{1}{4} Z_{\mu\nu} Z_{\mu\nu} + \frac{1}{2} m_Z^2 Z_\mu Z_\mu - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -\frac{1}{4} \mathcal{F}_{\mu\nu} \mathcal{F}_{\mu\nu} + j^2 \left\{ -\frac{1}{2} \mathcal{W}_{\mu\nu}^+ \mathcal{W}_{\mu\nu}^- + m_W^2 W_\mu^+ W_\mu^- \right\} + \\ + L_B^{int}(j) = L_{B,b} + j^2 L_{B,f}, \end{aligned} \quad (5)$$

где, как обычно, слагаемые второго порядка описывают спектр частиц модели, а слагаемые более высокого порядка  $L_B^{int}$  рассматриваются как их взаимодействия. Лагранжиан (5) включает заряженные  $W$ -бозоны с идентичными массами  $m_W = \frac{1}{2} gv$ , безмассовый фотон  $A_\mu$ , нейтральный  $Z$ -бозон с массой  $m_Z = \frac{v}{2} \sqrt{g^2 + g'^2}$  и скалярный бозон Хиггса  $\chi$ ,  $m_\chi = \sqrt{2} \lambda v$ . В пределе  $j \rightarrow 0$  лагранжиан (5) распадается на две части: лагранжиан  $L_{B,b}$  полей в базе расслоения

$$\begin{aligned} L_{B,b} &= \frac{1}{2} (\partial_\mu \chi)^2 - \frac{1}{2} m_\chi^2 \chi^2 - \frac{1}{4} Z_{\mu\nu}^2 + \frac{1}{2} m_Z^2 (Z_\mu)^2 - \\ &- \frac{1}{4} \mathcal{F}_{\mu\nu}^2 + \frac{gm_z}{2 \cos \theta_W} (Z_\mu)^2 \chi - \lambda v \chi^3 + \\ &+ \frac{g^2}{8 \cos^2 \theta_W} (Z_\mu)^2 \chi^2 - \frac{\lambda}{4} \chi^4 \end{aligned} \quad (6)$$

и лагранжиан  $L_{B,f}$  полей в слое

$$\begin{aligned} L_{B,f} &= -\frac{1}{2} \mathcal{W}_{\mu\nu}^+ \mathcal{W}_{\mu\nu}^- + m_W^2 W_\mu^+ W_\mu^- - \\ &- 2ig (W_\mu^+ W_\nu^- - W_\mu^- W_\nu^+) (\mathcal{F}_{\mu\nu} \sin \theta_W + \\ &+ Z_{\mu\nu} \cos \theta_W) - \frac{i}{2} e [A_\mu (\mathcal{W}_{\mu\nu}^+ W_\nu^- - \mathcal{W}_{\mu\nu}^- W_\nu^+) - \\ &- A_\nu (\mathcal{W}_{\mu\nu}^+ W_\mu^- - \mathcal{W}_{\mu\nu}^- W_\mu^+)] + g W_\mu^+ W_\mu^- \chi - \\ &- \frac{i}{2} g \cos \theta_W [Z_\mu (\mathcal{W}_{\mu\nu}^+ W_\nu^- - \mathcal{W}_{\mu\nu}^- W_\nu^+) - \\ &- Z_\nu (\mathcal{W}_{\mu\nu}^+ W_\mu^- - \mathcal{W}_{\mu\nu}^- W_\mu^+)] + \\ &+ \frac{g^2}{4} (W_\mu^+ W_\nu^- - W_\mu^- W_\nu^+)^2 + \frac{g^2}{4} W_\mu^+ W_\nu^- \chi^2 - \\ &- \frac{e^2}{4} \left\{ [(W_\mu^+)^2 + (W_\mu^-)^2] (A_\nu)^2 - \right. \\ &- 2 (W_\mu^+ W_\nu^+ + W_\mu^- W_\nu^-) A_\mu A_\nu + \\ &+ [(W_\nu^+)^2 + (W_\nu^-)^2] (A_\mu)^2 \left. \right\} - \\ &- \frac{g^2}{4} \cos \theta_W \left\{ [(W_\mu^+)^2 + (W_\mu^-)^2] (Z_\nu)^2 - \right. \\ &- 2 (W_\mu^+ W_\nu^+ + W_\mu^- W_\nu^-) Z_\mu Z_\nu + \\ &+ [(W_\nu^+)^2 + (W_\nu^-)^2] (Z_\mu)^2 \left. \right\} - \\ &- eg \cos \theta_W \left\{ W_\mu^+ W_\mu^- A_\nu Z_\nu + W_\nu^+ W_\nu^- A_\mu Z_\mu - \right. \\ &- \frac{1}{2} (W_\mu^+ W_\nu^- + W_\nu^+ W_\mu^-) (A_\mu Z_\nu + A_\nu Z_\mu) \left. \right\}. \end{aligned} \quad (7)$$

Лептонный лагранжиан через поля электронов и нейтрино записывается в виде

$$L_L(j) = e_l^\dagger i \tilde{\tau}_\mu \partial_\mu e_l + e_r^\dagger i \tau_\mu \partial_\mu e_r - m_e (e_r^\dagger e_l + e_l^\dagger e_r) +$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{g \cos 2\theta_w}{2 \cos \theta_w} e_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu Z_\mu e_l - e e_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu A_\mu e_l - \\
 & - g' \cos \theta_w e_r^\dagger \tau_\mu A_\mu e_r + g' \sin \theta_w e_r^\dagger \tau_\mu Z_\mu e_r + \\
 & + j^2 \left\{ \nu_l^\dagger i \tilde{\tau}_\mu \partial_\mu \nu_l + \frac{g}{2 \cos \theta_w} \nu_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu Z_\mu \nu_l + \right. \\
 & \left. + \frac{g}{\sqrt{2}} \left[ \nu_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu W_\mu^+ e_l + e_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu W_\mu^- \nu_l \right] \right\} = L_{L,b} + j^2 L_{L,f}.
 \end{aligned} \tag{8}$$

Кварковый лагранжиан выражается через поля  $u$  и  $d$  кварков

$$\begin{aligned}
 L_Q(j) & = d_l^\dagger i \tilde{\tau}_\mu \partial_\mu d_l + d_r^\dagger i \tau_\mu \partial_\mu d_r - m_d (d_r^\dagger d_l + d_l^\dagger d_r) - \\
 & - \frac{e}{3} d_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu A_\mu d_l - \frac{g}{\cos \theta_w} \left( \frac{1}{2} - \frac{2}{3} \sin^2 \theta_w \right) d_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu Z_\mu d_l - \\
 & - \frac{1}{3} g' \cos \theta_w d_r^\dagger \tau_\mu A_\mu d_r + \frac{1}{3} g' \sin \theta_w d_r^\dagger \tau_\mu Z_\mu d_r - \\
 & + j^2 \left\{ u_l^\dagger i \tilde{\tau}_\mu \partial_\mu u_l + u_r^\dagger i \tau_\mu \partial_\mu u_r - m_u (u_r^\dagger u_l + u_l^\dagger u_r) + \right. \\
 & \quad + \frac{g}{\cos \theta_w} \left( \frac{1}{2} - \frac{2}{3} \sin^2 \theta_w \right) u_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu Z_\mu u_l + \\
 & \quad + \frac{2e}{3} u_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu A_\mu u_l + \frac{g}{\sqrt{2}} \left[ u_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu W_\mu^+ d_l + d_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu W_\mu^- u_l \right] + \\
 & \quad \left. + \frac{2}{3} g' \cos \theta_w u_r^\dagger \tau_\mu A_\mu u_r - \frac{2}{3} g' \sin \theta_w u_r^\dagger \tau_\mu Z_\mu u_r \right\} = \\
 & = L_{Q,b} + j^2 L_{Q,f}.
 \end{aligned} \tag{9}$$

Константы  $m_e = h_e v / \sqrt{2}$ ,  $m_u = h_u v / \sqrt{2}$ ,  $m_d = h_d v / \sqrt{2}$  задают массы электрона и кварков.

Полный лагранжиан модифицированной модели дается суммой бозонного, лептонного и кваркового лагранжианов

$$\begin{aligned}
 L(j) & = L_B(j) + L_Q(j) + L_L(j) = \\
 & = L_{B,b} + L_{L,b} + L_{Q,b} + j^2 \{ L_{B,f} + L_{L,f} + L_{Q,f} \} = \\
 & = L_b + j^2 L_f.
 \end{aligned} \tag{10}$$

## 2. Описание физических систем и контракции групп

Стандартный способ описания сложных физических систем в теории поля состоит в их разложении на более простые независимые подсистемы, допускающие точные описания, с последующим рассмотрением взаимодействия между подсистемами. В лагранжевом формализме это выражается в том, что некоторые слагаемые описывают свободные поля (независимые подсистемы), а оставшиеся слагаемые трактуются как взаимодействия между полями. В том случае, когда подсистемы не взаимодействуют друг с другом, составная система является формальным объединением подсистем, а ее группа симметрии равна прямому произведению  $G = G_1 \times G_2$ , в котором  $G_1$  и  $G_2$  — группы симметрии подсистем.

Операция контракции групп преобразует простую или полупростую группу  $G$  в неполупростую

группу, представляющую собой полупрямое произведение  $G = A \rtimes G_1$ , в котором  $A$  есть абелева, а  $G_1 \subset G$  — инвариантная относительно контракции подгруппа. В то же время пространство фундаментального представления группы  $G$  расслаивается при контракции так, что подгруппа  $G_1$  действует в слое. Калибровочная теория с контрактированной калибровочной группой описывает физическую систему с выделенными подсистемами  $S_b$  и  $S_f$ . Одна подсистема  $S_b$  включает все поля из базы расслоения, а другая подсистема  $S_f$  содержит поля из слоя.  $S_b$  образует замкнутую систему, поскольку, согласно полуримановой геометрии [5, 6], свойства базы не зависят от точек слоя. Физически это означает, что поля из слоя не взаимодействуют с полями из базы. Наоборот, свойства слоя зависят от точек базы, поэтому подсистема  $S_b$  влияет на  $S_f$ . Более точно, поля из базы являются внешними полями для подсистемы  $S_f$  и задают внешние условия в каждом слое.

В частности, простая группа  $SU(2)$  контрактируется в неполупростую группу  $SU(2; \nu)$ , которая изоморфна евклидовой группе  $E(2) = A_2 \rtimes SO(1)$ , с абелевой подгруппой  $A_2$ , порождаемой трансляциями, и группой вращений  $SO(1)$  в качестве инвариантной подгруппы [7]. Пространство полей стандартной электрослабой модели расслаивается при контракции так, что поля нейтрино,  $W$ -бозона и  $u$ -кварка оказываются в слое, а оставшиеся поля фотона,  $Z$ -бозона и  $d$ -кварка порождают базу расслоения. Поля базы образуют замкнутую физическую подсистему, которая включает помимо свободных полей их взаимодействия и самодействия. Примечательно, что лагранжиан  $L_b$  не содержит взаимодействия заряженных слабых токов, которые выключаются при нулевой энергии. Действительно, калибровочные  $W$ -бозоны входят только в слой, поэтому они не влияют на поля в базе. Лагранжиан  $L_f$  подсистемы в слое расслоения включает поля  $W$ -бозонов, нейтрино,  $u$ -кварков, а также их электромагнитные и слабые (как нейтральными, так и заряженными токами) взаимодействия. При нулевой энергии поля бозона Хиггса, фотона,  $Z$ -бозона, электрона и  $d$ -кварка рассматриваются как внешние поля, которые задают внешние условия в каждом слое.

Простой и наиболее известный пример расслоенного пространства дает нерелятивистское пространство–время с одномерной базой, интерпретируемой как время, и трехмерным слоем, интерпретируемым как собственно пространство. Хорошо известно, что в нерелятивистской физике время абсолютно и не зависит от пространственных координат, тогда как свойства пространства могут изменяться с течением времени. Простейшей демонстрацией этого факта служат преобразования Галилея

$$\begin{aligned}
 t' & = t \\
 x' & = x + vt.
 \end{aligned} \tag{11}$$

Релятивистское пространство–время преобразуется в нерелятивистское, когда размерный параметр — скорость света  $c$  — стремится к бесконечности, а безразмерный параметр — отношение  $\frac{v}{c}$  характерной скорости  $v$  к скорости света — стремится к нулю.

### 3. Две контракции электрослабой модели

Как следует из соотношения (4), предельный переход (1)–(3) при  $j \rightarrow 0$  соответствует низкоэнергетическому пределу электрослабой модели. При этом первые компоненты лептонных и кварковых дублетов становятся бесконечно малыми по сравнению со вторыми компонентами. Наоборот, при увеличении энергии первые компоненты дублетов возрастают и превосходят вторые компоненты. В пределе бесконечно большой энергии вторые компоненты лептонных и кварковых дублетов становятся бесконечно малыми по сравнению с первыми компонентами.

Чтобы описать этот предел, мы введем новый контракционный параметр  $\epsilon$  и **новое согласованное действие** группы  $SU(2)$  на пространстве  $C_2$ :

$$\begin{aligned} z'(\epsilon) &= \begin{pmatrix} z'_1 \\ \epsilon z'_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha & \epsilon\beta \\ -\epsilon\bar{\beta} & \bar{\alpha} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} z_1 \\ \epsilon z_2 \end{pmatrix} = \\ &= u(\epsilon)z(\epsilon), \quad u(\epsilon)u^\dagger(\epsilon) = 1, \\ \det u(\epsilon) &= |\alpha|^2 + \epsilon^2|\beta|^2 = 1. \end{aligned} \quad (12)$$

Обе контрактированные группы  $SU(2; j)$  (1) и  $SU(2; \epsilon)$  (12) одинаковы и изоморфны группе Евклида  $E(2)$ , но пространство  $C_2(\epsilon)$  в пределе  $\epsilon \rightarrow 0$  расслаивается на одномерную базу  $\{z_1\}$  и одномерный слой  $\{z_2\}$ . С математической точки зрения несущественно, на какую декартову координатную ось — первую или вторую — натягивается база расслаивания и в этом смысле обе конструкции (1) и (12) эквивалентны. Однако компоненты дублетов интерпретируются как определенные физические поля, поэтому фундаментальные представления (1) и (12) одной и той же контрактированной унитарной группы приводят к **разным** — низкоэнергетическому и высокоэнергетическому — пределам электрослабой модели.

Во второй контракционной схеме (12) поля всех калибровочных бозонов преобразуются по правилам (2) с очевидной заменой параметра  $j$  на  $\epsilon$ . Поля лептонов и кварков вместо (3) теперь преобразуются по правилам

$$e_l \rightarrow \epsilon e_l, \quad d_l \rightarrow \epsilon d_l, \quad \nu_l \rightarrow \nu_l, \quad u_l \rightarrow u_l. \quad (13)$$

Еще одной причиной неэквивалентности первых и вторых компонент дублетов является механизм спонтанного нарушения симметрии, который используется в электрослабой модели для генерации масс векторных бозонов и других элементарных частиц. В этом механизме одно из основных состояний лагранжиана  $\phi^{vac} = \begin{pmatrix} 0 \\ v \end{pmatrix}$  выбирается в качестве вакуума модели и затем рассматриваются малые возмущения скалярного поля  $v + \chi(x)$  и других полей относительно этого вакуума. Таким образом, поле бозона Хиггса  $\chi$  и константа  $v$  умножаются на  $\epsilon$ . Поскольку массы всех частиц пропорциональны  $v$ , мы получаем следующие преобразования при контракции (12)

$$\chi \rightarrow \epsilon\chi, \quad v \rightarrow \epsilon v, \quad m_p \rightarrow \epsilon m_p, \quad (14)$$

где  $p = \chi, W, Z, e, u, d$ .

### 4. Лагранжиан электрослабой модели при высоких энергиях

В результате преобразований (2), (13)–(14) бозонный лагранжиан электрослабой модели приобретает вид

$$\begin{aligned} L_B(\epsilon) &= \\ &= -\frac{1}{4}Z_{\mu\nu}^2 - \frac{1}{4}F_{\mu\nu}^2 + \epsilon^2 L_{B,2} + \epsilon^3 g W_\mu^+ W_\mu^- \chi + \epsilon^4 L_{B,4}, \\ L_{B,4} &= m_W^2 W_\mu^+ W_\mu^- - \frac{1}{2}m_\chi^2 \chi^2 - \lambda v \chi^3 - \frac{\lambda}{4} \chi^4 + \\ &+ \frac{g^2}{4} (W_\mu^+ W_\nu^- - W_\mu^- W_\nu^+)^2 + \frac{g^2}{4} W_\mu^+ W_\nu^- \chi^2, \\ L_{B,2} &= \frac{1}{2}(\partial_\mu \chi)^2 + \frac{1}{2}m_Z^2 (Z_\mu)^2 - \frac{1}{2}W_{\mu\nu}^+ W_{\mu\nu}^- + \\ &+ \frac{gm_z}{2 \cos \theta_W} (Z_\mu)^2 \chi + \frac{g^2}{8 \cos^2 \theta_W} (Z_\mu)^2 \chi^2 - \\ &- 2ig (W_\mu^+ W_\nu^- - W_\mu^- W_\nu^+) \left( \mathcal{F}_{\mu\nu} \sin \theta_W + \right. \\ &+ \mathcal{Z}_{\mu\nu} \cos \theta_W \left. \right) - \frac{i}{2}e [A_\mu (W_{\mu\nu}^+ W_\nu^- - W_{\mu\nu}^- W_\nu^+) - \\ &- A_\nu (W_{\mu\nu}^+ W_\mu^- - W_{\mu\nu}^- W_\mu^+)] - \\ &- \frac{i}{2}g \cos \theta_W [Z_\mu (W_{\mu\nu}^+ W_\nu^- - W_{\mu\nu}^- W_\nu^+) - \\ &- Z_\nu (W_{\mu\nu}^+ W_\mu^- - W_{\mu\nu}^- W_\mu^+)] - \\ &- \frac{e^2}{4} \left\{ [(W_\mu^+)^2 + (W_\mu^-)^2] (A_\nu)^2 - \right. \\ &- 2(W_\mu^+ W_\nu^+ + W_\mu^- W_\nu^-) A_\mu A_\nu + \\ &+ [(W_\nu^+)^2 + (W_\nu^-)^2] (A_\mu)^2 \left. \right\} - \\ &- \frac{g^2}{4} \cos \theta_W \left\{ [(W_\mu^+)^2 + (W_\mu^-)^2] (Z_\nu)^2 - \right. \\ &- 2(W_\mu^+ W_\nu^+ + W_\mu^- W_\nu^-) Z_\mu Z_\nu + \\ &+ [(W_\nu^+)^2 + (W_\nu^-)^2] (Z_\mu)^2 \left. \right\} - \\ &- eg \cos \theta_W [W_\mu^+ W_\mu^- A_\nu Z_\nu + W_\nu^+ W_\nu^- A_\mu Z_\mu - \\ &- \frac{1}{2} (W_\mu^+ W_\nu^- + W_\nu^+ W_\mu^-) (A_\mu Z_\nu + A_\nu Z_\mu)]. \end{aligned} \quad (15)$$

Через поля электрона и нейтрино лептонный лагранжиан записывается в виде

$$\begin{aligned} L_L(\epsilon) &= L_{L,0} + \epsilon^2 L_{L,2} = \\ &= \nu_l^\dagger i \tilde{\tau}_\mu \partial_\mu \nu_l + e_r^\dagger i \tilde{\tau}_\mu \partial_\mu e_r + g' \sin \theta_w e_r^\dagger \tau_\mu Z_\mu e_r - \\ &- g' \cos \theta_w e_r^\dagger \tau_\mu A_\mu e_r + \frac{g}{2 \cos \theta_w} \nu_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu Z_\mu \nu_l + \\ &+ \epsilon^2 \left\{ e_l^\dagger i \tilde{\tau}_\mu \partial_\mu e_l - m_e (e_r^\dagger e_l + e_l^\dagger e_r) + \right. \\ &+ \frac{g \cos 2\theta_w}{2 \cos \theta_w} e_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu Z_\mu e_l - e e_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu A_\mu e_l + \end{aligned}$$

$$+\frac{g}{\sqrt{2}}\left(\nu_l^\dagger\tilde{\tau}_\mu W_\mu^+e_l+e_l^\dagger\tilde{\tau}_\mu W_\mu^- \nu_l\right)\}. \quad (16)$$

Кварковый лагранжиан в терминах полей  $u$ - и  $d$ -кварков переписывается в виде

$$\begin{aligned} L_Q(\epsilon) &= L_{Q,0} - \epsilon m_u(u_r^\dagger u_l + u_l^\dagger u_r) + \epsilon^2 L_{Q,2}, \\ L_{Q,0} &= d_r^\dagger i\tilde{\tau}_\mu \partial_\mu d_r + u_l^\dagger i\tilde{\tau}_\mu \partial_\mu u_l + u_r^\dagger i\tilde{\tau}_\mu \partial_\mu u_r - \\ &\quad - \frac{1}{3}g' \cos\theta_w d_r^\dagger \tau_\mu A_\mu d_r + \frac{1}{3}g' \sin\theta_w d_r^\dagger \tau_\mu Z_\mu d_r + \\ &\quad + \frac{2e}{3}u_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu A_\mu u_l + \frac{g}{\cos\theta_w} \left(\frac{1}{2} - \frac{2}{3}\sin^2\theta_w\right) u_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu Z_\mu u_l + \\ &\quad + \frac{2}{3}g' \cos\theta_w u_r^\dagger \tau_\mu A_\mu u_r - \frac{2}{3}g' \sin\theta_w u_r^\dagger \tau_\mu Z_\mu u_r, \\ L_{Q,2} &= d_l^\dagger i\tilde{\tau}_\mu \partial_\mu d_l - m_d(d_r^\dagger d_l + d_l^\dagger d_r) - \\ &\quad - \frac{e}{3}d_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu A_\mu d_l - \frac{g}{\cos\theta_w} \left(\frac{1}{2} - \frac{2}{3}\sin^2\theta_w\right) d_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu Z_\mu d_l + \\ &\quad + \frac{g}{\sqrt{2}} \left[u_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu W_\mu^+ d_l + d_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu W_\mu^- u_l\right]. \quad (17) \end{aligned}$$

Полный лагранжиан электрослабой модели дается суммой  $L(\epsilon) = L_B(\epsilon) + L_L(\epsilon) + L_Q(\epsilon)$  и для бесконечной энергии (при  $\epsilon = 0$ ) равен

$$\begin{aligned} L_\infty &= -\frac{1}{4}Z_{\mu\nu}^2 - \frac{1}{4}F_{\mu\nu}^2 + \nu_l^\dagger i\tilde{\tau}_\mu \partial_\mu \nu_l + u_l^\dagger i\tilde{\tau}_\mu \partial_\mu u_l + \\ &\quad + e_r^\dagger i\tau_\mu \partial_\mu e_r + d_r^\dagger i\tau_\mu \partial_\mu d_r + u_r^\dagger i\tau_\mu \partial_\mu u_r + L_\infty^{int}(A_\mu, Z_\mu), \\ L_\infty^{int}(A_\mu, Z_\mu) &= \frac{g}{2\cos\theta_w} \nu_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu Z_\mu \nu_l + \frac{2e}{3} u_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu A_\mu u_l + \\ &\quad + \frac{g}{\cos\theta_w} \left(\frac{1}{2} - \frac{2}{3}\sin^2\theta_w\right) u_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu Z_\mu u_l + \\ &\quad + g' \sin\theta_w e_r^\dagger \tau_\mu Z_\mu e_r - g' \cos\theta_w e_r^\dagger \tau_\mu A_\mu e_r - \\ &\quad - \frac{1}{3}g' \cos\theta_w d_r^\dagger \tau_\mu A_\mu d_r + \frac{1}{3}g' \sin\theta_w d_r^\dagger \tau_\mu Z_\mu d_r + \\ &\quad + \frac{2}{3}g' \cos\theta_w u_r^\dagger \tau_\mu A_\mu u_r - \frac{2}{3}g' \sin\theta_w u_r^\dagger \tau_\mu Z_\mu u_r. \quad (18) \end{aligned}$$

Предельная бесконечно энергетическая модель включает только безмассовые частицы: нейтральный безмассовый бозон  $Z_\mu$  и фотон, безмассовый правый электрон  $e_r$  и нейтрино  $\nu_l$ , а также безмассовые левые и правые кварки  $u_l, u_r, d_r$ . Электрослабые взаимодействия становятся дальнедействующими, поскольку они переносятся теперь уже безмассовыми  $Z$ -бозонами и фотонами. Отсутствуют взаимодействия между частицами разного вида, например, нейтрино взаимодействуют только друг с другом посредством нейтральных токов.

Подобные высокие энергии могут существовать в ранней Вселенной после инфляции и разогрева на первых стадиях горячего Большого взрыва [8, 9]. Электрослабые фазовые переходы и отделение нейтрино, которые происходили в течение первой секунды после Большого взрыва [10], очевидно, находятся в соответствии с бесконечно энергетическим пределом электрослабой модели (18). Массовый член  $u$ -кварка в полном лагранжиане пропорционален параметру  $\epsilon$ , тогда как массовые члены электрона и  $d$ -кварка умножаются на  $\epsilon^2$ , поэтому  $u$ -кварк первым восстанавливает свою массу в процессе эволюции Вселенной.

Работа поддержана программой Уральского отделения РАН, проект № 12-Р-1-1013.

### Литература

1. *Inonu E., Wigner E.P.* On the Contraction of Groups and their Representations // Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A., 1953. Vol. 39. P. 510–524.
2. *Громов Н.А.* Слабое взаимодействие нейтрино с веществом как контракция стандартной электрослабой модели // Известия Коми НЦ УрО РАН, 2011. Вып. 4(8). С. 4–11.
3. *Gromov N.A.* Contraction of Electroweak Model can Explain the Interactions Neutrinos with Matter // Phys. Part. Nucl., 2012. Vol. 43. P. 723–725.
4. *Gromov N.A.* Interpretation of Neutrino-Matter Interactions at Low Energies as Contraction of Gauge Group of Electroweak Model // Phys. Atom. Nucl., 2013. Vol. 76. P. 1144–1148.
5. *Пименов Р.И.* К определению полуримановых пространств // Вестник Ленинград. унив., 1965. № 1. С. 137–140.
6. *Громов Н.А.* Контракции классических и квантовых групп. М.: Физматлит, 2012. 318 с.
7. *Громов Н.А.* Возможные контракции группы  $SU(2) \times U(1)$  // Известия Коми НЦ УрО РАН, 2010. Вып. 1. С. 5–10.
8. *Лунде Л.Д.* Физика частиц и инфляционная космология. М.: Наука, 1990. 280 с.
9. *Gorbunov D.S., Rubakov V.A.* Introduction to the Theory of the Early Universe: Hot Big Bang Theory. Singapore: World Scientific, 2011. 488 p.
10. *Gorbunov D.S.* Inflationary Models with Flat Potential // Int. Conf. "New Trends in High-Energy Physics", Alushta, Crimea, Sept. 23–29, 2013. <http://crimea.bitp.kiev.ua/reg/files/gorbunov.pdf>.

Статья поступила в редакцию 16.12.2013.

УДК 541.122:538.214

## **СИНТЕЗ, ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МАРГАНЕЦСОДЕРЖАЩИХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ НИОБАТА ВИСМУТА $\text{Bi}_3\text{NbO}_7$ КУБИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ**

Н.А. ЖУК, Е.С. ГИРУТЬ, Т.А. ПОПОВА, Т.В. ОБЕДИНА

*Сыктывкарский государственный университет, г. Сыктывкар*  
[nzhuck@mail.ru](mailto:nzhuck@mail.ru)

Установлена температура фазовых переходов твердых растворов  $\text{Bi}_3\text{Nb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_{7-0}$  с флюоритоподобной структурой. Методами ЭПР и магнитной восприимчивости определено состояние атомов марганца в твердых растворах кубической модификации. Измерены емкость и тангенс диэлектрических потерь образцов твердых растворов в температурном интервале от 313 до 993 К при частотах переменного поля 1 – 100 кГц.

**Ключевые слова:** ниобат висмута, флюоритоподобная структура, фазовый переход, гетеровалентное замещение, магнитная восприимчивость, диэлектрическая проницаемость, удельная электропроводность

**N.A. ZHUK, E.S. GIRUT, T.A. POPOVA, T.V. OBEDINA. SYNTHESIS, ELECTRICAL AND MAGNETIC PROPERTIES OF MANGANESE-CONTAINING SOLID SOLUTIONS OF NIOBATE BISMUTH  $\text{Bi}_3\text{NbO}_7$  CUBIC MODIFICATION**

The temperature of the phase transitions of solid solutions  $\text{Bi}_3\text{Nb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_{7-0}$  with the fluorite-like structure were determined. The oxidation state of the manganese atoms in the cubic solid solutions was studied by EPR and magnetic susceptibility method. The capacitance and the dielectric loss tangent of the solid solutions were measured in the temperature range from 313 K to 993 K at 1 kHz - 100 kHz.

**Key words:** bismuth niobate, fluorite-like structure, phase transition, heterovalent substitution, magnetic susceptibility, dielectric constant and conductivity

### **Введение**

Современные направления химии твердого тела тесно связаны с использованием природных и искусственно получаемых оксидных материалов, роль которых значительно возросла за последнее время. Устойчивый интерес исследователей к оксидной керамике вызван, прежде всего, возможностями ее практического применения в магнитных устройствах, элементах пьезо- и электрооптических преобразователей, в качестве катализаторов химических реакций и материалов для преобразователей солнечной энергии в химическую [1,2]. Большинство оксидных материалов отличаются относительной простотой их получения и высокой стабильностью в ходе эксплуатации на воздухе [3,4]. Важное место в ряду оксидных материалов занимают системы на основе сложных ниобатов висмута, кристаллизующихся в широком спектре структурных типов, таких как фазы Ауривиллиуса, пирохлор, флюоритоподобные структуры [2,3,5,6]. Благодаря полезным электрофизическим свойствам и низкой температуре синтеза многие ниобаты вис-

мута используются в качестве сегнето-и пьезоэлектриков, ионных проводников, материалов для нелинейной оптики и лазерной техники, датчиков кислорода, катализаторов в фотокаталитических реакциях [2,7,8]. Ниобат висмута  $\text{Bi}_3\text{NbO}_7$  находит широкое применение для создания на его основе материалов, используемых в качестве диэлектрической прослойки в монолитных конденсаторах и фильтрах, состоящих из слоев диэлектрической керамики и легкоплавких электрических проводников [9–11].

Кристаллическая структура ниобата висмута описывается пространственной группой  $Fm\bar{3}m$  с параметром элементарной ячейки  $a = 0.547$  нм. Атомы висмута и ниобия статистически распределены в одной системе кристаллографических позиций [3, 9–11]. Ниобат висмута при 1103 – 1123 К испытывает реконструктивный фазовый переход из кубической фазы в тетрагональную, а затем в кубическую при температуре 1223 – 1253 К [10,11]. Ранее установлено [12], что марганецсодержащие твердые растворы ниобата висмута образуются в достаточно широком концентрационном интервале

(до 10 мол. %), что дает возможность изучить влияние гетеровалентного замещения на структуру и электрофизические свойства ниобата висмута. Кроме того, представляет интерес вопрос о состоянии парамагнитных атомов и характере обменных взаимодействий в твердых растворах различных полиморфных модификаций ниобата висмута.

Цель настоящего исследования – изучение влияния гетеровалентного замещения на устойчивость кристаллической структуры и электрофизические свойства ниобата висмута с флюоритоподобной структурой.

### Экспериментальная часть

Образцы твердых растворов  $\text{Bi}_3\text{Nb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_{7-9}$  синтезировали на воздухе по стандартной керамической технологии из смеси стехиометрических количеств оксидов висмута ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ), марганца ( $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ) и ниобия ( $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ) квалификации "ос. ч.". Температуру синтеза и фазовых переходов твердых растворов определили рентгенографическим методом, анализируя дифрактограммы образцов, полученных путем поэтапного обжига в температурном интервале 923 – 1223 К.

Фазовый состав и микроструктуру керамических образцов контролировали методами рентгенофазового анализа (ДРОН-4-13, в фильтрованном  $\text{CuK}\alpha$ -излучении) в интервале брегговских углов от  $20^\circ$  до  $60^\circ$  (с шагом  $0.10^\circ$ ) и сканирующей электронной микроскопии (электронный микроскоп JSM-6400, оснащенный энергодисперсионным рентгеновским спектрометром фирмы Link и программным обеспечением ISIS-300). Дифрактограммы твердых растворов индцированы в предположении структуры дефектного флюорита  $\text{Bi}_3\text{NbO}_7$  (пространственная группа  $Fm\bar{3}m$ ) с параметром элементарной ячейки  $a = 0.5479$  нм с использованием пакета программ CSD [13].

Количественное определение содержания катионов в твердых растворах проведено методом атомно-эмиссионной спектроскопии (SPECTRO CIROS, ISP). Установлено, что количественный состав образцов твердых растворов соответствует заданному стехиометрическому составу.

Для измерений электрофизических параметров твердых растворов  $\text{Bi}_3\text{Nb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_{7-9}$  ( $x = 0.03; 0.06; 0.10$ ) на торцы образцов в форме диска нанесен токопроводящий серебряный слой путем вжигания серебряной пасты при 873 К в течение полчаса. Образец помещали в кварцевую трубку в трубчатой муфельной печи и зажимали платиновыми электродами. Измерения емкости и тангенса диэлектрических потерь проведены в температурном интервале от 313 до 993 К в режиме нагревания и охлаждения с использованием измерителя LCP - МТ 4090 ( $\omega = 1 - 200$  кГц). Температуру в печи контролировали хромель-алюмелевой термопарой, присоединенной к цифровому вольтметру. По итогам измерений рассчитаны значения диэлектрической проницаемости и общей удельной электропроводности образцов и построены их температурные зависимости. Измерены электрофизические характеристики образцов твердых растворов

$\text{Bi}_3\text{Nb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_{7-9}$  ( $x = 0.03; 0.06; 0.10$ ) в температурном интервале от 313 до 993 К при частотах 1 Гц, 10 кГц, 100 кГц, 200 кГц. В результате обработки экспериментальных данных построены температурные зависимости диэлектрической проницаемости  $\varepsilon = f(T)$  и общей удельной электропроводности  $lg\sigma = f(1000/T)$ .

Магнитную восприимчивость образцов твердых растворов измеряли методом Фарадея в температурном интервале 77 – 400 К на установке в лаборатории магнетохимии СПбГУ. На основании экспериментальных данных рассчитаны величины парамагнитных составляющих магнитной восприимчивости и эффективных магнитных моментов марганца при различной температуре и концентрации парамагнетика в твердых растворах. Диамагнитные поправки при расчете парамагнитной составляющей магнитной восприимчивости вводили с учетом восприимчивости матрицы  $\text{Bi}_3\text{NbO}_7$ , измеренной в том же температурном интервале. По результатам измерений магнитной восприимчивости твердых растворов кубических низко-и высокотемпературной модификаций получены значения удельной магнитной восприимчивости и парамагнитной составляющей магнитной восприимчивости, рассчитанные на один моль атомов переходного элемента ( $\chi_{\text{Mn}}^{\text{пара}}$ ), а также эффективный магнитный момент парамагнитных атомов ( $\mu_{\text{эф}}$ ).

### Результаты и обсуждение

*Кристаллическая структура и фазовые превращения твердых растворов*

Методами рентгенофазового анализа и электронной сканирующей микроскопии установлено, что марганецсодержащие твердые растворы кубической модификации ниобата висмута формируются в широком концентрационном интервале  $x \leq 0.1$ , в отличие от никель- и хромсодержащих твердых растворов ( $x \leq 0.06$ ) [12]. Методом электронной сканирующей микроскопии получено подтверждение однофазности твердых растворов кубических модификаций. Как видно из микрофотографий поверхности образцов, полученных в режиме упругоотраженных электронов, образцы тетрагональной и высокотемпературной кубической модификаций характеризуются плотной, малопористой микроструктурой (рис. 1).

Для твердых растворов рассчитаны параметры элементарной ячейки (табл. 1). Параметр кубической ячейки твердых растворов близок параметру ниобата висмута  $a=0.5479$  нм, что связано, по видимому, с близостью ионных радиусов катионов ниобия ( $V$ ) ( $R(\text{Nb}(V))_{\text{к.ч}=6}=0.064$  нм) и марганца ( $R(\text{Mn(III)})_{\text{к.ч}=6(\text{н.с})}=0.058$  нм,  $R(\text{Mn(III)})_{\text{к.ч}=6(\text{в.с})}=0.065$  нм,  $R(\text{Mn(IV)})_{\text{к.ч}=6}=0.054$  нм).

Фактическое уменьшение параметра ячейки с ростом температуры свидетельствует о продолжительности процесса формирования кубической модификации твердых растворов ниобата висмута. Аналогичная тенденция изменения параметров элементарной ячейки наблюдалась и в случае ниобата висмута  $\text{Bi}_3\text{NbO}_7$ . К примеру, параметр элементарной ячейки ниобата висмута, синтезирован-

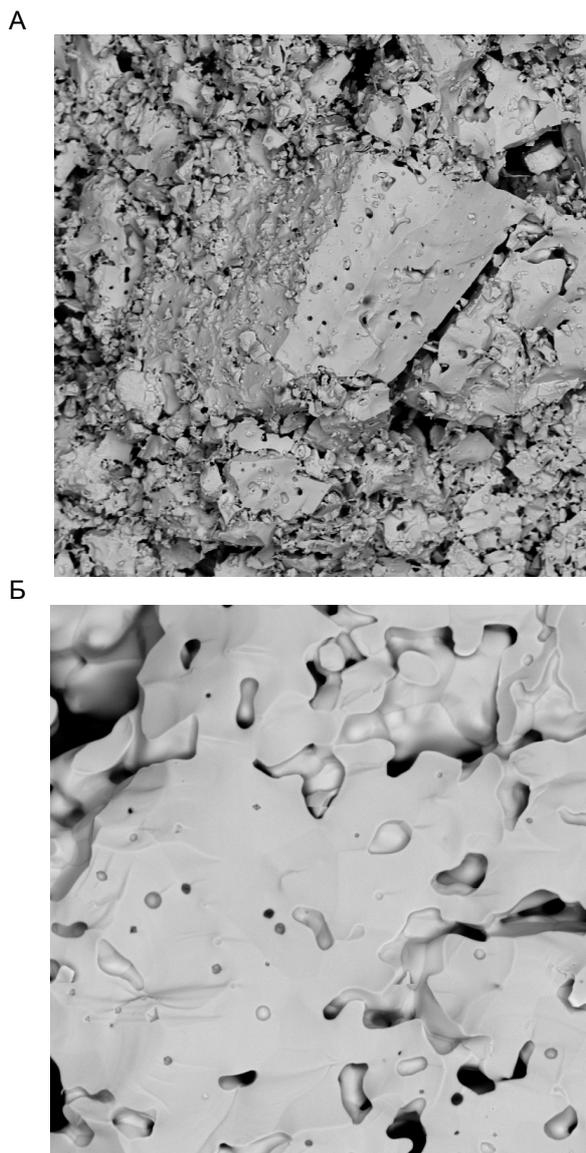


Рис. 1. Изображения поверхности образца, синтезированного при температуре 1123 К (А) и 1223 К (Б), полученные в режиме упругоотраженных электронов.

Таблица 1

**Параметр элементарной ячейки некоторых твердых растворов в зависимости от состава и температуры синтеза образцов**

Состав твердого раствора	Параметр элементарной ячейки, а, нм	
	Температура синтеза образцов твердых растворов, Т, К	
	973	1223
$\text{Bi}_3\text{Nb}_{0.99}\text{Mn}_{0.01}\text{O}_{7-9}$	0.5482	0.5480
$\text{Bi}_3\text{Nb}_{0.97}\text{Mn}_{0.03}\text{O}_{7-9}$	0.5485	0.5479
$\text{Bi}_3\text{Nb}_{0.94}\text{Mn}_{0.06}\text{O}_{7-9}$	0.5504	0.5472

ного при температуре 973 и 1223 К, составляет  $a = 0.549$  и  $a = 0.547$  нм соответственно.

Установлено, что замещение атомов ниобия атомами марганца не приводит к заметным изменениям температуры фазовых переходов, харак-

терной для ниобата висмута. Фазовые переходы кубической модификации твердых растворов в тетрагональную и снова в кубическую происходят при температуре 1123 и 1223 К соответственно (рис. 2). Он иллюстрирует обратимость фазовых переходов: при выдержке образца, ранее прокаленного при 1223 К (кубическая модификация), при температуре синтеза тетрагональной фазы (1123 К) в течение 2 час формируется тетрагональная модификация.

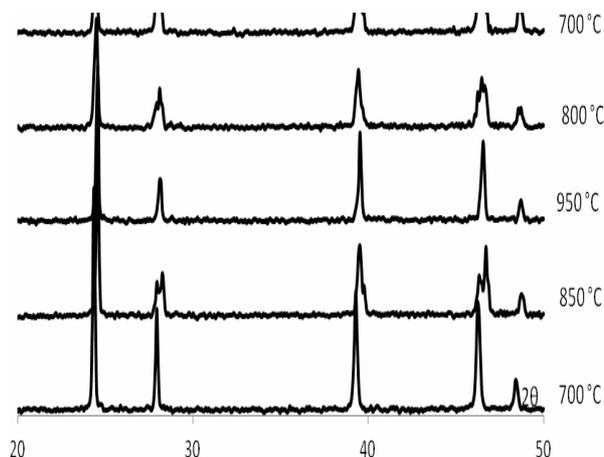


Рис. 2. Дифрактограммы образца  $\text{Bi}_3\text{Nb}_{0.94}\text{Mn}_{0.06}\text{O}_{7-9}$ , прокаленного при температуре 700 °C→850 °C→950 °C→850 °C→700 °C.

#### Состояние атомов марганца в твердых растворах

С целью установления состояния атомов марганца в твердых растворах получены спектры ЭПР образцов марганецсодержащих твердых растворов ( $x = 0.06, 0.03, 0.005$  и  $0.003$ ) кубической высокотемпературной модификации и образцов, синтезированных при 973 К. На спектрах ЭПР образцов, синтезированных при низкой температуре, фиксируется широкая нерасщепленная полоса с g-фактором, равным 2.06, которая может быть отнесена к катионам марганца (II) или (IV). Интенсивность сигнала пропорциональна концентрации атомов марганца в образцах. Для твердых растворов высокотемпературной кубической модификаций данный сигнал отсутствует, при этом проявляется другая размытая полоса с g-фактором, равным 3.47.

Анализируя спектры ЭПР твердых растворов, можно констатировать, что исчерпывающего ответа о состоянии марганца получить не удается. В твердых растворах могут присутствовать катионы марганца (II), (IV) и (III). В магнитноразбавленных растворах не происходит расщепления наблюдаемой полосы, а лишь ослабление ее интенсивности, что может косвенно свидетельствовать о группировке в кластеры парамагнитных атомов в разбавленных твердых растворах.

Исследование магнитных свойств марганецсодержащих твердых растворов гетеровалентного замещения позволяет смоделировать их электронное строение и дать ответ на вопрос о состоянии парамагнитных атомов марганца, их роли в стабилизации

вакансий в кислородной подрешетке [14,15]. С этой целью проведены измерения магнитной восприимчивости марганецсодержащих твердых растворов в температурном интервале 77 – 400 К по методу Фа-радея.

Температурные зависимости обратной величины парамагнитной составляющей молярной магнитной восприимчивости ( $1/\chi_{Mn}^{пара}$ ) линейны и подчиняются закону Кюри-Вейсса во всем температурном интервале. Константа Вейсса принимает отрицательные значения, указывая на преобладание антиферромагнитных обменных взаимодействий между парамагнитными атомами.

Изотермы парамагнитной составляющей магнитной восприимчивости атомов марганца кубической модификации практически совпадают во всем концентрационном интервале (рис. 3). Убывающий характер концентрационных зависимостей  $\chi_{Mn}^{пара}$  свидетельствует о преобладающем антиферромагнитном типе обмена. Путем экстраполяции изотерм  $\chi_{Mn}^{пара}$  на нулевую концентрацию парамагнитного элемента оценены значения эффективного магнитного момента атомов марганца в бесконечно разбавленном твердом растворе. Установлено, что эффективный магнитный момент марганца  $\mu_{x \rightarrow 0}$  зависит от температуры и принимает значения от 3.5 до 4.0 МБ (табл. 2).

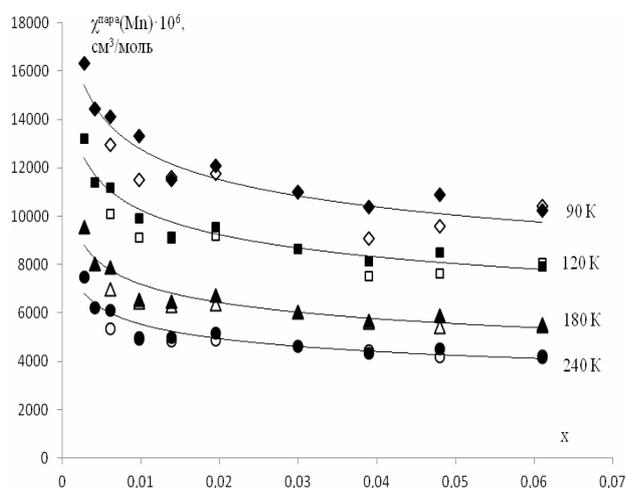


Рис. 3. Изотермы парамагнитной составляющей магнитной восприимчивости марганецсодержащих твердых растворов, синтезированных при 1023 К (черные точки) и при 1223 К (белые), при 90, 120, 180, 240 К.

Таблица 2

**Парамагнитная составляющая магнитной восприимчивости и эффективного магнитного момента атомов марганца в твердых растворах кубической модификации при бесконечном разбавлении**

T, K	$\chi_{Mn}^{пара} \cdot 10^6, \text{ см}^3/\text{моль}$	$\mu_{эф}, \text{ МБ}$
90	17400	3.54
120	14200	3.69
180	10600	3.91
240	8400	4.01

Увеличение магнитного момента от температуры свидетельствует о наличии в твердом растворе при  $x \rightarrow 0$  обменносвязанных кластеров из парамагнитных атомов с общим антиферромагнитным типом обмена и, по-видимому, одиночных атомов марганца Mn (III) и Mn (IV) (чистоспиновые значения  $\mu_{эф}$  составляют 4.90 МБ ( $^5E_g$ ) и 3.87 ( $^4A_{2g}$ ) МБ соответственно).

Интенсивность обменных взаимодействий парамагнитных атомов чутко реагирует на искажения полиэдрического окружения и изменения угла связи между парамагнитными атомами [14,15], поэтому совпадение магнитных характеристик твердых растворов кубической модификации может косвенно свидетельствовать об идентичном строении полиэдров и характере обменных взаимодействий между парамагнитными атомами.

По предварительным оценкам состояния парамагнитных атомов в твердых растворах следует, что даже в бесконечно разбавленном твердом растворе не происходит полной дезагрегации парамагнитных атомов. Вероятно присутствие димеров типа Mn(III)-O-Mn(III), Mn(IV)-O-Mn(IV), Mn(III)-O-Mn(IV) с общим антиферромагнитным типом обмена и мономеры – атомы марганца (III) и (IV), доля которых с ростом концентрации марганца в твердых растворах уменьшается. Можно полагать, что дисбаланс электрического заряда, неизбежно возникающий в твердых растворах гетеровалентного замещения, частично нивелируется кластерообразованием с вовлечением кислородных вакансий, а также окислением части атомов марганца до Mn (IV), что не противоречит данным ЭПР и исследований магнитной восприимчивости. Обменные взаимодействия имеют преимущественно антиферромагнитный характер.

**Электрофизические свойства твердых растворов**

Установлено, что диэлектрическая проницаемость и удельная электропроводность образцов марганецсодержащих твердых растворов зависят от концентрации марганца в растворах и частоты поля (рис. 4, 5). С увеличением содержания атомов

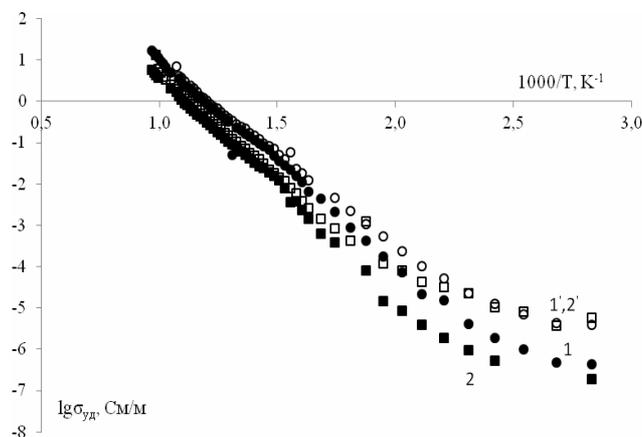


Рис. 4. Температурные зависимости десятичного логарифма удельной электропроводности твердых растворов  $Bi_3Nb_{0.94}Mn_{0.06}O_{7.0}$  (1, 1') и  $Bi_3Nb_{0.94}Mn_{0.03}O_{7.0}$  (2, 2') при 1 кГц (1, 2) и 10 кГц (1', 2').

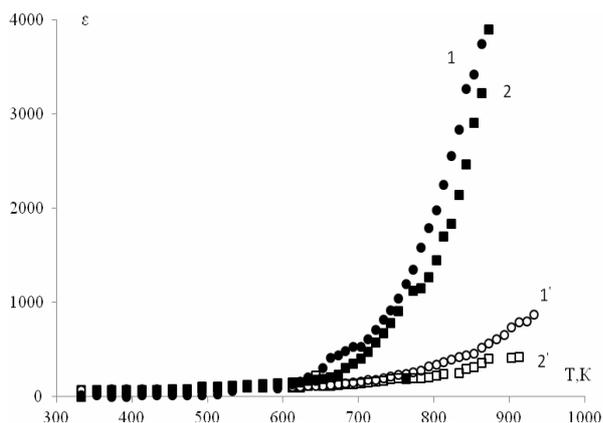


Рис. 5. Температурные зависимости диэлектрической проницаемости твердых растворов  $\text{Bi}_3\text{Nb}_{0.94}\text{Mn}_{0.06}\text{O}_{7-\theta}$  (1,1') и  $\text{Bi}_3\text{Nb}_{0.94}\text{Mn}_{0.03}\text{O}_{7-\theta}$  (2,2') при 1 кГц (1,2) и 10 кГц (1',2').

марганца в образцах твердых растворов значения диэлектрической проницаемости и удельной электропроводности возрастают, что обусловлено, по-видимому, увеличением числа кислородных вакансий, возникающих при гетеровалентном замещении.

Частотная зависимость параметров образцов проявляется в низкотемпературной области ( $T < 600$  K). С ростом частоты повышаются значения удельной электропроводности и уменьшаются – диэлектрической проницаемости. По типу проводимости образцы твердых растворов относятся к смешанным электронно-ионным полупроводникам [9–11].

При сопоставлении электрофизических параметров образцов марганецсодержащих твердых растворов (например,  $x=0.06$ ) с параметрами ниобата висмута  $\text{Bi}_3\text{NbO}_7$  и твердых растворов с дефицитом атомов ниобия в катионной подрешетке состава  $\text{Bi}_3\text{Nb}_{1-x}\text{O}_{7-\theta}$  следует (рис. 6,7), что по характеристикам электрофизических параметров исследуемые образцы занимают промежуточное положение по сравнению с твердыми растворами  $\text{Bi}_3\text{Nb}_{1-x}\text{O}_{7-\theta}$  ( $x = 0.1$  и  $x = 0.07$ ) и уступают составу с максимально возможной дефектностью по ниобию –  $\text{Bi}_3\text{Nb}_{0.5}\text{O}_{7-\theta}$ . Можно констатировать, что увеличение электропроводности при замещении атомов ниобия атомами марганца на 6 мол.% эквивалентно эффекту роста электропроводности при дефиците третьей части атомов ниобия в ниобате висмута.

Кроме того, в высокотемпературной области ( $T > 600$  K) образцы ниобата висмута и его твердых растворов характеризуются равными значениями

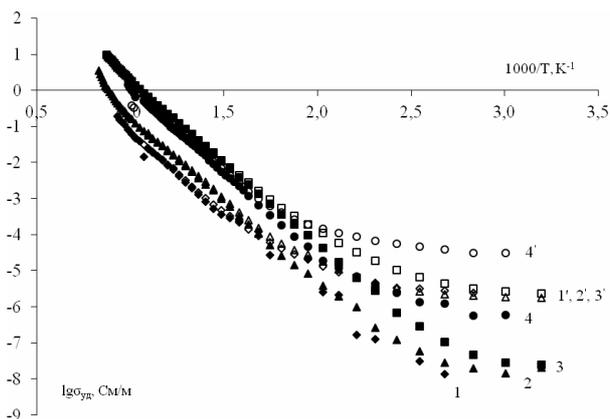


Рис. 6. Температурные зависимости десятичного логарифма удельной электропроводности ниобата висмута  $\text{Bi}_3\text{NbO}_7$  (1) и твердых растворов  $\text{Bi}_3\text{Nb}_{0.9}\text{O}_{7-\theta}$  (2),  $\text{Bi}_3\text{Nb}_{0.5}\text{O}_{7-\theta}$  (3),  $\text{Bi}_3\text{Nb}_{0.94}\text{Mn}_{0.06}\text{O}_{7-\theta}$  (4) при 1 кГц (1-4) и 100 кГц (1'-4').

энергии активации (0.98 эВ), что свидетельствует о подобии механизма электропроводности “родственных” соединений в рассматриваемом температурном интервале.

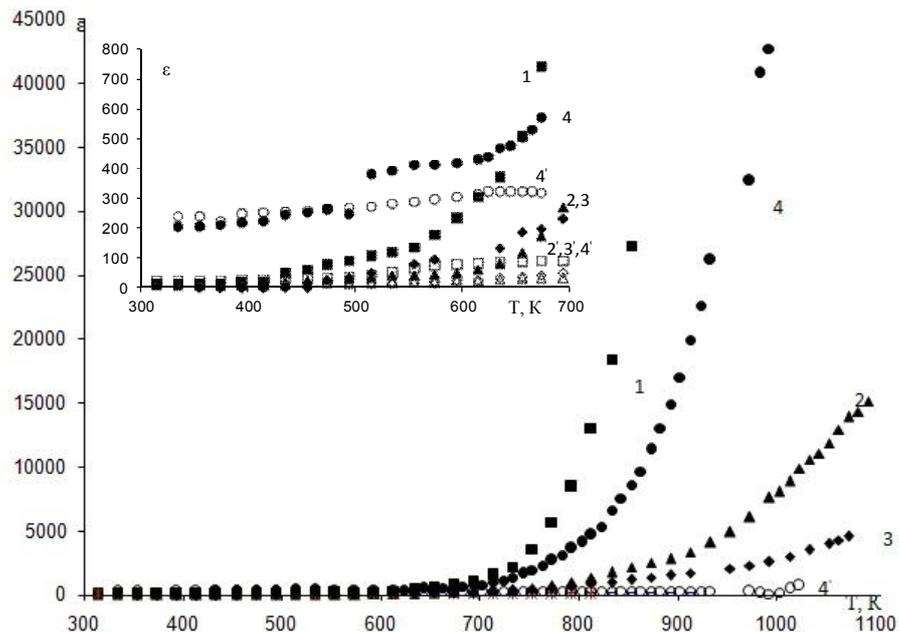


Рис. 7. Температурные зависимости диэлектрической проницаемости ниобата висмута  $\text{Bi}_3\text{NbO}_7$  (1) и твердых растворов  $\text{Bi}_3\text{Nb}_{0.9}\text{O}_{7-\theta}$  (2),  $\text{Bi}_3\text{Nb}_{0.5}\text{O}_{7-\theta}$  (3),  $\text{Bi}_3\text{Nb}_{0.94}\text{Mn}_{0.06}\text{O}_{7-\theta}$  (4) при 1 кГц (1-4) и 100 кГц (1'-4').

Таким образом, при гетеровалентном замещении атомов ниобия в ниобате висмута атомами марганца значения удельной электропроводности и диэлектрической проницаемости, по сравнению с ниобатом висмута, увеличиваются в пределах 10 мол.%, в среднем, на один–два порядка. При этом величина энергии активации не изменяется.

### Заключение

Марганецсодержащие твердые растворы  $\text{Bi}_3\text{Nb}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_{7-\Delta}$  образуются при  $x \leq 0.1$ . Методами ЭПР и измерений магнитной восприимчивости исследовано состояние атомов марганца в твердых растворах ниобата висмута гетеровалентного замещения. Атомы марганца в твердых растворах присутствуют в виде агрегатов из атомов Mn(III) и Mn(IV) с общим антиферромагнитным типом обмена и мономеров. По данным магнетохимического исследования, электронное состояние и характер обменных взаимодействий между парамагнитными атомами в твердых растворах низко- и высокотемпературной кубических модификаций подобны. Косвенно это свидетельствует об идентичности строения локального полиэдрического окружения парамагнитных атомов и распределения атомов парамагнетика в кристаллической решетке ниобата висмута кубических модификаций. Гетеровалентное замещение атомов ниобия атомами марганца приводит к увеличению значений электрофизических параметров образцов в среднем на один-два порядка по сравнению с ниобатом висмута кубической модификации.

Авторы выражают благодарность сотруднику Института геологии Коми НЦ УрО РАН В.Н. Филиппову и В.П. Лютюеву за исследования образцов методами электронной сканирующей микроскопии и ЭПР, сотрудникам лаборатории "Экоаналит" Института биологии Коми НЦ УрО РАН за проведение химического анализа образцов методом АЭС.

### Литература

1. Исупов В.А. Физические проблемы конденсаторных материалов со структурой типа пирохлора // ЖТФ. 1997. Т.67. №10. С.47–50.
2. Яновский В.К., Воронкова В.И. Структура, полиморфизм и сегнетоэлектрические свойства смешанных слоистых висмутсодержащих соединений // Изв. АН. СССР. Неорг. мат. 1986. Т.22. №12. С.2029–2033.
3. Ling C.D., Wither R.L. // A review of Bismuth-Rich Binary Oxides in the System  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-Ta}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-Mo}_2\text{O}_5$ , and  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-WO}_3$ . J. Sol. St.Chem. 1998. Vol.114. P. 42–61.
4. Castro A., Palem D. // Study of Fluorite Phases in the System  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5\text{-Ta}_2\text{O}_5$ . Synthesis by Mechanochemical Activation Assisted Method. Mater.Chem. 2002. Vol.253. P. 2774–2780.
5. Roth R.S., Waring J.L. // Phase Equilibrium Relations in the Binary System Bismuth Sesquioxide-Niobium Pentoxide. J. Res. of the National Bureau of Standards-A. Phys. and Chem. 1962. Vol.66 A. No.6. P.451–463.
6. Жук Н.А., Кожина И.И., Пуйр И.В. К вопросу о фазовых равновесиях в системе  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5\text{-CuO}$  // Вестник СПбГУ. 2005. Сер. 4. Вып.3.С.42–48.
7. Zou Z., Ye J., Sayama K., Arakawa H. Photocatalytic and photophysical properties of a novel series of solid photocatalysts,  $\text{BiTa}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_4$  // Chemical Rhys. Lett. 2001. Vol.343. P.303–308.
8. Lee C.Y., Macquart R., Zhou Q., Kennedy B. J. Structural and spectroscopic studies of  $\text{BiTa}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_4$ . // J.Sol.St.Chem. 2003. Vol.174. P.310–318.
9. Jong-Hyun Park, a Soon-Gil Yoon, a Hyung-Dong Kang, Jeong-Won Lee. // Structural and Dielectric Properties of Cubic Fluorite  $\text{Bi}_3\text{NbO}_7$ . Thin Films As-Deposited at 298 K by PLD for Embedded Capacitor Applications. J. Electrochem. Soc. 2006. Vol.153. P.236–241.
10. Di Zhou, Hong Wang, Xi Yao // Sintering Behavior and Dielectric Properties of  $\text{Bi}_3\text{NbO}_7$  Ceramics. J. Am. Ceram. Soc. 2007. Vol. 90. P. 327–329.
11. Matjaz Valant, Danilo Suvorov. // Dielectric Characteristics of Bismuth Oxide Solid Solutions with a Fluorite-Like Crystal Structure. J. Am. Ceram. Soc. 2004. Vol.87. P. 1056–1061.
12. Архипович И.А., Брынзе Н.В., Жук Н.А. Синтез и электрофизические характеристики твердых растворов  $\text{Bi}_3\text{Nb}_{1-x}\text{M}_x\text{O}_{7.6}$  (M - Ti, Mn, Ni) // Тезисы докладов V Всероссийской конференции "Химия твердого тела и функциональные материалы". Екатеринбург, 2008. С. 123.
13. Akselrud L. G., Gryn Y. N., Zavalij P. Yu. Thes. Rep. 12<sup>th</sup> Europ. Crystallogr. Meet. 1985. P. 55.
14. Чежина Н.В., Пуйр И.В., Жук Н.А. Состояние атомов никеля в твердых растворах низко- и высокотемпературного ортониобата висмута // ЖОХ. 2006. Т. 76. Вып. 11. С. 1786–1789.
15. Чежина Н.В., Пуйр И.В., Жук Н.А. Магнитные и электрические свойства медьсодержащих твердых растворов ортониобата висмута // ЖОХ. 2007. Т. 77. Вып. 2. С. 240.

Статья поступила в редакцию 05.11.2013

УДК 546.71:579.8:582.28:66.081:676.1

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МАРГАНЦА ИЗ ВОДНЫХ СРЕД

А.А. ШУБАКОВ, Е.А. МИХАЙЛОВА, Ю.С. ОВОДОВ

*Институт физиологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар  
shubakov@physiol.komisc.ru*

Исследована способность бактерий *Bacillus subtilis* (штамм Сыктывкарского госуниверситета), дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* ВКМ Y-2549 и мицелиальных грибов *Penicillium ochrochloron* ВКМ F-1702, *Aspergillus niger* ВКМ F-1119 сорбировать ионы марганца  $Mn^{2+}$  из водной среды. Показано, что все испытанные культуры способны эффективно, на 97,4–98,3%, сорбировать ионы  $Mn^{2+}$  из жидкой питательной среды, содержащей в качестве источника углерода и энергии глюкозу. Изучена способность дрожжей *S. cerevisiae* Y-2549 сорбировать ионы  $Mn^{2+}$  из фильтратов, полученных после отбеливания целлюлозы перманганатом калия в кислой среде. Показано, что дрожжи сорбируют из фильтратов ионы  $Mn^{2+}$  на 80,4–84,2%.

**Ключевые слова:** биосорбция марганца, микроорганизмы, отбелка целлюлозы

A.A. SHUBAKOV, E.A. MIKHAILOVA, YU.S. OVODOV. USE OF MICROORGANISMS FOR EXTRACTION OF MANGANESE FROM AQUEOUS MEDIA

The ability of bacteria *Bacillus subtilis* (strain of Syktyvkar State University), yeast *Saccharomyces cerevisiae* ARCM Y-2549 and filamentous fungi *Penicillium ochrochloron* ARCM F-1702, *Aspergillus niger* ARCM F-1119 to absorb manganese  $Mn^{2+}$  ions from aqueous medium was investigated. All the tested cultures were shown to absorb  $Mn^{2+}$  ions effectively up to 97,4–98,3% from liquid nutritive medium, containing glucose as carbon and energy source. The ability of yeast *S. cerevisiae* Y-2549 to absorb  $Mn^{2+}$  from filtrates obtained after the pulp bleaching with potassium permanganate in acid medium was studied. Yeast was shown to absorb  $Mn^{2+}$  from filtrates by 80,4–84,2%.

**Key words:** biosorption of manganese, microorganisms, bleaching of pulp

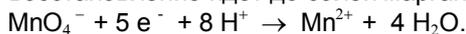
Одной из важнейших проблем современности и обозримого будущего является проблема загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами, такими как марганец, железо, цинк, хром, никель, мышьяк и др. Соединения этих элементов в силу высокой токсичности, подвижности и способности к биоаккумуляции представляют опасность не только для человека, но и всего живого на планете [1]. Марганец в питьевой воде является весьма токсичным для живых организмов и окружающей среды, он может накапливаться в желудочно-кишечном тракте, снижает уровень гемоглобина, нейротоксичен. Этот поллютант попадает в окружающую среду в результате деятельности таких отраслей промышленности, как производство удобрений, нефтехимия, гальванотехника, выделывание кож, металлообработка, горная добыча [2].

Для очистки природных и производственных сточных вод от катионов различных металлов широко применяется сорбционный метод с использованием как природных, так и синтетических сорбентов [3]. В настоящее время весьма перспективным направлением очистки природных и сточных вод является привлечение микроорганизмов, способных к биосорбции и биоаккумуляции тяжелых ме-

таллов [4]. Накопление металлов клетками микроорганизмов носит двухфазный характер: а) начальная фаза не зависит от энергетического состояния клетки и обусловлена сорбцией металлов компонентами клеточной стенки, среди которых хитин и хитозан особенно активны как сорбенты; б) последующая, более медленная фаза – энергозависимое внутриклеточное накопление, происходящее с участием мембранных переносчиков ионов [5].

Одна из актуальных проблем целлюлозно-бумажной промышленности – создание экологически чистых способов отбеливания лигноцеллюлозных материалов. Общим направлением развития технологии отбеливания в настоящее время является переход к производству целлюлозы, полностью свободной от хлора (TCF-технология). В качестве бесхлорных отбеливающих реагентов наиболее часто используют кислород, озон и пероксид водорода [6]. В Сыктывкарском лесном институте и в Институте физиологии Коми НЦ УрО РАН были исследованы схемы отбелики сульфатной целлюлозы с использованием в качестве отбеливающих реагентов перманганата калия в кислой среде и пероксида водорода в щелочной среде [7, 8]. Известно [9], что перманганаты принадлежат к силь-

ным окислителям, и продукты их восстановления в зависимости от реакции среды различны. В кислой среде восстановление идет до солей марганца (II):



После промывки целлюлозы в стоки попадают ионы  $\text{Mn}^{2+}$ , которые могут накапливаться в окружающей среде. Однако многие бактерии, мицелиальные грибы, дрожжи и водоросли способны к эффективной биосорбции марганца из водных сред [10, 11].

Цель работы заключается в исследовании способности различных микроорганизмов сорбировать ионы  $\text{Mn}^{2+}$  из водных сред.

### Материалы и методы

Для сорбции марганца из водных сред применяли бактерии *Bacillus subtilis*, дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* ВКМ Y-2549 и мицелиальные грибы *Penicillium ochrochloron* ВКМ F-1702, *Aspergillus niger* ВКМ F-1119. Посевным материалом были двухсуточные культуры, выращенные в среде следующего состава, г/л: глюкоза – 20,0; дрожжевой экстракт – 2,0;  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  – 0,5;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,5;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 1,0. Посев производили в расчете 5 мл посевного материала на 50 мл среды. Культуры выращивали в колбах при перемешивании (220 об/мин) с объемом питательной среды 50 мл при 24 °С. В опытах по исследованию сорбции марганца микроорганизмами использовали среду аналогичного состава, в которой модельным источником ионов  $\text{Mn}^{2+}$  служил  $\text{MnSO}_4$  (1%), а условия культивирования были те же самые. Для роста микроорганизмов исходное значение pH среды устанавливали на уровне 5,0 без дальнейшего регулирования.

Культивирование микроорганизмов проводили также на фильтрах, полученных после разных ступеней отбелики лиственной сульфатной целлюлозы (ОАО «Монди Сыктывкарский ЛПК») по схеме: ПМ – П – ПМ – П – ПМ (ПМ – перманганат калия в кислой среде, П – пероксид водорода в щелочной среде). Отбеливание проводилось с различными суммарными расходами  $\text{KMnO}_4$  (0,31; 0,61; 1,01%) при мольных соотношениях  $\text{KMnO}_4 : \text{H}_2\text{SO}_4$  1 : 100 и 1 : 50 [8].

В части экспериментов фильтраты были дополнены питательными веществами следующего состава, г/л: глюкоза – 10,0; дрожжевой экстракт – 2,0;  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  – 0,5;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,5;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 1,0. В фильтрах pH во всех случаях доводили до 5,0 1N раствором NaOH. Содержание редуцирующих веществ (РВ) определяли по методу Нельсона-Сомоджи [12, 13].

Количественное определение ионов  $\text{Mn}^{2+}$  в виде перманганата проводили по методу, основанному на количественном окислении ионов марганца (II) до перманганат-ионов в кислой среде действием персульфата аммония в присутствии катализатора – ионов серебра [14].

Массовую долю катионов марганца, сорбированных биомассой исследуемых микроорганизмов ( $\omega_i$ , мас. %), рассчитывали по формуле:

$$\omega_i = 100 \cdot m_i / m_j,$$

где  $m_i$  – масса сорбированного марганца, г;  $m_j$  – масса марганца, введенного в раствор, г [15].

Цифровые данные в статье представляют собой средние величины, полученные в результате трех независимо проведенных друг от друга экспериментов.

### Результаты исследований

С целью изучения способности микроорганизмов сорбировать ионы  $\text{Mn}^{2+}$  из водной среды были испытаны несколько штаммов бактерий (*Bacillus subtilis*), дрожжей (*Saccharomyces cerevisiae* Y-2549) и мицелиальных грибов (*Penicillium ochrochloron* F-1702, *Aspergillus niger* F-1119). Культуры выращивали в жидкой питательной среде, содержащей в качестве источника углерода глюкозу (2%), а модельным источником ионов  $\text{Mn}^{2+}$  служил  $\text{MnSO}_4$  (1%). Культивирование в течение 10 суток показало, что вне зависимости от таксономической принадлежности все исследуемые микроорганизмы способны эффективно сорбировать ионы  $\text{Mn}^{2+}$  из среды (табл. 1).

Таблица 1

Сорбция ионов  $\text{Mn}^{2+}$  из жидкой питательной среды, содержащей 1%-ный  $\text{MnSO}_4$ , культурами микроорганизмов

Культура	$\omega_i$ , мас. %				
	1 сут.	2 сут.	3 сут.	7 сут.	10 сут.
<i>Bacillus subtilis</i>	94,3	95,2	95,6	96,5	98,1
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	95,5	95,7	95,8	96,0	98,3
<i>Penicillium ochrochloron</i>	96,6	96,8	97,0	97,6	97,5
<i>Aspergillus niger</i>	94,1	94,8	95,5	96,0	97,4

Исходная концентрация ионов  $\text{Mn}^{2+}$  составляет 3,64 г/л. Уже через одни сутки роста всеми культурами из среды было сорбировано более 90% марганца: от 94,1–94,3% – грибом *A. niger* F-1119 и бактериями *B. subtilis*, до 95,5–96,6% – дрожжами *S. cerevisiae* Y-2549 и грибом *P. ochrochloron* F-1702. В последующие сутки культивирования (2-10 суток) количество сорбированного марганца увеличилось незначительно – на несколько процентов. К концу эксперимента (10 суток) ионы  $\text{Mn}^{2+}$  из среды были сорбированы на 97,4–98,3% (*A. niger* F-1119 – *S. cerevisiae* Y-2549). Исходя из данных табл. 1, можно отметить, что все исследуемые культуры микроорганизмов способны эффективно, более чем на 90%, сорбировать ионы  $\text{Mn}^{2+}$  из жидкой питательной среды, содержащей глюкозу в качестве источника углерода и энергии.

Для дальнейших экспериментов были выбраны дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* Y-2549, так как они применяются для решения многих экологических задач, среди которых очистка сточных вод, биоремедиация загрязненных почв и т.д. [4], и эффективно сорбируют ионы  $\text{Mn}^{2+}$  из жидкой питательной среды – на 98,3%. Была изучена способность дрожжей *S. cerevisiae* сорбировать ионы  $\text{Mn}^{2+}$

из фильтратов, полученных после отбеливания целлюлозы  $\text{KMnO}_4$  в кислой среде. В фильтратах определяли содержание редуцирующих веществ (РВ), рН (1,1–2,9) и концентрацию ионов  $\text{Mn}^{2+}$  (0,0019 г/л).

Рост дрожжей обычно протекает в слабокислотной среде. Фильтраты после перманганатных ступеней отбеливания целлюлозы имеют достаточно низкие значения рН ввиду глубокой деструкции остаточного лигнина до органических кислот, в связи с чем рН фильтратов доводили до 5,0 раствором щелочи. Были проведены две серии экспериментов. В первой серии дрожжи культивировали на фильтратах без добавления питательных веществ. Содержание РВ в фильтратах при этом – низкое. Поэтому во второй серии экспериментов дрожжи культивировали на фильтратах, дополненных питательными веществами, г/л: глюкоза – 10,0; дрожжевой экстракт – 2,0;  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  – 0,5;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,5;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 1,0. Дрожжи *S. cerevisiae* в течение 10 суток культивировали на двух вариантах фильтратов и ежедневно в течение первых пяти суток и через 10 суток в фильтратах определяли содержание ионов  $\text{Mn}^{2+}$  (табл. 2).

Таблица 2

**Сорбция ионов  $\text{Mn}^{2+}$  дрожжами *Saccharomyces cerevisiae* Y-2549 из фильтратов, полученных после перманганатных ступеней отбеливания лиственной сульфатной целлюлозы**

Среда	$\omega$ , мас. %					
	1 сут.	2 сут.	3 сут.	4 сут.	5 сут.	10 сут.
Фильтрат	0,0	10,5	26,3	42,1	52,6	80,4
Фильтрат+ 1% глюкозы	52,6	53,8	55,7	57,9	68,4	84,2

Наименее активно сорбция марганца происходит из фильтратов, не содержащих дополнительных питательных веществ, и наиболее активно марганец сорбируется из фильтратов, содержащих в качестве источника углерода и энергии глюкозу. Через 10 суток роста дрожжи *S. cerevisiae* Y-2549 в обоих вариантах фильтратов сорбируют марганец довольно эффективно – на 80,4–84,2%.

### Закключение

На основании проведенных исследований по микробиологической сорбции марганца из водных сред можно заключить, что все испытанные культуры бактерий, дрожжей и мицелиальных грибов способны эффективно, на 97,4–98,3%, сорбировать ионы  $\text{Mn}^{2+}$  из жидкой питательной среды, содержащей в качестве источника углерода и энергии глюкозу. Дрожжи *S. cerevisiae* способны сорбировать ионы  $\text{Mn}^{2+}$  из фильтратов, полученных после отбеливания целлюлозы перманганатом калия в кислой среде, также достаточно эффективно – на 80,4–84,2%. По-видимому, дрожжи *S. cerevisiae* являются перспективной культурой для использования ее при очистке водных сред от ионов  $\text{Mn}^{2+}$ .

### Литература

1. Иванов А.И., Костычев А.А., Скобанев А.В. Аккумуляция тяжелых металлов и мышьяка базидиомами макромицетов различных эколого-трофических и таксономических групп // Поволжский экологический журнал. 2008. № 3. С. 190–199.
2. Hasan H.A., Abdullah S.R.S., Kofli N.T., Kamaruddin S.K. Biosorption of manganese in drinking water by isolated bacteria // J. Appl. Sci. 2010. Vol. 10. №21. P. 2653–2557.
3. Калюкова Е.Н., Письменко В.Т., Иванская Н.Н. Адсорбция катионов марганца и железа природными сорбентами // Сорбционные и хроматографические процессы. 2010. Т.10. Вып. 2. С. 194–200.
4. Гаранин Р.А., Лыков И.Н. Использование дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* в качестве биосорбента и биоаккумулятора катионов тяжелых металлов // АгроXXI. 2008. № 4–6. С. 73–74.
5. Букреева В.Ю., Грабович М.Ю., Епринцев А.Т., Дубинина Г.А. Сорбция коллоидных соединений оксидов железа и марганца с помощью железобактерий на песчаных загрузках очистных сооружений водоподъемных станций // Сорбционные и хроматографические процессы. 2009. Т. 9. Вып. 4. С. 506–514.
6. Демин В.А. Теоретические основы отбелики целлюлозы. СПб.: СПбГЛТУ, 2013. 100 с.
7. Федорова Э.И., Смолева Л.Л., Шубаков А.А., Ячменева С.А. и др. Способ отбелики целлюлозы // Патент на изобретение РФ № 2142529 от 10 декабря 1999 г. (приоритет от 17.05.1999 г.). БИ № 34.
8. Шубаков А.А., Елькина Е.А., Федорова Э.И. Отбеливание лиственной сульфатной целлюлозы перманганатом калия // Химия раст. сырья. 2002. № 2. С. 29–31.
9. Руководство к лабораторным работам по общей и неорганической химии / Под. ред. Ф.Я.Кульба. Л.: Химия, 1976. 280 с.
10. Atkinson B.W., Bux F., Kanan H.C. Consideration for application of biosorption technology to remediate metal-contaminated industrial effluents // Water Res. 1998. Vol. 24. P. 129–135.
11. Mohamed Z.A. Removal of cadmium and manganese by a non-toxic strain of the freshwater cyanobacterium *Gloeotheca magna* // Water Res. 2001. Vol. 35. № 18. P. 4405–4409.
12. Nelson N. A photometric adaptation of the Somogyi method for the determination of glucose // J. Biol. Chem. 1944. Vol. 153. P.375–380.
13. Somogyi M. A new reagent for the determination of sugars // J. Biol. Chem. 1945. Vol. 160. P.61–68.
14. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. М.: Химия, 1984. 448 с.
15. Маркова М.Е., Урьяш В.Ф., Степанова Е.А. и др. Сорбция тяжелых металлов высшими грибами и хитином разного происхождения в опытах *in vitro* // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2008. № 6. С. 118–124.

Статья поступила в редакцию 22.02.2013

УДК:556.555.7:543.3(1-924.81)

## **РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ ОЗЕР БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ (БОЛЬШОЙ ХАРБЕЙ И ГОЛОВКА)**

Л.Г. ХОХЛОВА

*Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар  
hohlava@ib.komisc.ru*

Представлены результаты изучения химического состава воды крупных озер Большеземельской тундры – Большой Харбей и Головка. Показано, что за десятки лет, прошедших со времени первого гидрохимического обследования озер, существенных изменений в соотношении главных ионов, минерализации, насыщении воды органическими и биогенными веществами не произошло. Определяющая роль в формировании химического состава воды озер принадлежит природным факторам.

**Ключевые слова:** химический состав воды, органические, биогенные вещества, микроэлементы

### **L.G. KHOKHLOVA. THE RETROSPECTIVE ANALYSIS OF CHEMICAL COMPOSITION OF WATER OF THE BOLSHHEZEMELSKAYA TUNDRA LAKES (BOLSHOI KHARBEI AND GOLOVKA)**

Results of the research on the chemical composition of water of large Bolshezemelskaya tundra lakes – Bolshoi Kharbei and Golovka are presented. It is shown that for decades which had passed since the first hydrochemical inspection of lakes, there were no essential changes in ratio of the main ions, mineralization, in saturation of water by organic and biogenic substances. Natural factors play the key role in the formation of chemical composition of the lakes water.

**Key words:** chemical composition of water, organic, biogenic substances, microelements

### **Введение**

Озера Харбейской системы расположены в междуречье рек Кортаиха и Большая Роговая (бассейн р. Уса), пересекающих восточную часть Большеземельской тундры. Впервые гидрохимическое обследование Харбейских озер проводилось в 1963–1965 гг. [1]. Их комплексное изучение было продолжено в 1968–1972 гг. в рамках Международной биологической программы (МБП). В гидробиологических и ихтиологических исследованиях впервые для Крайнего Севера использовался продукционный метод, позволивший дать оценку продуктивности водоемов и особенностей экологической системы оз. Бол. Харбей [2]. Спустя 40–50 лет исследования озер Бол. Харбей и Головка были направлены на выявление возможной трансформации химического состава поверхностных вод и изменений в сообществах гидробионтов в условиях антропогенного воздействия на природную среду, а также обусловленность их развития климатическими причинами. В течение короткого лета погода в

тундре отличается большой изменчивостью, что сказывается на динамике наиболее подвижных физико-химических показателей поверхностных вод и жизнедеятельности гидробионтов в водоемах данной территории [3, 4]. В 2000-е гг. получены первые сведения о содержании микроэлементов в Харбейских озерах. Определению концентрации микроэлементов в водных экосистемах долгое время уделялось очень мало внимания [5]. Несмотря на то, что их изучение, значение и роль в развитии живых организмов, присутствие и миграция в почвах ведутся уже очень давно [6]. Актуальность исследований на предмет содержания микроэлементов (тяжелых металлов) в поверхностных водах стала возрастать в период бурного развития промышленности, особенно предприятий в горнодобывающей и перерабатывающей отраслях [7].

Согласно исследованиям Л.П.Голдиной [3], Харбейские озера имеют ледниковое происхождение и представляют собой систему трех последовательно соединенных водоемов Головка, Бол. Харбей и Мал. Харбей, окруженных множеством мел-

ких водоемов. Все озера вытянутой формы, ориентированные с северо-востока на юго-запад. Их береговая линия сильно изрезана и расчленена заливами и губами. Берега озер этой группы разнообразны. Среди них выделяются обрывистые торфянистые (западная часть оз. Головка), валунно-галечные (Головка и Бол. Харбей) и низкие берега (южная и восточная части озер Головка и Бол. Харбей) с хорошо развитой водной растительностью. Батиметрическая карта оз. Головка указывает на простое строение дна с очень плавным понижением к центру (до 10 м) [1]. Одно из крупнейших по своим размерам оз. Бол. Харбей имеет более сложную конфигурацию дна и несколько подводных каменистых отмелей, большую среднюю (4.6 м) и максимальную (до 18 м) глубины. Площади водного зеркала озер Бол. Харбей и Головка соответственно составляют 21.3 и 3.1 км<sup>2</sup> [3, 8].

Район исследования отличается суровыми климатическими условиями, что ведет к глубокому и длительному промерзанию почвы, способствует развитию криогенных процессов, которые наряду с другими экзогенными факторами формируют характерные черты мезо- и микрорельефа тундры [2]. Широко распространенные слабообразованные поверхностно-глебовые и болотно-тундровые почвы этого района характеризуются сильнокислой реакцией по всему профилю. Минеральная почвенная толща обеднена основаниями по сравнению с породой, преимущественно суглинком. Запасы гумуса, в составе которого преобладает группа фульвокислот, сосредоточены в верхнем горизонте почвы [9]. Формирование химического состава озер обусловлено, прежде всего, происхождением котловины озера, поверхностным стоком, составляющим до 70% приходной части водного баланса, спецификой гидрологического и температурного режима, а также жизнедеятельностью гидробионтов и их деструкции [10].

Богатые рыбными ресурсами озера неоднократно привлекали внимание географов, гидробиологов, гидрохимиков, ихтиологов. Исторические этапы научных исследований озер Большеземельской тундры обобщены в работах Т.А.Власовой, Л.П. Голдиной, Г.П. Сидорова, М.В.Гецен, Э.И.Поповой, В.К.Барановской и др. [1–4, 8–14].

## Материал и методика

Характеристика современного состояния объединенных протокой озерных экосистем Бол. Харбей [14] и Головка представлена на основании данных, полученных в конце июля – начале августа 1998, 2009, 2010 и 2012 гг. Выбор контрольных станций и время отбора проб обусловлены проводимыми ранее (1960-е гг.) исследованиями (рис. 1). Всего было отобрано и проанализировано 146 гидрохимических проб с 54 станций. Отбор проб воды осуществлялся с глубины 0.5 м и из придонных слоев в полиэтиленовые и стеклянные флаконы. В полевых условиях измеряли температуру воды, содержание растворенного в воде кислорода, электропроводность и pH портативным анализатором Multi 340i/SET (Германия). Определение макро-

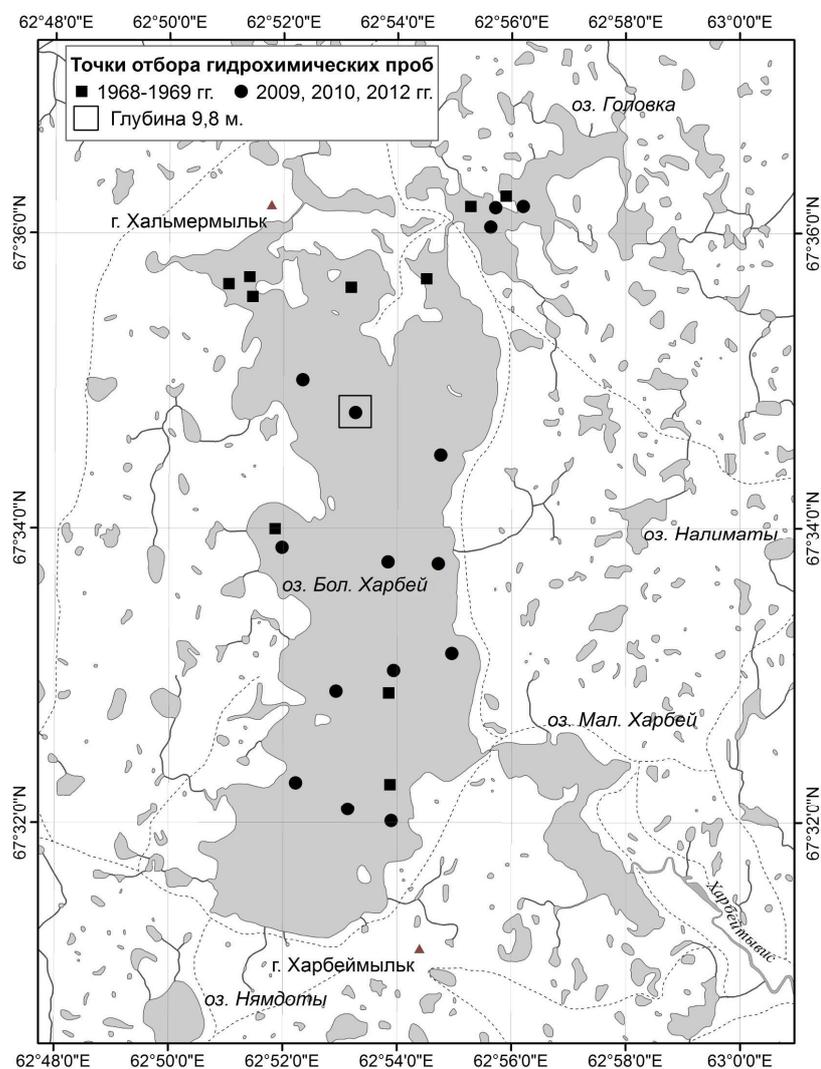


Рис. 1. Карта-схема оз. Бол. Харбей.

микроэлементов, биогенных и органических веществ проводилось в стационарных условиях аккредитованной экоаналитической лаборатории «Экоаналит» Института биологии Коми НЦ УрО РАН с использованием аттестованных методик количественного химического анализа природной воды, внесенных в Государственный реестр [15–25].

#### Химический состав воды в озерах

**Растворенный кислород и рН воды.** Трехлетние (2009, 2010, 2012 гг.) гидрохимические наблюдения показали, что в озерах Бол. Харбей и Головка сохраняется чистая, без запаха вода, прозрачность варьирует в пределах 0.5–2.7 м при глубине от 0.5 до 9.0 м. Данные 1960-х гг. (до 140%<sub>нас.</sub>) и последних гидрохимических съемок (до 106%<sub>нас.</sub>) свидетельствуют о достаточно благоприятном для жизни и развития водных организмов насыщении воды растворенным кислородом (рис. 2). Можно предположить, что некоторая разница в показателях содержания кислорода в сторону более низких

низмов, брожение, гниение), происходят в водоеме непрерывно.

Первые исследования (1963, 1968, 1969 гг.) тундровых озер Бол. Харбей и Головка проводились с июня по август. За этот короткий период была отмечена сезонная динамика наиболее «подвижных» физико-химических показателей, обусловленная быстрым ростом температуры и прогреванием водной толщи [2, 3]. В частности, ранние исследования показали изменение рН воды в Харбейских озерах, наиболее заметное в оз. Головка. По данным, представленным в работе Т.А.Власовой [1], сразу после освобождения озера ото льда, реакция воды в различных пунктах изменялась в пределах 6.4–6.9, содержание кислорода было ниже 100%. Летом (в июле и первой половине августа) величина рН повышалась до 7.6. Благодаря развитию в озере высшей водной растительности, усилению фотосинтеза и развитию фитопланктона, наблюдалось «цветение» воды. В меньшей

степени выраженная, возможно, ввиду отсутствия «цветения» воды, аналогичная динамика наблюдалась и на оз. Бол. Харбей: в июле реакция воды была близка к нейтральной (6.9–7.0), а в августе она переходила в слабощелочную (до 7.4–7.5) [2].

В 2000-е гг. изучение велось в один и тот же временной период. Однако годы отбора проб воды характеризовались разными погодными условиями.

В конце июля – начале августа 2009 г. стояла жаркая сухая погода, что способствовало прогреванию водной массы (до 14.1–17.7°C). Реакция воды в оз. Бол. Харбей была преимущественно слабокислой (рН=6.3–6.9). В этот же календарный период следующего года наблюдалась низкая температура воздуха. Озеро прогрелось до 9.6–11.7°C, реакция воды была близка к нейтральной (рН=7.1–7.4). В 2012 г. при температуре 11.7–16.1°C, рН воды варьировал в пределах 7.2–7.6 (табл. 1). Более низкие значения температуры воды характеризуют глубоководные участки озера, повышение температуры зафиксировано в прибрежье. В оз. Головка (табл. 2), в котором наблюдалось «цветение», температура воды в исследуемые периоды была немного ниже, а реакция среды – более щелочной (рН=7.3–8.5), чем в оз. Бол. Харбей.

**Ионный состав и минерализация.** Современные данные показывают, что за прошедшие со времени первого гидрохимического обследования озер Бол. Харбей и Головка существенных изменений

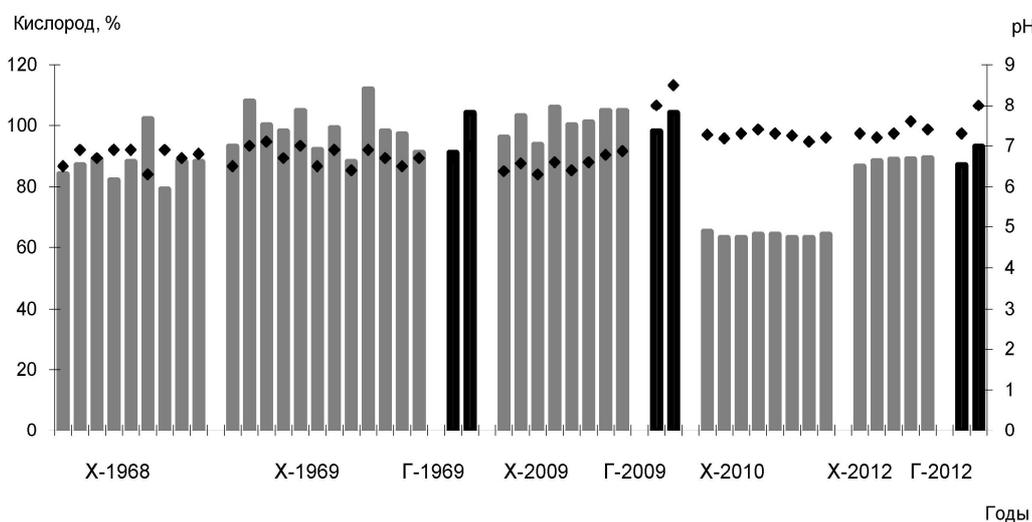


Рис. 2. Динамика растворенного рН в воде Харбейских озер. X – оз. Харбей; Г – оз. Головка.

величин, зафиксированных в современный период, связана с использованием разных методов его определения. В 1960-е гг. концентрация растворенного в поверхностных водах кислорода определялась по методу Винклера [26]. Не исключено, что пониженная концентрация кислорода, зарегистрированная в 2010 г., также объясняется техническими причинами, поскольку дефицит кислорода в озере, объем которого составляет более 130 млн.м<sup>3</sup>, да еще в условиях ветрового перемешивания и хорошей аэрации водных масс, мало вероятен [3]. Однако следует помнить и то, что обогащение поверхностных вод растворенным кислородом осуществляется не только за счет его поступления из атмосферы. Значительная доля выделяется водной растительностью в процессе фотосинтеза [5], замедленного в условиях зафиксированной в этот год низкой температуры воды. В отличие от фотосинтеза процессы, уменьшающие содержание растворенного в воде кислорода (его потребление на окисление органического вещества, дыхание орга-

Таблица 1

**Физико-химическая характеристика воды оз. Бол. Харбей**

Показатели	Годы исследований, июль-август					
	1963*	1968**	1969**	2009	2010	2012
Прозрачность, м	2.0-4.5	2.0-3.5	2.0-3.5	2.2-2.7	2.2-2.7	0.4-2.5
$t_{\text{воды}}$ , °C	4.3	14.5	8.2	14.1-16.9	9.6-11.7	11.1-16.1
pH	6.7-7.4	6.3-7.2	6.5-7.1	6.3-6.9	7.1-7.4	7.2-7.6
Электропроводность, $\mu\text{S}/\text{cm}$	–	–	–	24-28	27-28	26-27
$\Sigma_{\text{ионов}}$ , мг/дм <sup>3</sup>	32.1-63.9	20.6-76.9	25.3-55.4	18.7-25.0	17.7-22.9	22.2-23.9
Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	3.5-5.5	–	–	0.6-8.1	0.6-0.9	0.4-0.8
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	2.9-10.6	–	–	1.35-1.59	1.3-1.63	1.29-1.42
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	12.8-30.5	–	–	10.2-16.1	10.7-14.3	12.4-15.2
Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	2.6-8.2	–	–	2.2-3.2	2.5-3.1	2.5-2.8
Mg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0.6-1.7	–	–	0.72-0.84	0.69-0.74	0.67-0.75
Na <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup> (+K <sup>+</sup> ) <sup>1</sup>	4.5-8.5 <sup>1</sup>	–	–	0.70-0.98	0.66-0.84	0.65-0.79
K <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	–	–	–	0.33-0.42	0.29-0.45	0.35-0.48
O <sub>2</sub> , % <sub>нас</sub>	110-120	82-102	88-112	94-106	63-65	87-89
Цветность, град.	4-28	5-26	13-50	21-43	14-29	14-18
ПО, мг/дм <sup>3</sup>	4.4-10.4	3.3-13.0	2.7-10.4	–	1.86-4.0	2.6-4.8
ХПК, мг/дм <sup>3</sup>	–	8.2-22.9	6.0-36.6	9.8-19.0	8.8-23.0	12.0-20.0
БПК <sub>5</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	–	0.5-2.4	0.6-3.4	1.0-3.3	–	–
Фенолы, мкг/дм <sup>3</sup>	–	–	–	0.07-0.46	–	–
Фосфор мин., мг/дм <sup>3</sup>	–	до 0.026	до 0.026	до 0.110	до 0.008	до 0.024
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	–	0.04-0.13	0.01-0.44	н/о	н/о	0.06-0.13
N <sub>общ.</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	–	–	–	0.20-0.28	–	–
Fe <sub>общ.</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	0.11-1.02	0.12-0.95	0.04-1.04	0.00-2.10	0.00-0.07	0.00-0.01
Mn, мкг/дм <sup>3</sup>	–	–	–	0.28-260	0.10-18.0	0.57-2.70
Cu, мкг/дм <sup>3</sup>	–	–	–	0.26-8.1	0.12-9.0	2.10-4.00
Zn, мкг/дм <sup>3</sup>	–	–	–	0.80-47.0	0.28-46.0	0.17-3.72
Al, мкг/дм <sup>3</sup>	–	–	–	0.0-190	–	–
Si, мкг/дм <sup>3</sup>	–	–	–	0.16-0.67	0.18-0.48	0.33-0.44

Примечание. Жирным шрифтом отмечены показатели, превышающие ПДК<sub>р/х</sub>; – – нет данных; н/о – не обнаружено; ПО – перманганатная окисляемость; \* по: Голдина, 1972 [3], \*\* по: Продуктивность озер..., 1976 [2]; <sup>1</sup> – сумма (Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup>) (то же самое в табл. 2).

Таблица 2

**Физико-химическая характеристика воды оз. Головка**

Показатели	Годы исследований, июль-август				
	1963*	1969**	2009	2010	2012
$t_{\text{воды}}$ , °C	–	–	14.9-15.9	9.2	11.8-12.2
pH	6.7-7.6	6.7-7.0	8.0-8.5	–	7.3-8.0
Электропроводность, $\mu\text{S}/\text{cm}$	–	–	26-27	–	26
$\Sigma_{\text{ионов}}$ , мг/дм <sup>3</sup>	20.5-39.10	37.1-48.0	16.2-19.7	19.5	21.9-22.9
Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	2.83-9.13	–	0.78-2.3	0.8	0.4-0.5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	2.88-9.61	–	0.29-1.37	1.67	1.28
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	14.6-18.3	–	10.5-11.5	12.8	15.6-16.4
Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	2.80-3.80	–	2.8	2.6	2.8-2.9
Mg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0.61-1.46	–	0.72	0.63	0.75-0.76
Na <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup> (+K <sup>+</sup> ) <sup>1</sup>	2.25-7.75 <sup>1</sup>	–	0.67-0.73	0.64	0.64
K <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	–	–	0.36-0.38	0.37	0.43
O <sub>2</sub> , % <sub>нас</sub>	100-140	91-104	98-104	–	87-93
Цветность, град.	10-20	27-35	43-56	22	43-53
ПО, мг/дм <sup>3</sup>	5.52-11.9	4.3-6.5	–	4.9	5.4-5.7
ХПК, мг/дм <sup>3</sup>	–	15.4-24.7	22	21	29-32
БПК <sub>5</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	–	0.70-1.69	2.2-2.7	–	–
Фенолы, мкг/дм <sup>3</sup>	–	–	0.17-0.41	–	–
Фосфор мин., мг/дм <sup>3</sup>	–	до 0.015	до 0.009	до 0.021	до 0.048
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	–	0.14-0.20	0.38-0.48	н/о	0.37-0.43
N <sub>общ.</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	–	–	0.31-0.57	–	–
Fe <sub>общ.</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	0.46-4.10	0.12-0.30	0.16-0.32	0.083	0.011-0.017
Mn, мкг/дм <sup>3</sup>	–	–	41.0-42.0	1.90	0.71-1.10
Cu, мкг/дм <sup>3</sup>	–	–	0.92-1.0	4.60	2.20-2.80
Zn, мкг/дм <sup>3</sup>	–	–	1.41-29.0	14.0	0.76-2.25
Al, мкг/дм <sup>3</sup>	–	–	9.03-26.0	–	–
Si, мкг/дм <sup>3</sup>	–	–	0.38-0.39	0.27	0.66-0.73

в соотношении главных ионов и минерализации воды не произошло (рис. 3). При преобладающих величинах 19.0–21.0 мг/дм<sup>3</sup> минерализация воды варьировала от 17.7 до 42.9 мг/дм<sup>3</sup> в оз. Бол. Харбей и от 16.2 до 22.9 мг/дм<sup>3</sup> – в оз. Головка. Низкая минерализация воды подтверждается величинами электропроводности (24–28.0 мS/см), зарегистрированными в эти же сроки. Максимальная сумма ио-

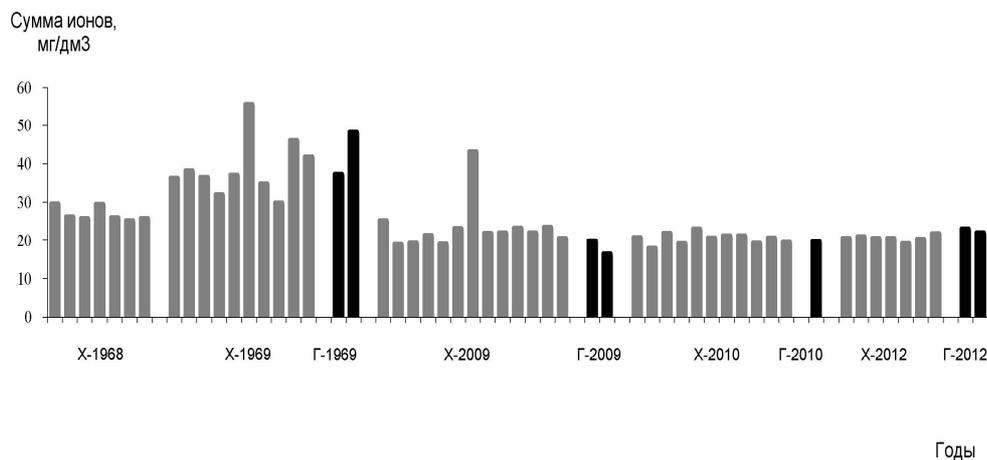


Рис. 3. Минерализация воды в Харбейских озерах.  
Х – оз. Харбей; Г – оз. Головка.

нов (42.9 мг/дм<sup>3</sup>) была зафиксирована в мелководной части залива за счет труднообъяснимого повышения концентрации ионов хлора. Как уже указывалось выше, минерализация воды тундровых озер зависит от комплекса физико-географических факторов, в частности, от основных пород, которыми выполнены озерные котловины. В озерах они представлены четвертичными (моренными и флювиогляциальными) отложениями мощностью до 200 м [3].

Последние гидрохимические исследования озер Бол. Харбей и Головка показывают, что доминирующая роль в формировании химического состава воды принадлежит гидрокарбонатным ионам, содержание которых варьирует от 10.2 до 16.4 мг/дм<sup>3</sup>, и катионам кальция (2.20–3.10 мг/дм<sup>3</sup>). Концентрация ионов хлора в воде озер преимущественно находилась в пределах 0.40 – 2.30 мг/дм<sup>3</sup> (табл. 1 и 2). Изменения в соотношении главных ионов и переход гидрокарбонатно-кальциевого состава воды в гидрокарбонатно-хлоридно-кальциевый наблюдали в центральной части оз. Бол. Харбей на глубине 9.8 м. Концентрация хлоридов в этой точке озера повысилась до 8.10 мг/дм<sup>3</sup> (табл. 1). При наличии большой глубины перемешивание водных масс происходит лишь в поверхностных слоях, а на глубине формируется стагнационный пласт, который, возможно, подпитывается грунтовыми водами коренных пород, содержащих хлориды. Как будет рассмотрено далее, в придонном слое также зафиксировано повышение концентрации ряда микроэлементов. Катионы магния, натрия, калия, а также сульфатные ионы обнаружены в небольших

количествах, и распределены они в воде озер достаточно равномерно, не претерпевая заметных скачков. Незначительное повышение минерализации воды и изменения в соотношении главных ионов отмечались и ранее в глубинных слоях водной толщи, в прибрежной зоне и обособленных заливах озер [2]. Кроме того, в более ранних работах вода в оз. Бол. Харбей классифицировалась как гидрокарбонатно-натриевая и объяснялось это влиянием грунтовых и подземных вод [3]. В весенней воде оз. Головка были зафиксированы отсутствие гидрокарбонатных ионов и своеобразный хлоридно-кальциевый или сульфатно-кальциевый состав [1]. Неоднородность ионного состава может создаваться под влиянием биологических и биохимических процессов, протекающих в водной массе озера, что довольно часто проявляется при низкой минерализации воды [5].

Органические и биогенные вещества. Несмотря на высокую степень заболоченности водосборов озер Бол. Харбей и Головка, на что указывали в своих работах первые исследователи этого района [3, 27], в воде озер зафиксировано низкое содержание органического вещества, в их составе доминируют малочетные соединения [2]. Цветность воды в оз. Бол. Харбей в преобладающем большинстве находилась в пределах 14–32°, лишь однажды в заливе она повысилась до 43° (табл. 1). Перманганатная (ПО) и бихроматная (ХПК) окисляемость варьировали от 1.86 до 4.8 мг/дм<sup>3</sup> и от 8.8 до 23.0 мг/дм<sup>3</sup> соответственно. Исследования 1960-х гг. свидетельствуют, что более высокие показатели цветности (50°), ПО (10.4 мг/дм<sup>3</sup>) и ХПК (36.6 мг/дм<sup>3</sup>) в воде оз. Бол. Харбей были зафиксированы в периоды усиленного терригенного стока, вызванного дождями [2]. Цветность (43–56°), ПО (4.9–5.7 мг/дм<sup>3</sup>) и ХПК (21.0–32.0 мг/дм<sup>3</sup>) свидетельствуют, что содержание органического вещества в воде оз. Головка – немного выше, чем в воде оз. Бол. Харбей (табл. 2). Повышение концентрации органического вещества в воде оз. Головка, в котором наблюдалось «цветение», скорее всего, обусловлено биологическими процессами. Распределение органического вещества по акваториям озер происходит достаточно равномерно (рис. 4, 5). Вертикальная стратификация также не обнаружена.

В 2009–2010 гг. в воде оз. Бол. Харбей наблюдалось отсутствие аммонийного азота (табл. 1). По результатам исследований 2012 г. концентрация NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, как и в 1960-е гг., была невысокой и состави-

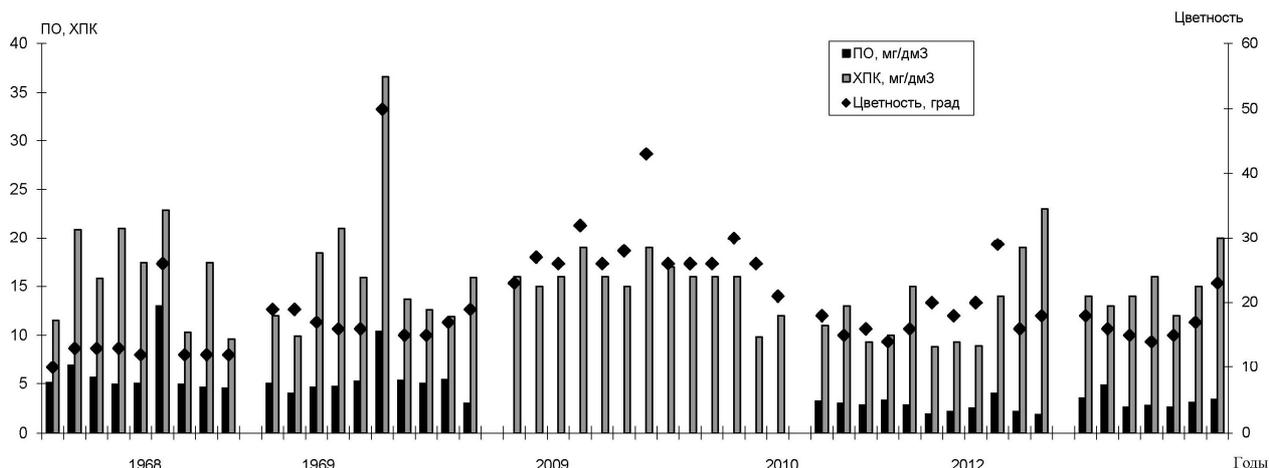


Рис. 4. Соотношение показателей ПО, ХПК и цветности в воде оз. Бол. Харбей.

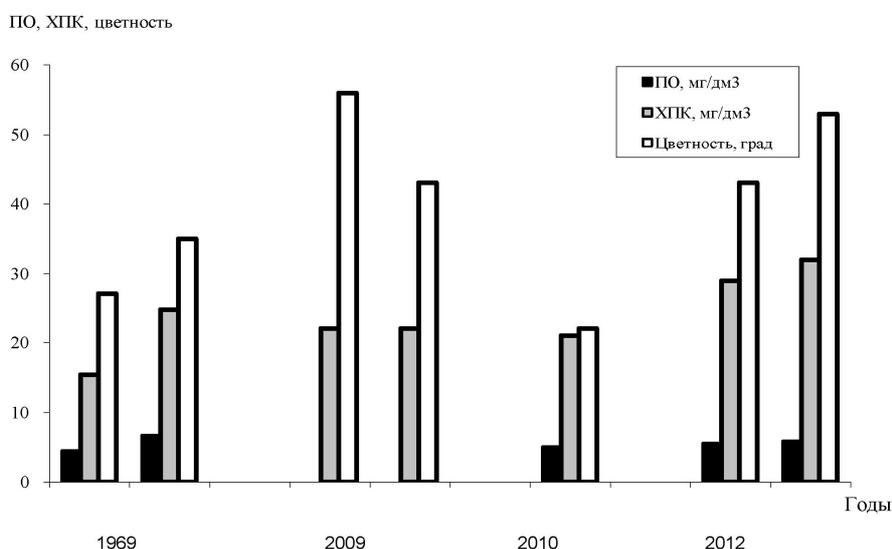


Рис. 5. Соотношение показателей ПО, ХПК и цветности в воде оз. Головка.

ла 0.06–0.13 мг/дм<sup>3</sup>. Более высоким содержанием аммонийного азота (0.37–0.48 мг/дм<sup>3</sup>) характеризовалась вода из оз. Головка (2009 и 2012 гг.), однако в придонных слоях озера, обследованного в 2010 г., зафиксировано его отсутствие (табл. 2). По итогам первых исследований [2] также отмечалось отсутствие (1963 г.) или низкое содержание (1968, 1969 гг.) азотных соединений в воде рассматриваемых озер. Невысокие концентрации NH<sub>4</sub><sup>+</sup> и отсутствие нитритов и нитратов в воде Харбейских озер объясняются замедлением процессов аммонификации и нитрификации азотсодержащих органических соединений вследствие низкой температуры воды.

В оз. Бол. Харбей концентрация соединений железа во все периоды исследований варьировала от его отсутствия до 2.1 мг/дм<sup>3</sup> (табл. 1). Соединения железа относятся к элементам, которые чувствительно реагируют на физико-химические изменения водной среды, в том числе вызванные жизнедеятельностью организмов. Поэтому их концентрация в поверхностных водах колеблется в очень широких пределах [28]. Повышенные концентрации соединений железа зафиксированы на глубине

9,8 м центральной акватории озера (2009 г.). В поверхностных слоях воды их содержание не превышало 0.07 мг/дм<sup>3</sup>, что ниже регламентируемых пределов для рыбохозяйственных водоемов (ПДК<sub>Fe</sub> = 0.1 мг/дм<sup>3</sup>). По данным Т.А.Власовой [2], величины Fe<sub>общ.</sub> изменялись от 0.04 до 1.82 мг/дм<sup>3</sup> в воде оз. Бол. Харбей и от 1.33 до 4.10 мг/дм<sup>3</sup> в воде оз. Головка. Повышение концентрации Fe<sub>общ.</sub> зафиксировано в весенний период, когда в питании поверхностных вод большую роль играют паводковые воды. А летом содержание соединений железа, как правило, снижается.

Зафиксированы характерные для тундровых водоемов незначительные количества по минеральному фосфору: 0.008–0.110 мг/дм<sup>3</sup> в оз. Бол. Харбей и 0.009–0.048 мг/дм<sup>3</sup> в воде оз. Головка. Концентрации соединений кремния соответственно составили 0.16–0.67 и 0.27–0.73 мг/дм<sup>3</sup> [2, 29, 30]. Несмотря на их низкое абсолютное содержание в маломинерализованных водах районов вечной мерзлоты, кремниевая кислота иногда составляет до 50% от общей минерализации. Одними из основных источников поступления соединений кремния в поверхностные воды являются атмосферные осад-

ки. Немаловажную роль в его круговороте играют биологические процессы. Низкие концентрации растворенных соединений кремния в озерной воде регулируются потреблением их водными организмами, что особенно заметно в периоды интенсивного развития диатомовых водорослей. Возрастание содержания кремния возможно и в результате его регенерации из отмершего планктона [31].

**Микроэлементы.** На ранних этапах изучения химического состава воды озер Харбейской системы микроэлементы не определялись [1–3], что исключает возможность получения сравнительных данных. Полученные в 2000-е гг. результаты свидетельствуют, что в Харбейских озерах соединения марганца, цинка, свинца, алюминия и хрома большей частью содержались в небольших количествах. В поверхностных слоях оз. Бол. Харбей имело место незначительное превышение предельно допустимых нормативов по соединениям меди (2.3–7.0 ПДК<sub>р/х</sub>) и цинка (2.1 ПДК<sub>р/х</sub>). В придонных слоях их концентрация возрастает, и максимальные величины были зафиксированы на глубине 9.8 м: по марганцу (260 мкг/дм<sup>3</sup>), цинку (47.0 мкг/дм<sup>3</sup>) и меди (9.0 мкг/дм<sup>3</sup>) (табл. 1). Одна из причин, как уже указывалось выше, – возможный контакт с подземными водами. Поступление Mn<sup>++</sup> в водоемы и водотоки могло произойти в результате смыва поверхностным стоком продуктов гниения растительных остатков и из почвенных растворов, где марганец присутствует в растворимой двухвалентной форме [31]. В насыщенных гумусовым органическим веществом северных водах, как правило, наблюдается повышение концентрации меди и марганца, которые в виде комплексных соединений с гуминовыми кислотами поступают в природные воды [32]. В воде оз. Головка обнаружено лишь незначительное превышение предельно допустимых нормативов (ПДК<sub>р/х</sub>) по соединениям марганца (в 4.2), меди (2.2–4.6) и цинка (1.4–2.9 раза) (табл. 2).

### Заключение

Сравнение результатов первого гидрохимического обследования системы озер Большеземельской тундры (в 1960-е гг.) с данными трехлетнего мониторинга (2009, 2010, 2012 гг.), проводимого в различных погодных условиях, но в сходные его сроки, позволяет сделать вывод, что за десятки прошедших лет существенной трансформации химического состава воды не произошло. В озерах Бол. Харбей и Головка сохраняется чистая, с прозрачностью до 2.7 м, без запаха вода. Насыщение воды растворенным кислородом остается благоприятным для жизни и развития водных организмов. Реакция воды в озерах изменяется от слабокислой до слабощелочной, а в случае массового развития диатомовых водорослей (оз. Головка) pH повышается до 8.5. В озерах сохраняется низкая минерализация воды и ее сезонные изменения почти незаметны, поскольку озеро имеет большую водную массу и не принимает больших притоков. Доминирующая роль в формировании химического состава воды в озерах принадлежит гидрокарбонатным ионам и катионам кальция, однако под

влиянием подземных или грунтовых вод в придонных слоях возможен переход гидрокарбонатно-кальциевых вод в хлоридно-кальциевый. В пробах воды из глубинных слоев озера наблюдалось также повышение концентраций микроэлементов (Mn, Cu, Zn). Соединения кремния, меди, цинка, свинца, алюминия и хрома в поверхностном водном слое обнаружены в очень незначительных количествах. В широких пределах варьировало содержание соединений железа и наиболее высокая его концентрация зафиксирована на глубине центральной акватории озера. Показатели цветности, перманганатной и бихроматной окисляемости показывают невысокое содержание в водах органического вещества, в том числе гумусового происхождения. Аммонийный азот большей частью отсутствовал, а минеральный фосфор содержался в незначительных количествах. Проведенный анализ свидетельствует, что озера Бол. Харбей и Головка имеют характерный для ледниковых озер тундры химический состав воды, который за полстолетия не претерпел серьезных изменений. Это позволяет сделать вывод, что определяющая роль в формировании химического состава воды в Харбейских озерах принадлежит природным факторам.

*Результаты получены в рамках проектов фундаментальных исследований, выполняемых совместно организациями УрО и СО РАН: «Влияние глобального изменения температуры на функционирование планктонных сообществ водоемов разных природных зон» (№ 09-С-4-1017 и № 12-С-4-1011), при поддержке гранта РФФИ «Структурная организация растительного покрова водоемов Европейского Северо-Востока России: широтный аспект» (10-04-01562-а) и проекта «Оценка экологического состояния горных и равнинных водоемов Полярного Урала и Большеземельской тундры, прогноз их изменения в условиях интенсивного промышленного освоения» (12-4-7-004-АРКТИКА).*

### Литература

1. Власова Т.А., Голдина Л.П. Материалы по гидрохимии некоторых озер восточной части Большеземельской тундры. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1967. С. 65–75. (Тр. Коми фил. АН СССР. №15).
2. *Продуктивность озер* Восточной части Большеземельской тундры/ Отв. ред. Г.Г.Винберг, Т.А.Власова. Л.: Наука, 1976. 146 с.
3. Голдина Л.П. География озер Большеземельской тундры. Л.: Наука, 1972. 101 с.
4. Фёфилова Е.Б., Кононова О.Н., Дубовская О.П., Хохлова Л.Г. Современное состояние зоопланктона системы озер Большеземельской тундры // Биология внутренних вод. 2012. № 4. С. 44–52.
5. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 442 с.
6. Тойкка М.А. Микроэлементы в горных и почвообразующих породах северо-запада и севера Европейской части СССР // Микроэлементы в биосфере Карелии и сопредельных районов. Петрозаводск, 1976. С. 5–66.

7. *Дауэвальтер В.А.* Концентрации тяжелых металлов в донных отложениях озер Кольского полуострова как индикатор загрязнения водных экосистем // Проблемы химического и биологического мониторинга экологического состояния водных объектов Кольского севера. Апатиты, 1995. С. 24 – 36.
8. *Сидоров Г.П.* Рыбные ресурсы Большеземельской тундры. Л.: Наука, 1974. 163 с.
9. *Арчегова И.Б., Забоева И.В.* Криогенные проявления в почвах Коми АССР. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1974. С. 4–26.
10. *Власова Т.А., Барановская В.К., Гецен М.В.* Биологическая продуктивность Харбейских озер Большеземельской тундры // Продукционно-биологические исследования экосистем пресных вод. Минск: Изд-во БГУ, 1973. С. 147–163.
11. *Власова Т.А.* Компонентный состав органических веществ некоторых озер Коми АССР и Ненецкого национального округа // Биология внутренних вод. 1974. № 21. С. 66–71.
12. *Сидоров Г.П., Шубин Ю.П., Лоскутова О.А., Братцев С.А.* Структурно-функциональные изменения в Харбейских озерах Большеземельской тундры // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: Материалы Международ. науч. конференции. Минск, 2000. С. 417–422.
13. *Хохлова Л.Г.* Гидрохимическая изученность поверхностных вод Большеземельской тундры // Возобновимые ресурсы водоемов Большеземельской тундры. Сыктывкар, 2002. С. 5–14. (Тр. Коми НЦ УрО РАН; № 169).
14. *Батурина М.А., Лоскутова О.А., Фефилова Е.Б., Хохлова Л.Г.* Зообентос озера Большой Харбей (Большеземельская тундра): современное состояние и анализ ретроспективных данных // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2012. Вып. 4 (12). С. 21–29.
15. *Количественный химический анализ вод.* Методика выполнения измерений массовой концентрации элементов в пробах питьевой, природных, сточных вод и атмосферных осадков методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ПНД Ф 14.1:2:4.135-98). ЗАО «ЦИКВ». СПб., 2008. 27 с.
16. *Количественный химический анализ вод.* Методика измерений перманганатной окисляемости в пробах питьевых, природных и сточных вод титриметрическим методом (ПНД Ф 14.1:2:4.154-99). ЗАО «РОСА». М., 2012. 12 с.
17. *Количественный химический анализ вод.* Методика определения бихроматной окисляемости (химического потребления кислорода) в пробах природных, питьевых и сточных вод фотометрическим методом с применением анализатора жидкости «Флюорат-02» (ПНД Ф 14.1:2:4.190-03). ООО «Люмэкс». СПб., 2007. 26 с.
18. *Массовая концентрация сульфатов в водах.* Методика выполнения измерений турбидиметрическим методом (РД 52.24.405-2005) / ГУ «Гидрохимический институт». Ростов-на-Дону, 2005. 22 с.
19. *Массовая концентрация гидрокарбонатов и величина щелочности поверхностных вод суши и очищенных сточных вод.* Методика выполнения измерений титриметрическим методом (РД 52.24.493-2006) / ГУ «Гидрохимический институт». Ростов-на-Дону, 2006. 42 с.
20. *Водородный показатель и удельная электрическая проводимость вод.* Методика выполнения измерений электрометрическим методом (РД 52.24.495-2005) / ГУ «Гидрохимический институт». Ростов-на-Дону, 2005. 15 с.
21. *Цветность поверхностных вод суши.* Методика выполнения измерений фотометрическим и визуальным методами (РД 52.24.497-2005) / ГУ «Гидрохимический институт». Ростов-на-Дону, 2005. 16 с.
22. *Массовая концентрация хлоридов в водах.* Методика измерений меркуриметрическим методом (РД 52.24.402-2011) / ГУ «Гидрохимический институт». Ростов-на-Дону, 2011. 24 с.
23. *Массовая концентрация фосфатов и полифосфатов в водах.* Методика выполнения измерений фотометрическим методом (РД 52.24.382-2006) / ГУ «Гидрохимический институт». Ростов-на-Дону, 2006. 30 с.
24. *Массовая концентрация аммиака и ионов аммония в водах.* Методика выполнения измерений фотометрическим методом в виде индофенолового синего (РД РД 52.24.383-2005) / ГУ «Гидрохимический институт». Ростов-на-Дону, 2005. 36 с.
25. *Массовая концентрация фенола, алкилфенолов и монохлорфенолов в водах.* Методика измерений газохроматографическим методом (РД 52.24.487-2011) / ГУ «Гидрохимический институт». Ростов-на-Дону, 2005. 38 с.
26. *Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши* / Под ред. А.Д.Семенова. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 540 с.
27. *Зверева О.С., Власова Т.А., Голдина Л.П., Изъюрова В.К.* Итоги лимнологических исследований в Большеземельской тундре // Биологические основы использования природы Севера. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1970. С. 248–253.
28. *Кузнецов С.И.* Роль микроорганизмов в круговороте веществ в озерах. М.: Изд-во АН СССР, 1952. С.250–266.
29. *Хохлова Л.Г., Стенина А.С.* Экологическое состояние поверхностных вод в бассейне реки Новая Нерута (район мыса Болванский Нос) // Биоразнообразие наземных и водных экосистем охраняемых территорий Малоземельской тундры и прилегающих районов. Сыктывкар, 2005. С.77–87.
30. *Биоразнообразие беспозвоночных и водорослей в озерах болотного заказника «Океан»* / О.А.Лоскутова, Л.Г.Хохлова, Е.Н.Патова, А.С.Стенина, О.Н. Кононова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12. № 1 (4). С. 957–963.
31. *Современное состояние водных объектов Республики Карелия.* Петрозаводск, 1998. 188 с.
32. *Бреховских В.Ф., Волкова З.В., Колесниченко Н.Н.* Проблемы качества поверхностных вод в бассейне Северной Двины. М.: Наука, 2003. 233 с.

Статья поступила в редакцию 18.03.2013

УДК 57.083.138.4

## АНТИОКСИДАНТНЫЕ СВОЙСТВА ЭКСТРАКТОВ РАСТЕНИЙ СЕМЕЙСТВА LAMIACEAE, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В РЕСПУБЛИКЕ КОМИ

В.В. ВОЛОДИН\*, К.В. БЕЗМАТЕРНЫХ\*\*, Г.В. СМИРНОВА\*\*, О.Н. ОКТЯБРЬСКИЙ\*\*, Л.И. АЛЕКСЕЕВА\*, В.А. КАНЕВ\*

\*Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

\*\*Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, г. Пермь  
[volodin@presidium.komisc.ru](mailto:volodin@presidium.komisc.ru), [smirnova@iegm.ru](mailto:smirnova@iegm.ru)

С использованием биохимических методов и микробных тест-систем исследована антиоксидантная активность экстрактов растений семейства Lamiaceae, произрастающих в Республике Коми. Показано, что антиоксидантное действие экстрактов проявляется за счет прямого ингибирования активных форм кислорода, хелатирования ионов железа и индукции антиоксидантных генов. На моделях генно-инженерных штаммов *Escherichia coli* впервые показано, что существенный вклад в антиоксидантное действие вносит их способность активировать гены OxyR-регулона и влиять на активность RpoS-контролируемой системы в условиях окислительного стресса.

Ключевые слова: антиоксидантная активность, *Escherichia coli*, экспрессия генов, экстракты растений, Lamiaceae

V.V. VOLODIN, K.V. BEZMATERNYKH, G.V. SMIRNOVA, O.N. OKTYABRSKY, L.I. ALEKSEEVA, V.A. KANEV. THE ANTIOXIDANT CHARACTERISTICS OF PLANT EXTRACTS OF THE FAMILY LAMIACEAE IN THE KOMI REPUBLIC

With use of biochemical methods and microbial test systems the antioxidant activity of extracts of plants of Lamiaceae family growing in the Republic of Komi is investigated. It is shown that antioxidant action of extracts is exhibited at the expense of direct inhibition of active oxygen forms, iron chelation and antioxidant genes induction. On models of genetically engineered strains *Escherichia coli* it is for the first time shown that their ability to activate OxyR-regulone genes and to influence the activity of RpoS-controlled system in conditions of oxidative stress is a considerable contribution in the antioxidant action.

Key words: antioxidant activity, *Escherichia coli*, gene expression, plant extracts

В настоящее время все большее внимание уделяется поиску природных антиоксидантов для защиты организма человека от активных форм кислорода (АФК). Хорошо известны растения с высокой антиоксидантной активностью, такие как розмарин лекарственный (*Rosmarinus officinalis*), шалфей лекарственный (*Salvia officinalis*), тимьян обыкновенный (*Thymus vulgaris*), душица обыкновенная (*Origanum vulgare*), базилик благородный (*Ocimum basilicum*) – все они из семейства Lamiaceae и относятся к растениям южных широтных групп [1]. В последние годы актуальным направлением ботанического ресурсоведения является поиск растений - антиоксидантов, произрастающих на ранее не изученных северных территориях России, в том числе и в Республике Коми. При проведении выборочного исследования антиоксидантной активности экстрактов представителей сем. Lamiaceae, насчитывающего во флоре европейского Северо-Востока России 26 видов из 16 родов, представляет интерес

оценить антиоксидантную активность экстрактов как ранее не исследованных видов, так и изученных, образцы которых отбирались в более южных местах произрастания. Кроме практического интереса эти исследования могли бы дать ответ на вопрос о связи между условиями среды обитания растений и антиоксидантной активностью, обусловленной варьирующим в растениях содержанием полифенолов [2, 3]. Эти соединения обладают способностью прямо нейтрализовать свободные радикалы [4] и хелатировать ионы металлов, включая железо [5]. В то же время известно, что в определенных условиях полифенолы могут участвовать в генерации АФК и действовать как прооксиданты [6, 7]. В исследованиях на животных показано антимуtagenное и антиканцерогенное действие полифенолов, а также их положительный эффект при лечении многих заболеваний сердечно-сосудистой и нервной системы, в профилактике рака и старения [8]. Для изучения антиоксидантной активности экс-

трактов и их компонентов используются два основных подхода. В первом случае применяют физико-химические методы, во втором – живые организмы от млекопитающих до микробных тест-систем. В последнем случае микроорганизмы могут быть использованы как относительно простые и недорогие тест-системы [9, 10]. В настоящей работе нами исследована антиоксидантная активность экстрактов выборочных видов растений сем. *Lamiaceae* с использованием генно-инженерных штаммов бактерий *Escherichia coli* и трех широко используемых химических методов.

### Материалы и методы

**Получение экстрактов.** Метанольные экстракты получали из растений, принадлежащих к видам семейства *Lamiaceae*. Надземную часть растений высушивали при комнатной температуре и измельчали до размера частиц, проходящих сквозь сито с отверстиями диаметром 1 мм. Навески 0,1 г экстрагировали 10 мл 96%-ного метанола в круглодонной колбе при нагревании с обратным холодильником на водяной бане 1 час. После охлаждения экстракт фильтровали и выпаривали досуха.

**Определение радикалсвязывающей активности (РСА) с ДФПГ.** Способность растительных экстрактов к связыванию свободного радикала ДФПГ определялась, как описано в работе [11]. Радикалсвязывающую активность (РСА) рассчитывали по формуле:

$РСА (\%) = (1 - \text{поглощение образца} / \text{поглощение контроля}) \times 100$ .

$IC_{50}$  – концентрация субстрата, при которой 50% радикалов связывается с тестируемым образцом. Для расчета  $IC_{50}$  выбирали отрезок между двумя точками на прямолинейном участке графика «доза–эффект».

**Определение хелатирующей способности.** Способность экстрактов к хелатированию ионов железа определяли по методу, описанному в работе [12]. Хелатирующую способность вычисляли по формуле:

$ХС (\%) = (1 - \text{поглощение образца} / \text{поглощение контроля}) \times 100$ .

$EC_{50}$  – концентрация субстрата, при которой ионы металлов хелатируются на 50%, рассчитывалась, как указано выше, для  $IC_{50}$ .

**Определение общего содержания растительных полифенолов.** Содержание полифенолов определяли с реактивом Фолина-Чикольте [13], результаты выражали в мг эквивалентах галловой кислоты/г сухого веса экстракта.

**Определение антиоксидантной активности (АОА) с помощью микробных тест-систем.** Использованные в работе генно-инженерные штаммы *Escherichia coli* NM3021 и NM3041 были сконструированы путем трансформации бактерий диконого типа BW25113 (штамм получен из CGSC *E. coli* Genetic Stock Center) плазмидами *pKT1033 (katG::lacZ)* (получена от проф. К. Тао, Япония) и *pRS 415 katF5 (rpoS::lacZ)* (получена от проф. А. Eisenstark, США).

Плазмиды несут слияние промоторов генов *katG* и *rpoS* со структурным геном β-галактозидазы, что позволяет судить о степени экспрессии этих генов по уровню активности β-галактозидазы. Ген *katG* кодирует каталазу HPI, которая индуцируется в ответ на повышение концентрации эндогенной и экзогенной перекиси водорода. Ген *rpoS* кодирует  $\sigma^S$  субъединицу РНК-полимеразы (RpoS), контролирующую экспрессию большого числа генов общего стрессового ответа, индуцируется при замедлении роста и обеспечивает устойчивость ко многим стрессам.

Бактерии культивировали на минимальной среде M9 [14] с глюкозой (0.15%), казаминовыми кислотами (0.2%) и тиаминном (10 мкг/мл). Ночную культуру выращивали в термостате при 37°C. Клетки из ночной культуры центрифугировали и перенесли в колбы объемом 250 мл, содержащие 100 мл среды M9, до начальной  $OD_{600} = 0.1$  и выращивали на качалках при скорости вращения 140 об/мин и температуре 37°C до  $OD_{600} = 0.6$ . Далее культуру центрифугировали и ресуспендировали в 8 мл среды M9. В ячейки иммунологического планшета добавляли 5 мкл исследуемых экстрактов, 5 мкл центрированных клеток (до конечной  $OD_{600} = 0.1$ ) и среду M9 до общего объема 200 мкл.  $OD_{600}$  измеряли до и после добавления клеток, чтобы учесть цветность экстракта. Планшеты культивировали на качалках (140 об/мин, температура 37°C) 20 мин, измеряли  $OD_{600}$  и в опытные ячейки вносили  $H_2O_2$  до концентрации 0.1 и 4 мМ. Культивирование продолжали в течение 30 мин, после чего измеряли  $OD_{600}$  на микропланшетном спектрофотометре BioRad xMark. Полученные значения использовали для подсчета удельной скорости роста ( $\mu$ ).

$\mu = \Delta \ln OD_{600} / \Delta t$ , где  $t$  – время, час.

Антиоксидантную активность определяли, как способность экстракта защищать клетки от действия перекиси водорода и количественно выражали как отношение  $\mu$  в присутствии экстракта к значению  $\mu$  без экстракта.

**Определение β-галактозидазы на планшетах.** Активность β-галактозидазы вычисляли по методу Миллера (Miller 1972) [14], модифицированному нами для измерения на планшетах. По 30 мкл культуры из каждой ячейки первого планшета (для определения АОА) перенесли на второй с 90 мкл восстановительного буфера в каждой ячейке, добавляли 1 мкл толуола и 1 мкл дезоксихолата. Инкубировали 30 мин при 37°C и 140 об/мин. Затем добавляли 30 мкл 2-нитрофенил β-D-галактопиранозиды (ОНФГ), инкубировали 1 час, останавливали реакцию добавлением 30 мкл  $K_2CO_3$  и измеряли  $OD_{420}$  и  $OD_{550}$ . Каждое измерение дублировали контролем без ОНФГ (вместо ОНФГ добавляли 30 мкл восстановительного буфера). Активность β-галактозидазы выражали в единицах Миллера, рассчитанных по формуле:

$(OD_{420} - 1.75 \times OD_{550} / OD_{600}) \times 100$ ,

где  $OD_{420}$  и  $OD_{550}$  – оптическая плотность образцов,  $OD_{600}$  – оптическая плотность бактериальной культуры, 100 – коэффициент, учитывающий продолжи-

тельность экспозиции с ОНФГ и разведение исходной культуры.

**Статистическая обработка данных.** Экспериментальные данные обрабатывали, вычисляя стандартную ошибку и доверительный интервал. Каждый результат показан как среднее значение из не менее, чем трех независимых экспериментов  $\pm$  стандартная ошибка среднего. Достоверность различий оценивали согласно *t*-критерию Стьюдента, различия считались значимыми при  $p < 0.05$ .

### Результаты исследований

Радикалсвязывающая активность испытанных экстрактов варьировала в широких пределах, от высоких значений у тимьяна обыкновенного (2.8) и тимьяна Талиева (2.8) и пикульника двунадрезного (3.5) до низкого – у будры плющевидной (31.9) (таблица). Для сравнения, Тролокс (водорастворимый аналог витамина Е, используемый в качестве общепринятого стандарта) в наших условиях имел показатель – 0.01. Наиболее высокой хелатирующей способностью обладали экстракты змееголовника Рюйша и яснотки стеблеобъемлющей. Следует иметь в виду, что чем ниже абсолютное значение  $IC_{50}$  и  $EC_{50}$ , тем выше, соответственно, радикалсвязывающая и хелатирующая активности. Наиболее высокое содержание полифенолов обнаружено в экстрактах тимьяна обыкновенного и тимьяна Талиева. Отмечена положительная корреляция между содержанием полифенолов в экстрактах и их радикалсвязывающей активностью ( $r = 0.8$ ;  $P < 0.01$ ).

Указанные в таблице значения параметров получены при содержании 1.67 мг сухого веса в

1 мл ДМСО. Добавление всех экстрактов в этой концентрации к растущим культурам бактерий *E. coli* NM3021, несущим слияние *katG::lacZ*, вызывало снижение удельной скорости роста ( $\mu$ ), величина которого зависела от вида растений. Наибольшим эффектом в этом отношении обладали экстракты тимьяна обыкновенного и тимьяна Талиева, снижавшие скорость роста на 41 и 28%, соответственно.

Окислительный стресс, вызванный обработкой бактерий 4 мМ пероксида, приводил к снижению скорости роста *E. coli* NM3021 с 0.97 до 0.17 час<sup>-1</sup>. Добавление всех экстрактов в среду культивирования существенно снижало бактериостатическое действие пероксида. Наибольшим эффектом обладали экстракты змееголовника Рюйша и тимьяна обыкновенного, повышавшие скорость роста в присутствии пероксида в 6.1 и 5.6 раза (рис. 1). Присутствие в среде экстрактов оказывало также стимулирующее действие на экспрессию антиоксидантного гена *katG*, который играет существенную роль в защите *E. coli* от пероксидного стресса. Обработка бактерий экстрактами в условиях нормального роста (отсутствие пероксида) вызывала заметное повышение экспрессии *katG::lacZ*. Наибольшее повышение этого показателя отмечено у экстрактов яснотки пурпурной и будры плющевидной, обработка которыми приводила к повышению экспрессии слияния в 2.5 раза по сравнению с необработанными клетками (рис. 1). Поскольку *katG* является H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-индуцибельным геном, то добавление 4 мМ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> вызывало, как и следовало ожидать, повышение экспрессии *katG::lacZ*. Предобработка клеток экстрактами заметно стимулировала H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-индуцируемую экспрессию слияния на 30–50 %.

### Радикал-связывающая активность (РСА), хелатирующая способность (ХС) и содержание полифенолов в экстрактах

Растения	Места сбора	Время сбора	РСА $IC_{50}$ мг/мл	ХС $EC_{50}$ , мг/мл	Полифенолы мг/г сух. в.
<i>Thymus serpyllum</i> Тимьян обыкновенный	г. Сыктывкар	2008	2.8 $\pm$ 0.05	49.6 $\pm$ 5.4	1.9 $\pm$ 0.01
<i>Thymus talijevii</i> Тимьян Талиева	Интинский р-н	2008	2.8 $\pm$ 0.04	32.2 $\pm$ 0.7	2.1 $\pm$ 0.04
<i>Galeopsis bifida</i> Пикульник двунадрезный	с. Вьльгорт	2011	3.5 $\pm$ 0.05	28.8 $\pm$ 0.5	1.5 $\pm$ 0.02
<i>Galeopsis bifida</i> Пикульник двунадрезный	г. Сыктывкар	2010	14.9 $\pm$ 0.37	39.3 $\pm$ 0.35	0.35 $\pm$ 0.02
<i>Galeopsis speciosa</i> Пикульник красивый	с. Вьльгорт	2011	4.7 $\pm$ 0.13	20.0 $\pm$ 2.3	1.2 $\pm$ 0.01
<i>Prunella vulgaris</i> Черноголовка обыкновенная	с. Вьльгорт	2010	4.9 $\pm$ 0.04	49.7 $\pm$ 1.5	0.99 $\pm$ 0.01
<i>Dracosephalum ruyschiana</i> Змееголовник Рюйша	Усть-Цилемский р-н	2011	5.1 $\pm$ 0.14	13.7 $\pm$ 0.7	1.0 $\pm$ 0.02
<i>Lamium purpureum</i> Яснотка пурпурная	с. Вьльгорт	2011	9.0 $\pm$ 0.25	29.6 $\pm$ 0.7	0.6 $\pm$ 0.008
<i>Lamium amplexicaule</i> Яснотка стеблеобъемлющая	с. Вьльгорт	2011	14.0 $\pm$ 0.32	15.4 $\pm$ 0.7	0.38 $\pm$ 0.003
<i>Glechoma hederacea</i> Будра плющевидная	г. Сыктывкар	2011	31.9 $\pm$ 1.6	30.6 $\pm$ 1.2	0.21 $\pm$ 0.01

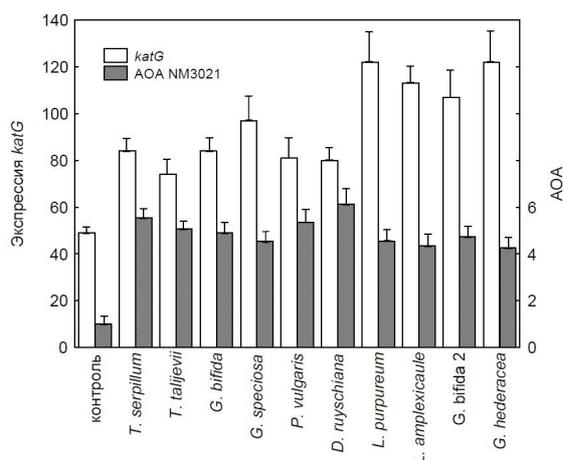


Рис. 1. Антиоксидантная активность (АОА) экстрактов и экспрессия слияния *katG::lacZ* в клетках *E. coli* NM3021.

Выявлены прямая зависимость между антиоксидантной активностью экстрактов (АОА) и содержанием в них полифенолов ( $r = 0.6$ ;  $P < 0.05$ ) и обратная зависимость между АОА и степенью ингибирования роста бактерий экстрактами ( $r = -0.7$ ;  $P < 0.05$ ). Кроме того, обнаружена прямая зависимость между экспрессией *katG::lacZ* (в отсутствии пероксида) и PCA ( $r = 0.76$ ;  $P < 0.01$ ).

При снижении концентрации экстрактов в пробах в 10 раз не отмечено ингибирования роста *E. coli* NM3021. В то же время, в этих условиях сохранялось как антиоксидантное действие всех экстрактов, так и способность к стимуляции экспрессии *katG::lacZ*. Предобработка экстрактами увеличивала скорость роста в условиях окислительного стресса в 1.7–2.9 раза и экспрессию *katG::lacZ* (в отсутствии пероксида) в 1.4–1.9 раза по сравнению с клетками, не обработанными экстрактами. Отмечена положительная корреляция между этими двумя параметрами ( $r = 0.66$ ;  $P < 0.05$ ).

Другой использованный нами в этой работе штамм *E. coli* NM3041 несет слияние *rpoS::lacZ*. В отличие от *E. coli* NM3021, только четыре экстракта вызывали заметное ингибирование роста клеток NM3041. Из них наибольший эффект оказывали экстракты тимьяна обыкновенного и тимьяна Талиева, ингибирующие рост на 28 и 27%, соответственно. Хотя все экстракты защищали *E. coli* NM3041 от пероксидного стресса, защитный эффект был значительно ниже, чем в культурах NM3021 (рис. 2).

Влияние экстрактов на экспрессию *rpoS::lacZ* значительно отличалось от их действия на *katG::lacZ*. Так, добавление экстрактов в среду культивирования в отсутствие пероксида не только не стимулировало экспрессию *rpoS::lacZ*, но даже наблюдалось небольшое ингибирование на 5–18% от уровня в необработанных клетках. Эта тенденция сохранялась и в клетках, обработанных последовательно экстрактами и пероксидом. Экспрессия *rpoS::lacZ* в этом случае была в среднем в два раза

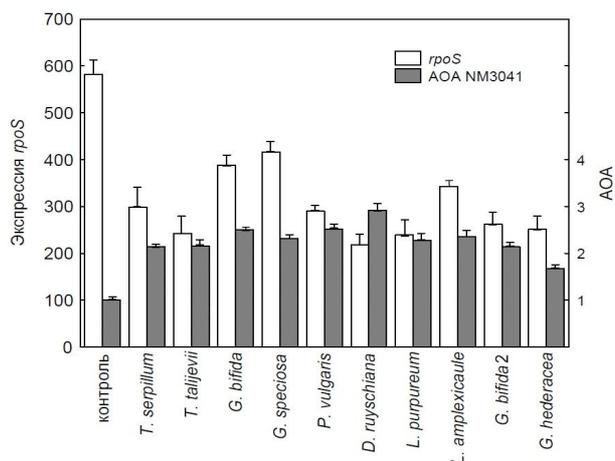


Рис. 2. Антиоксидантная активность (АОА) экстрактов и экспрессия слияния *rpoS::lacZ* в клетках *E. coli* NM3041.

ниже, чем в клетках, не обработанных экстрактами (рис. 2).

При снижении концентрации экстрактов в пробах в 10 раз наблюдалась небольшая стимуляция роста бактерий *E. coli* NM3041 (в среднем на 5%). В этих условиях экстракты сохраняли способность к защите бактерий от пероксидного стресса, увеличивая скорость роста в 1.7–2.6 раза по сравнению с необработанными клетками. Экспрессия *rpoS::lacZ* в клетках, обработанных последовательно экстрактами и пероксидом, была на 12–30% ниже, чем в клетках, не обработанных экстрактами.

### Обсуждение результатов

Результаты настоящей работы свидетельствуют о том, что исследуемые экстракты могли оказывать одновременное антиоксидантное действие на бактерии несколькими разными путями. Наличие радикалсвязывающей активности у части экстрактов, выявленное в тесте с ДФПГ, указывает на возможность прямого взаимодействия компонентов экстрактов с АФК [4]. Способность к хелатированию ионов железа также может вносить вклад в антиоксидантное действие экстрактов благодаря ингибированию образования АФК в реакции Фентона [5]. В то же время полученные данные указывают на то, что экстракты могли защищать растущие *E. coli* от пероксидного стресса не только прямо, но и косвенно, стимулируя экспрессию антиоксидантных генов, в частности, гена *katG*, кодирующего каталазу-гидропероксидазу HPI. Ген *katG* входит в состав регулона, контролируемого транскрипционным фактором OxyR. Активация OxyR происходит при взаимодействии низких концентраций  $H_2O_2$  с его редокс-чувствительными сайтами [15]. Одной из возможных причин наблюдаемого увеличения экспрессии *katG* может быть продукция пероксида компонентами экстрактов, в первую очередь, полифенолами. Известно, что в определенных условиях полифенолы могут участвовать в генерации АФК и действовать как прооксиданты [6, 7]. Ранее нами

установлено, что ряд растительных экстрактов и полифенолов способны генерировать пероксид в количествах, достаточных для активации OxyR [7, 9]. Суммируя приведенные выше данные, можно предположить, что исследуемые экстракты могли активировать антиоксидантные системы бактерий, действуя как прооксиданты.

Нами также проверено влияние исследуемых экстрактов на экспрессию гена *rpoS*, кодирующего  $\sigma^S$  субъединицу РНК-полимеразы (RpoS), которая контролирует экспрессию большого числа генов общего стрессового ответа и обеспечивает устойчивость ко многим стрессам. Полученные данные свидетельствуют о том, что в условиях нормального роста экстракты исследованных растений не стимулировали экспрессию *rpoS*. При пероксидном стрессе присутствие экстрактов вызывало даже снижение экспрессии *rpoS*. Вероятно, в условиях высокой активности генов OxyR-регулона, обеспечивающей достаточный уровень защиты от пероксида, отпадает необходимость для индукции RpoS-регулона [16].

Следует отметить, что из-за высокой стоимости тестов с применением животных к настоящему времени для первичного скрининга растительных экстрактов на АОА наиболее широко используются стандартные химические методы *in vitro*. Данная работа показывает, что генно-инженерные штаммы бактерий *E. coli* могут быть использованы для указанных выше целей как относительно простые и недорогие биологические тест-системы. В то же время исследование действия экстрактов на бактерии имеет и другое более фундаментальное значение. Все более широкое признание получает взгляд на совокупную кишечную микрофлору человека и животных как отдельный орган, нормальное функционирование которого имеет важное значение для поддержания здоровья. У *E. coli* важная ступень в жизненном цикле связана с пребыванием в кишечнике. В процессе переваривания пищи эти бактерии могут прямо контактировать с компонентами экстрактов медицинских растений и принимать участие в их метаболизме [17].

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Программы интеграционных исследований УрО РАН № 12-И-4-2072 и частичной поддержке гранта РФФИ-Урал №10-04-96017.

#### Литература

1. *Matkowski A., Piotrowska M.* Antioxidant and free radical scavenging activities of some medicinal plants from the Lamiaceae // *Fitoterapia*. 2006. №77. P. 346–353.
2. *Bettaieb I., Hamrouni-Sellami I., Bourgou S. et al.* Drought effects on polyphenol composition and antioxidant activities in aerial parts of *Salvia officinalis* L. // *Acta Physiol Plant*. 2011. №33. P.1103–1111.
3. *Pietta P.G.* Flavonoids in medicinal plants. In: *Flavonoids in Health and Disease*. N.Y.: Dekker, 1998. P. 61–110.
4. *Rice-Evans C.A., Miller N.J., Bolwell P.G. et al.* The relative antioxidant activities of plant-derived polyphenolic flavonoids // *Free Radical Res.*, 1995. Vol. 22, № 4. P. 375–383.
5. *Sestili P., Diamantini G., Bedini A. et al.* Plant-derived phenolic compounds prevent the DNA single-strand breakage and cytotoxicity induced by tert-butyl-hydroperoxide via an iron-chelating mechanism // *Biochem. J.* 2002. Vol. 364. P. 121–128.
6. *Smith A.H., Imlay J.A., Mackie R.I.* Increasing the oxidative stress response allows *Escherichia coli* to overcome inhibitory effects of condensed tannins // *Appl. Environ. Microbiol.* 2003. Vol. 69. P. 3406–3411.
7. *Smirnova G.V., Samoylova Z.Y., Muzyka N.G., Oktyabrsky O.N.* Influence of polyphenols on *Escherichia coli* resistance to oxidative stress// *Free Radical Biology and Medicine*. 2009. Vol. 46, № 6. P. 759–768.
8. *Nijveldt R.J., van Nood E., van Hoorn DEC. et al.* Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications // *Am. J. Clin. Nutr.* 2001. Vol. 74. P. 418–425.
9. *Oktyabrsky O., Vysochina G., Muzyka N. et al.* Assessment of antioxidant activity of plant extracts using microbial test systems // *J. Appl. Microbiol.* 2009. Vol. 106, № 4. P. 1175–1183.
10. *Smirnova G., Vysochina G., Muzyka N. et al.* Evaluation of antioxidant properties of medicinal plants using microbial test systems // *World J. Microbiol. Biotechnol.* 2010. Vol. 26, № 12. P. 2269–2276.
11. *Shyur L-F, Tsung J-H, Chen J-HH. et al.* Antioxidant properties of extracts from medicinal plants popularly used in Taiwan // *Inter. J. Appl. Sci. Eng. Technol.* 2005. Vol. 3. P. 195–202.
12. *Kim H-J, Chen F et al.* Evaluation of antioxidant activity of Vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.) oil and identification of its antioxidant constituents // *J. Agric. Food Chem.* 2005. Vol. 53. P. 7691-7695.
13. *Wu L.-C., Hsu H.-W., Chen Y.-C. et al.* Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya // *Food Chem.* 2006. Vol. 95. P. 319–327.
14. *Миллер Дж.* Эксперименты в молекулярной генетике. М.: Мир, 1976. 436 с.
15. *Zheng M., Aslund F., Storz G.* Activation of the OxyR transcription factor by reversible disulfide bond formation // *Science*. 1998. Vol. 279. P. 1718–1721.
16. *Zhang A., Altuvia S., Tiwari A. et al.* The OxyR regulatory RNA represses *rpoS* translation and binds the Hfq (HF-I) protein // *EMBO J.* 1998. Vol. 17, №. 20. P. 6061–6068.
17. *Halliwel B., Rafter J. Jenner A.* Health promotion by flavonoides, tocopherols, tocotrienols, and other phenols: direct or indirect effects? Antioxidant or not? // *Am. J. Clin. Nutr.* 2005. Vol. 81. P. 268S–276S.

Статья поступила в редакцию 01.11.2012

УДК 581.192:547.595

## СТЕРОИДНЫЕ САПОНИНЫ В МНОГОЛЕТНЕМ ЛУКЕ *ALLIUM* *SCHOENOPRASUM* L.

И.В.БЕШЛЕЙ, Т.И.ШИРШОВА

*Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар*  
*beshley@ib.komisc.ru*

Впервые из шнитт-лука *Allium schoenoprasum* L. выделены стероидные гликозиды спироستانоловой и фуруостаноловой природы. Методами тонкослойной, высокоэффективной жидкостной хроматографии и хроматомасс-спектрометрии идентифицированы гликозид спироستانоловой природы дельтонин и фуруостаноловые гликозиды дельтозид и протодиосцин. Установлено, что агликоном спироستانоловых гликозидов является диосгенин, который обнаружен как в свободном состоянии, так и в продуктах гидролиза.

Ключевые слова: **стероидные гликозиды, диосгенин, *Allium schoenoprasum***

I.V. BESHLEY, T.I. SHIRSHOVA. STEROIDAL SAPONINS IN PERENNIAL ONION *ALLIUM* *SCHOENOPRASUM* L.

Total spirostanol and furostanol saponins are for the first time isolated from *Allium schoenoprasum*. Spirostanol glycoside deltonin and both furostanol glycosides deltoside and protodioscine are identified by the methods of thin-layer chromatography, high-performance liquid chromatography and gas chromatography mass spectrometry. Diosgenin is established to be aglycone of spirostanol glycosides. It is detected in both free condition and products of hydrolysis.

Key words: **steroidal glycosides, diosgenin, *Allium schoenoprasum* L.**

Современные научные исследования в области химии природных веществ и фармакологии все больше акцентируют внимание на выделении и характеристике активного действующего начала в растительных экстрактах. Как правило, в растениях биологической активностью обладают сравнительно низкомолекулярные соединения, относящиеся к вторичным метаболитам. Интересным и важным классом вторичных метаболитов являются стероидные гликозиды (СГ), которые относятся к большой группе веществ гликозидной природы, обладающих способностью при растворении в воде образовывать стойкую пену, благодаря чему они и получили название сапонины [1, 2]. Большинство представителей этой группы имеют высокую биологическую активность, которая обуславливает лечебное действие растений. В зависимости от строения агликона стероидные сапонины делятся на две группы – спироستانоловые (СПГ) и фуруостаноловые (ФГ), что и приводит к различиям в их физиологическом действии. Стероидные гликозиды представляют большой интерес для фармацевтической промышленности, поскольку их сапогенины используются в качестве исходного сырья для синтеза стероидных гормональных препаратов. Наибольшее значение с этой точки зрения имеют гитогенин и диосгенин, основными источниками которых являются различные виды наперстянки (*Digitalis*) и диоскорей дельтовидная *Dioscorea deltoidea* Wall. [2, 3], из

корневищ и корней которой был получен целый ряд препаратов, обладающих широким спектром фармакологического действия [3, 4].

Впервые стероидные гликозиды в растениях рода *Allium* обнаружены в 1943 г., когда из *Allium tricoccum* выделили сапогенин тигогенин [5]. Это послужило толчком к исследованиям растений рода *Allium* на содержание СГ, которые позволили выявить большую распространенность сапонинсодержащих видов среди представителей этого рода. На сегодняшний день стероидные сапонины и их генины обнаружены в 45 видах рода *Allium*. При этом из луков выделено 48 СПГ и 45 ФГ [6–14]. Кроме гликозидов из разных видов лука изолировано 28 генинов, самым распространенным из которых является диосгенин, найденный в 18 видах. С точки зрения поиска сырья, богатого диосгенином, представляют интерес *A. fuscoviolaceum* L. (лук темно-фиолетовый) и *A. nutans* L. (лук поникающий), содержащие соответственно 2,1 и 2,3 % этого генина [6].

Нами из девяти видов лука-интродуцента из коллекции Ботанического сада Института биологии Коми НЦ УрО РАН (*A. angustifolium* L., *A. komarovianum* Vved., *A. jajlae* Vved., *A. schoenoprasum* L., *A. schoenoprasum* cv. Prazska Krajova, *A. ramosum* L., *A. nutans*, *A. giganteum* Rgl., *A. porrum* L., *A. narcissiflorum* Wells.) были выделены стероидные гликозиды спироستانоловой и фуруостаноловой при-

роды, а также генин большинства СпГ диосгенин [15]. Наиболее глубокие исследования содержания стероидных гликозидов проведены для шнитт-лука *A. schoenoprasum* L. Согласно литературным данным, СГ синтезируются в листьях растений в фураностаноловой форме и при транспорте в подземные органы трансформируются в спиростаноловую форму, что показано при изучении биосинтеза стероидных гликозидов в *D. deltoidea* [3, 16].

Цель работы – изучение содержания и компонентного состава стероидных гликозидов и характера их распределения по органам и частям растения в культивируемых и природных образцах многолетнего лука *A. schoenoprasum*.

### Материалы и методы

Объектом изучения являлись растения шнитт-лука из региональной флоры Республики Коми и культивируемые образцы из коллекции Ботанического сада Института биологии Коми НЦ УрО РАН (БС). Сбор растительного сырья производился с мая по июль 2006 и 2007 г. в различные фазы развития. Лук-интродуцент выращен в БС из семян, поступивших из Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН (Москва, 1985 г.) и Всероссийского научно-исследовательского института лекарственных и ароматических растений РАСХН (ГУ ВИЛАР). Семена разновидности *A. schoenoprasum* var. *major* получены из Ботанического института РАН (БИН, Санкт-Петербург, 1998 г.), сортовой образец *A. schoenoprasum* cv. *Prazska Krajova* (лук скорода «Празска Крайова») – из Барнаула в 1994 г. (табл. 1).

Растения разделяли на части (корневища с корнями, покровные чешуи, луковицы, листья, бутоны, соцветия), измельчали и сушили при комнатной температуре и постоянном вентилировании. Сухое сырье предварительно обезжировали путем трехкратной экстракции гексаном при комнатной

температуре. Выделение суммы СГ проводили трехкратной экстракцией 70%-ным водным этанолом при комнатной температуре и периодическом встряхивании. Водно-этанольные экстракты упаривали в вакууме до полного удаления спирта. Полученные водные растворы выдерживали на холоде в течение суток. Выпавшие осадки СпГ отделяли центрифугированием на центрифуге марки Centrifuge MPW-210 (Польша) при 12 тыс. об/мин в течение 5 мин. Надосадочную жидкость сливали, остаток высушивали и определяли массу СпГ гравиметрическим методом [17].

Надосадочную жидкость, содержащую ФГ, трехкратно экстрагировали насыщенным водным этанолом-1. Полученные экстракты объединяли, упаривали в вакууме на роторном испарителе досуха и определяли массу гравиметрическим методом. Сумму ФГ очищали от сопутствующих примесей методом гель-хроматографии на сефадексе G-25 (размер частиц 20-80 мкм), используя в качестве элюента дистиллированную воду.

Компонентный состав суммы стероидных гликозидов (ССГ) определяли методом тонкослойной хроматографии (ТСХ) на пластинах «Sorbfil» (Россия, тип сорбента – силикагель ОТХ-1ВЭ, толщина слоя 100 мкм, тип подложки ПЭТФ, размер пластин 10x10 см), «Merck» (Darmstadt, DC-Fertigplatten Kieselgel 60 F<sub>254</sub>, толщина слоя 0,25 мм, размер пластин 5x10 и 10x10 см) в системах растворителей хлороформ–этанол–вода (v/v/v): I. 65:35:8; II. 65:23:4; III. 65:12:1,5; IV. 65:1:0,1. Обнаружение компонентов ССГ осуществляли обработкой высушенных пластин ванилин-фосфорной кислотой (ВФК: 1 г ванилина в 100 мл 50%-ной фосфорной кислоты), реактивом Санье (1%-ный раствор ванилина в концентрированной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), который со СпГ дает желтое окрашивание, а с ФГ – зеленое, и специфическим для ФГ реактивом Эрлиха (1%-ный раствор п-диметиламинобензальдегида в 50%-ном этаноле, со-

Таблица 1

### Исследуемые образцы лука *A. schoenoprasum*

Номер образца	Место сбора	Координаты (GPS)	Дата сбора	Фаза развития
1	БС	N 61°37'09" E 50°45'42"	26.05.2006	Отрастание
2	там же	то же	16.06.2006	Бутонизация
3	там же	то же	16.06.2006	Бутонизация
4*	там же	то же	26.05.2006	Бутонизация
5**	там же	то же	26.05.2006	Бутонизация
6***	там же	то же	26.05.2006	Бутонизация
7	Приполярный Урал, 586 м над ур. м.	N 64°41'11" E 59°41'04"	8.07.2006	Бутонизация
8	Приполярный Урал, 615 м над ур. м.	N 64°41'04" E 59°41'28"	10.07.2006	Цветение
9	с. Гам, Усть-Вымский р-н	N 62°06' E 49°39'	22.06.2006	Цветение
10	там же	то же	25.06.2006	Цветение
11	БС	N 61°37'09" E 50°45'42"	13.06.2007	Бутонизация

Примечания: \* – форма *A. schoenoprasum* f. *Roseum*; \*\* – разновидность *A. schoenoprasum* var. *Major*; \*\*\* – сортовой образец *A. schoenoprasum* cv. *Prazska Krajova*.

держателем 5% соляной кислоты), дающим с ФГ яр-красное окрашивание.

В качестве стандартов для идентификации СГ методами ТСХ и высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) использовали диосгенин (Diosgenin(25R)-5-spirosten-3 $\beta$ -ol, чистота 95%, Sigma-Aldrich Chemie GmbH., Germany), смилагенин (Fluka, USA), ФГ дельтозид и протодиосцин, и СпГ дельтонин, любезно предоставленные д.х.н. В.А.Пасешиченко (Институт биохимии им. А.Н. Баха РАН, г.Москва) и д.б.н. А.М. Носовым (Институт физиологии растений РАН, г. Москва).

Колоночную хроматографию суммы СпГ проводили на адсорбентах силикагель (марка L 100/250, Чехия) и нейтральной окиси алюминия (II степень активности по Брокману, Венгрия) в соотношении 1:2 (по массе). В качестве элюента использовали хлороформ с возрастающим градиентом этанола (от 1 до 50%), затем 96%-ный этанол и бутанол.

ВЭЖХ осуществляли в изократическом режиме на хроматографе Smartline (Knauer, Германия). Анализ генинов, СпГ и ФГ проводили на колонке Диасфер 110-С18, 5 мкм, 4x250 мм (БиоХимМак, Россия), петля дозирования 20 мкл, детектор Smartline 2600 на диодной матрице, детекцию осуществляли на длине волны 207 нм. В качестве элюента для генинов использовали метанол, расход подвижной фазы 1 см<sup>3</sup>/мин. Для ФГ использовали смесь ацетонитрил : вода = 27 : 73 v/v, расход 0,5 см<sup>3</sup>/мин; для СпГ – смесь ацетонитрил – вода – Н<sub>3</sub>Р<sub>4</sub> = 80 : 20 : 0,02 v/v, расход 0,5 см<sup>3</sup>/мин. Углеводы анализировали на колонке Диасорб-130-Амин, 6 мкм, 4x250 мм, рефрактометрический детектор Smartline RI 2300, петля дозирования 20 мкл, элюент ацетонитрил – вода 80 : 20 v/v, расход подвижной фазы 0,7 см<sup>3</sup>/мин. Образцы предварительно очищали методом твердофазной экстракции на патронах ДИАПАК С16 (стероидные гликозиды и генины), ДИАПАК Амин (углеводы). Хроматомасс-спектрометрию осуществляли на приборе «Trace DSQ» (Thermo) в режиме полного ионного тока (TIC) при энергии электронов 70 эВ. Условия определения: программирование температуры термостата колонок 110 °С – 6 °С/мин – 350 °С, кварцевая капиллярная колонка 30 м x 0,32 мм (TR – 1, Thermo), толщина пленки – 0,25 мкм. Газ - носитель – гелий, чистота 99,99 %, скорость потока газа-носителя через колонку – 0,6 см<sup>3</sup>/мин, деление потока – 1:50, температура испарителя 320 °С, детектора – 200 °С. Идентификацию соединений осуществляли с помощью библиотек масс-спектров NJST05.

Для проведения гидролиза сумму СГ помещали в стеклянную ампулу, заливали 5 %-ной серной кислотой, ампулу запаивали и выдерживали в сушильном шкафу при температуре 110 °С в течение 8 час. После охлаждения до комнатной температуры ампулу осторожно вскрывали и содержимое фильтровали через фильтры Шотта. Маточники трижды экстрагировали диэтиловым эфиром. Эфирные вытяжки объединяли, упаривали досуха и

анализировали на содержание генинов с помощью метода ВЭЖХ. Водный остаток нейтрализовали ВаСО<sub>3</sub> и фильтровали через складчатый фильтр [18]. Содержание углеводов в гидролизатах определяли с помощью метода ВЭЖХ.

### Результаты и обсуждение

Многими исследователями было установлено, что в растениях рода *Allium* СГ накапливаются в подземных органах, цветочных корзинах и семенах. Листья и цветоносные побеги в большинстве своем содержат лишь следовые количества гликозидов и сапогенинов [6]. Наибольшее содержание суммы СГ получено из корней, соцветий и бутонов. Полученные нами данные соответствуют этим утверждениям (табл. 2). Максимальное количество суммы СпГ было обнаружено в природных образцах: в корнях обр. 7 с Приполярье Урала, а также в обр. 10 – из окрестностей с. Гам, где ее содержание составило 6,63 и 4,07 % от массы воздушно-сухого сырья соответственно. Относительно высокое содержание суммы в листьях всех образцов, в среднем от 1,42 до 2,49 %, объясняется довольно значительной примесью балластных веществ, к числу которых можно отнести желтые (каротин) и зеленые (хлорофиллы) пигменты.

Анализ ССГ методом ТСХ с использованием хроматографических систем разной полярности (I – IV) и набора различных проявителей показал наличие в разных частях растения от четырех до шести веществ, из которых два можно отнести к СГ фураностанолового типа (табл. 3). В наиболее полярной системе I на пластинках «Sorbfil» в корнях, луковицах и бутонах был обнаружен несвязанный диосгенин ( $R_f = 0,87$ ), спиростаноловый гликозид дельтонин ( $R_f = 0,60$ ) и два гликозида фураностаноловой природы – дельтозид и протодиосцин ( $R_f = 0,27$  и  $0,31$  соответственно). По-видимому, при осаждении СпГ из ССГ происходит частичный захват ФГ, которые были обнаружены при помощи реактива Эрлиха. В покровных чешуях и листьях также выявлен агликон смилагенин. В менее полярной системе III на пластинках фирмы «Merck» получены аналогичные результаты. Во всех частях растения обнаружены несвязанный диосгенин и дельтонин, а также неидентифицированные вещества с  $R_f = 0,60$  и  $0,53$ , в покровных чешуях и бутонах – вещество с  $R_f = 0,58$ . В корнях, соцветиях и семенах культивируемого растения *A. schoenoprasum* методом ВЭЖХ установлен спиростаноловый гликозид дельтонин, ранее найденный в луковицах растения *A. vineale* L. [19]. В корнях, луковицах и листьях, кроме того, было обнаружено неидентифицированное вещество со временем удерживания  $t_R = 8'36''$ , названное нами сапонин А, структура которого устанавливается (табл. 4). В листьях и покровных чешуях идентифицирован диосгенин.

Одним из методов, позволяющих определить структуру стероидных гликозидов, является кислотный гидролиз, при котором образуются генин и моносахариды углеводной части молекулы. В эфир-

Таблица 2

*Доля суммы экстрактивных веществ, содержащих спиростаноловые (в числителе) и фураностаноловые (в знаменателе) гликозиды, в A. schoenoprasum (% от сухой массы)*

Часть растения	Номер образца										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Корни	<u>3,07</u> 2,07	<u>0,88</u> 2,63	<u>0,96</u> 0,69	<u>0,93</u> 0,86	<u>0,93</u> 4,26	<u>0,58</u> 4,68	<u>6,63</u> 2,42	<u>1,60</u> 2,15	— —	<u>1,07</u> 1,68	<u>0,34</u> —
Луковицы	<u>1,79</u> 0,89	<u>0,31</u> 1,06	<u>0,57</u> 0,80	<u>1,83</u> 3,26	<u>1,23</u> 1,74	<u>0,55</u> 4,60	<u>1,56</u> 2,58	<u>0,79</u> 1,49	— —	<u>4,07</u> 1,65	<u>0,80</u> —
Покровные чешуи	<u>0,55</u> 0,96	<u>0,49</u> 0,60	<u>0,49</u> 0,54	<u>0,63</u> 0,30	— —	<u>1,60</u> 1,95	<u>0,59</u> 0,74	<u>0,60</u> 0,74	— —	<u>0,95</u> 0,48	<u>0,31</u> —
Листья	<u>2,00</u> 2,06	<u>0,37</u> 1,33	<u>1,42</u> 2,14	<u>2,32</u> 1,85	<u>2,00</u> 3,41	<u>1,46</u> 2,86	<u>2,40</u> 3,24	<u>1,95</u> 3,18	— —	<u>1,29</u> 2,25	<u>2,40</u> —
Бутоны	— —	<u>1,53</u> 3,62	<u>0,86</u> 3,94	<u>0,78</u> 3,47	<u>0,30</u> 5,49	<u>2,20</u> —	— —	<u>2,66</u> —	— —	— —	<u>0,64</u> —
Соцветия	— —	<u>2,24</u> 3,32	— —	<u>2,15</u> 4,17	<u>2,50</u> 7,12	<u>0,74</u> 1,10	— —	— 6,23	<u>1,19</u> 5,11	<u>2,32</u> 5,84	— —
Семена	— —	<u>0,87</u> 0,82	— —	<u>0,58</u> 1,12	<u>0,33</u> 0,42	<u>4,43</u> 0,09	— —	— —	— —	— —	— —

Примечание: прочерк – экстракция не проводилась.

Таблица 3

*ТСХ – анализ суммы стероидных гликозидов в разных частях лука A. schoenoprasum*

Анализируемый образец	Коэффициенты подвижности, R <sub>f</sub>	
	Система I, Sorbfil	Система III, Мерск
Стандарты:		
Смилагенин	0,90	0,70
Диосгенин	0,87	0,68
Дельтонин	0,60	0,28
Протодиосцин	0,31	—
Дельтозид	0,27	—
Корни	0,88	0,68
	0,81	0,60
	0,59	0,53
	0,30	0,48
	0,26	0,41
	0,18	0,15
Луковицы	0,87	0,68
	0,85	0,60
	0,64	0,53
	0,27	0,28
	0,18	—
Покровные чешуи	0,90	0,68
	0,82	0,60
	0,60	0,58
	0,31	0,28
	0,25	—
	0,18	—
Листья	0,89	0,68
	0,85	0,60
	0,65	0,53
	0,44	0,28
	0,27	0,19
	0,19	—
Бутоны	0,86	0,68
	0,85	0,60
	0,63	0,58
	—	0,28

Таблица 4

*Результаты ВЭЖХ-анализа суммы спиростаноловых гликозидов различных частей лука A. schoenoprasum (время удерживания t<sub>R</sub>, мин·сек<sup>''</sup>)*

Компоненты	Корни	Луковицы	Покровные чешуи	Листья	Семена
НВ	2'74"	2'67"	2'74"	—	—
НВ	3'13"	—	—	3'07"	—
НВ	—	—	5'24"	—	—
Дельтонин	6'48"	—	—	—	6'51"
НВ	—	—	—	—	8'75"
Сапонин А	8'36"	8'36"	—	8'34"	—
НВ	—	—	9'14"	—	—

НВ – неидентифицированное вещество.

ных экстрактах гидролизатов после кислотного гидролиза суммы СпГ методами ТСХ и ВЭЖХ обнаружен диосгенин, что было подтверждено методом газо-жидкостной хроматографии с совмещенным масс-спектрометрическим детектором. Масс-спектр вещества со временем удерживания, совпадающим с диосгенином (EI, 70 эВ) m/z (I<sub>rel</sub>, %): 414 (M<sup>+</sup>, 3), 355 (3), 342 (7,5), 300 (13,4), 282 (41), 271 (17,2), 253 (7,5), 159 (8,2), 145 (9), 139 (100), 121 (11,6), 115 (19,4), 105 (13,4), 91 (14,2), 79 (13,4), 69 (30,6), 55 (20,9), где пику со значением m/z = 414 соответствует молекулярный ион M<sup>+</sup> диосгенина. Это подтверждается сравнением полученных показателей с данными базы спектров библиотеки NJST05.

Анализ водного раствора гидролизата с помощью метода ВЭЖХ позволил обнаружить два

пики, соответствующие L-рамнозе с  $t_R = 7'47''$  и D-глюкозе с  $t_R = 14'58''$  в соотношении 2:1, что характерно для СпГ.

Из водных маточников после отделения центрифугированием суммы СпГ экстракцией бутанолом-1 была выделена СЭВ, содержащая ФГ. Количественное содержание СЭВ ФГ, представленное в табл. 2, находится в диапазоне от 0,02 до 7,12 % от воздушно-сухого сырья. Наибольший выход суммы получен из бутонов (3,6–5,49 %) и соцветий (3,32–7,12 %) всех образцов. Довольно высокое содержание СЭВ ФГ установлено в корнях, где их количество колеблется от 0,69 до 4,68 %. Из литературных источников [3] известно, что наличие ФГ характерно для наземных ассимилирующих органов растений – листьев и стеблей. Согласно нашим данным, листья исследуемых образцов не отличались высоким содержанием ФГ, а в семенах их доля была самой незначительной. Возможно, высокие значения для СЭВ ФГ, особенно из бутонов и соцветий, можно объяснить наличием извлекающихся одновременно водно-спиртовыми смесями сахаристых веществ. При упаривании экстрактов наблюдалась карамелизация сухого остатка, что указывает на присутствие в них углеводов.

Очистка СЭВ ФГ от примесей и получение очищенной суммы ФГ проводилась гель-фильтрацией на сефадексе G-25. Полученные после гел-хроматографии фракции анализировали на содержание ФГ методом ТСХ на пластинах "Sorbfil" с использованием системы I. Обнаружено четыре пятна с  $R_f = 0,11$ ;  $R_f = 0,27$ ;  $R_f = 0,45$ ;  $R_f = 0,70$ . По хроматографической подвижности вещество с  $R_f = 0,27$  соответствует дельтозиду.

Методом ВЭЖХ были обнаружены два гликозида фураностаноловой природы – дельтозид ( $t_R = 13'12''$ ) и протодиосцин ( $t_R = 14'22''$ ).

Дельтозид и выделенный вместе с ним из корневищ и культуры клеток *D. deltoidea* дельтонин имеют одинаковое строение гликозидного остатка у третьего углеродного атома С3. К С26 в молекуле дельтозида присоединена молекула D-глюкозы. Второй фураностаноловый сапонин – протодиосцин, ранее выделенный из листьев и культуры клеток диоскореи [3], подобно дельтозиду, является производным (25R)-фураност-5-ен-3 $\beta$ ,22,26-триола, у которого к гидроксильной группе при С26 присоединена молекула D-глюкозы, а углеводная часть у С3 состоит из молекулы D-глюкозы и двух молекул L-рамнозы [1, 3].

### Выводы

Впервые из разных частей шнитт-лука *A. schoenoprasum* L. выделена сумма стероидных гликозидов, содержащая вещества спиростаноловой и фураностаноловой природы. Показано, что генином СГ является диосгенин, который обнаружен как в несвязанном состоянии, так и в продуктах гидролиза суммы стероидных гликозидов. Использование различных хроматографических методов (ТСХ, ВЭЖХ, хроматомасс-спектрометрия) и ИК-спектро-

скопии позволило идентифицировать СпГ дельтонин, а также два ранее выделенных из других растений фураностаноловых гликозида – дельтозид и протодиосцин.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований УрО РАН, проект № 12-П-4-1023.

### Литература

1. Кинтя П.К., Лазурьевский Г.В. Стероидные гликозиды ряда спиростана. Кишинев: Штиинца, 1979. 149 с.
2. Овчинников Ю.А. Биоорганическая химия. М.: Просвещение, 1987. 815 с.
3. Васильева И.С., Пасешниченко В.А. Стероидные гликозиды растений и культуры клеток диоскореи, их метаболизм и биологическая активность // Успехи биологической химии. 2000. Т. 40. С. 153–204.
4. Иоффе Д.В. Природные соединения с анти-склеротическими свойствами // Химия природ. соед. 1984. Т. 2. № 1. С. 275–282.
5. Marker R.E., Wagner R.B., Ulshafer P.R. et al. Sterols. CLVII. Sapogenins. LXIX. Isolation and structures of thirteen new steroidal sapogenins. New sources for known sapogenins // J. Amer. Chem. Soc. 1943. Vol. 65. No. 3. P. 1196–1209.
6. Кравец С.Д., Воллернер Ю.С., Горвиц М.Б., Абубакиров Н.К. Стероиды ряда спиростана и фураностана из растений рода *Allium* // Химия природ. соед. 1990. № 4. С. 429–443.
7. Толкачева Н.В., Гришкова В.И., Зайцев Г.П., Туров А.В. Строение и биологическая активность основного стероидного гликозида листьев *Allium paniculatum* (Alliaceae) // Раст. ресурсы. 2012. Т. 48. Вып. 1. С. 118–126 а.
8. Толкачева Н.В., Шашков А.С., Чупра В.Я. Стероидные гликозиды луковиц *Allium cyrillii* // Химия природ. соед. 2012. № 2. С. 243–246 б.
9. Barile E., Bonanomi G., Antignani V. et al. Saponins from *Allium minutiflorum* with antifungal activity // Phytochemistry. 2007. Vol. 68. P. 596–603.
10. Jabrane A., Jannet H.B., Miyamoto T. et al. Spirostane and cholestane glycosides from the bulbs of *Allium nigrum* L. // Food Chemistry. 2011. Vol. 125. № 2. P. 447–455.
11. Kawashima K., Mimaki Y., Sashida Y. Steroidal saponins from the bulbs of *Allium schubertii* // Phytochemistry. 1993. Vol. 32. No. 5. P. 1267–1272.
12. Lai W., Wu Z., Lin H. et al. Anti-ischemia Steroidal Saponins from the Seeds of *Allium fistulosum* // J. Nat. Prod. 2010. Vol. 73. N. 6. P. 1053–1057.
13. Lanzotti V. Bioactive saponins from *Allium* and *Aster* plants // Phytochem. Rev. 2005. Vol. 4. No. 3–4. P. 95–110.
14. Mskhiladze L., Legault J., Lavoie S. et al. Cytotoxic Steroidal Saponins from the Flowers of *Allium leucanthum* // Molecules. 2008. Vol. 13. P. 2925–2934.

15. *Ширшова Т.И., Волкова Г.А.* Содержание стероидных гликозидов и нейтральных липидов у некоторых видов рода *Allium* (Alliaceae) // Раст. ресурсы. 2006. Т. 42. Вып. 3. С. 59–66.
16. *Joly R., Bonner J., Bennett R. et al.* The biosynthesis of steroidal saponinins in *Dioscorea floeibunda* from labelled cholesterol // Phytochem. 1969. Vol. 8. P. 1445–1448.
17. *Пасешниченко В.А., Гусева А.Р.* Выделение и свойства сапонинов из корневищ *Dioscorea deltoidea* Wall // Прикл. биохим. и микробиол. 1975. Т. 11. № 1. С. 94–101.
18. *Кинтя П.К., Перепелица Э.Д., Чирва В.Я., Крецу Л.Г.* Гликозиды *Tribulus terrestris* // Хим. природ. соед. 1972. № 4. С. 475–477.
19. *Chen S., Snyder J.K.* Molluscicidal saponins from *Allium vineale* // Tetrahedron Lett. 1987. Vol. 28. No. 46. P. 5603–5606.

Статья поступила в редакцию 21.01.2013

УДК 612.172.4

## ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ СЕРДЦА В ПЕРИОД ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ ЖЕЛУДОЧКОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ТЕЛА КРЫС В ТЕЧЕНИЕ РАННЕГО ПОСТНАТАЛЬНОГО ОНТОГЕНЕЗА

А.А. РАСПУТИНА, И.М. РОЩЕВСКАЯ

*Лаборатория сравнительной кардиологии, Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар*

[a.rasputina@cardio.komisc.ru](mailto:a.rasputina@cardio.komisc.ru)

Исследовано электрическое поле сердца на поверхности тела крыс линии Вистар в период начальной желудочковой активности в течение раннего постнатального онтогенеза. Установлена однотипность динамики пространственного расположения зон положительного и отрицательного кардиоэлектрических потенциалов на поверхности тела крыс в возрасте от одних до 30 суток постнатального развития. На основании пространственной динамики электрического поля сердца на поверхности тела крыс разного возраста выделены три этапа начальной желудочковой активности, длительности которых изменяются неодинаково в течение раннего постнатального онтогенеза.

**Ключевые слова:** ранний постнатальный онтогенез, электрическое поле сердца, деполяризация желудочков сердца, крысы

## A.A. RASPUTINA, I.M. ROSHCHEVSKAYA. CARDIAC ELECTRIC FIELD DURING VENTRICULAR DEPOLARIZATION ON THE BODY SURFACE OF RATS IN THE EARLY POSTNATAL ONTOGENESIS

Cardiac electric field during ventricular depolarization was studied on the body surface of Wistar rats. Uniformity of dynamics of spatial distribution of the areas of positive and negative cardioelectric potentials on the body surface of rats aged from 1 to 30 days was revealed. On the basis of spatial dynamics of the body surface cardiac electric field three stages of initial ventricular activity were determined which durations changed differently during the early postnatal ontogenesis.

**Key words:** early postnatal ontogenesis, cardiac electric field, ventricular depolarization, rats

В период раннего постнатального онтогенеза происходит морфологическое и физиологическое развитие организма. Наиболее ярко физиологическая адаптация организма в связи с переходом в новые условия среды отмечена у незрелорождающих животных, к которым относятся крысы. В раннем постнатальном онтогенезе незрелорождающих животных выделяют несколько критических периодов: рождение, новорожденность (ранний молочный период) – первая неделя после рождения, открытие глаз – на 14–20-й день после рождения, переход на самостоятельное питание (поздний молочный период) – осуществляется в течение третьей – начале четвертой недели, полная эмансипация от матери – в возрасте одного месяца; ранний постнатальный период развития крыс соответствует первому месяцу жизни [1, 2].

При рождении у крыс происходит становление легочного дыхания, в результате чего уменьшается сопротивление легочных сосудов, в течение первых трех суток постнатального онтогенеза закрываются овальное окно и артериальный проток [3]. Морфофизиологические перестройки организма

приводят к увеличению функциональной нагрузки на оба желудочка сердца, в большей степени – на левый [4]. В результате за счет гиперплазии и гипертрофии кардиомиоцитов в течение трех–четырех недель после рождения наблюдается увеличение толщины стенок левого желудочка в три, правого желудочка – в полтора раза [5, 6]. Соотношение массы левого желудочка к массе правого изменяется от 1:1 у однодневных крыс и до 2:1 – у шестимесячных животных [7].

Морфофункциональные перестройки миокарда, происходящие в период постнатального онтогенеза, находят отражение в электрической активности сердца крыс: с возрастом от одних до 53 суток после рождения отмечается сдвиг векторной петли векторкардиограммы влево, постепенное удлинение интервала QRS электрокардиограммы [8]. Выявлены существенные отличия во временной динамике электрического поля сердца на поверхности тела однодневных крыс в период начальной желудочковой активности по сравнению со взрослыми животными [9].

Анализ пространственно-временной динамики электрического поля сердца на поверхности тела крыс в возрасте от одних до 30 суток позволит выявить закономерности формирования электрической активности миокарда желудочков в онтогенезе.

### Материалы и методы

Исследовали электрическое поле сердца в период начальной желудочковой активности на поверхности тела крыс линии Вистар в возрасте одних ( $n=29$ ), семи ( $n=26$ ), 17 ( $n=18$ ) и 30 ( $n=11$ ) суток. Наркотизированные эфиром (капельно) или уретаном (1,5 г/кг, внутримышечно) животные находились в положении лежа на спине.

Регистрацию кардиоэлектрических потенциалов осуществляли при помощи автоматизированной системы от 32 подкожных игольчатых электродов, равномерно распределенных на поверхности грудной клетки животного (рис. 1, А). Пространственно-временную динамику электрического поля сердца анализировали по эквипотенциальным моментным картам (рис. 1, Б), построенным с помощью оригинального программного обеспечения [10]. Синхронно с униполярными кардиопотенциалами на поверхности тела регистрировали ЭКГ в отведениях от конечностей. Временные значения указывали в

мс относительно пика зубца  $R_{II}$  на ЭКГ во втором отведении (до пика  $R_{II}$  – со знаком минус). Цифровые значения представлены в виде среднего  $\pm$  стандартное отклонение. Достоверность различий оценивали с помощью непараметрического критерия Манна-Уитни для независимых выборок.

### Результаты исследований

Электрическое поле сердца в период начальной желудочковой активности формируется на поверхности тела крыс в возрасте от одних до 30 суток за 5 – 9,5 мс до пика зубца  $R_{II}$ , при этом области положительного и отрицательного кардиопотенциалов могут взаимно располагаться в дорсо-вентральном или кранио-каудальном направлении (рис. 2, 1).

В период деполяризации желудочков зоны положительного и отрицательного кардиоэлектрических потенциалов у крыс всех возрастных групп изменяют свое положение на поверхности тела дважды, т.е. происходят две инверсии взаимного расположения кардиопотенциалов.

У крыс всех возрастных групп первая инверсия взаимного расположения областей кардиоэлектрических потенциалов на поверхности тела наблюдается в период восходящей фазы зубца  $R_{II}$ . В результате первой инверсии устанавливается кра-

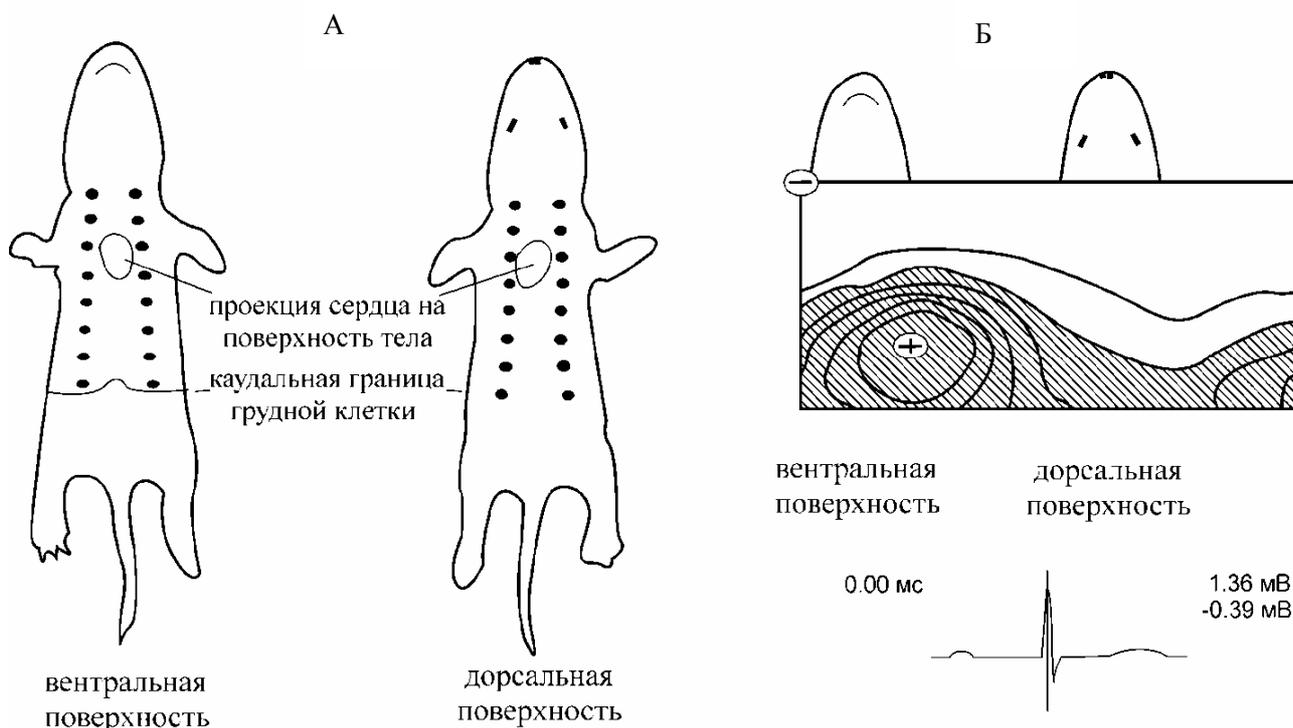


Рис. 1. Схема расположения электродов (А) и эквипотенциальная моментная карта на поверхности тела крысы в момент пика зубца  $R_{II}$  (Б).

На карте изображены зоны положительного (заштрихована) и отрицательного кардиоэлектрических потенциалов с локализацией экстремумов (знаки «+» и «-») в момент времени, указанный цифровым значением и в виде маркера на ЭКГ под картой. Пик зубца  $R_{II}$  принимается за 0 мс, значения времени до пика  $R_{II}$  указываются со знаком «-», после – без знака. Под картой представлены максимальные значения амплитуд положительного и отрицательного экстремумов в указанный момент времени. Шаг изолиний равен 0,1 мВ.

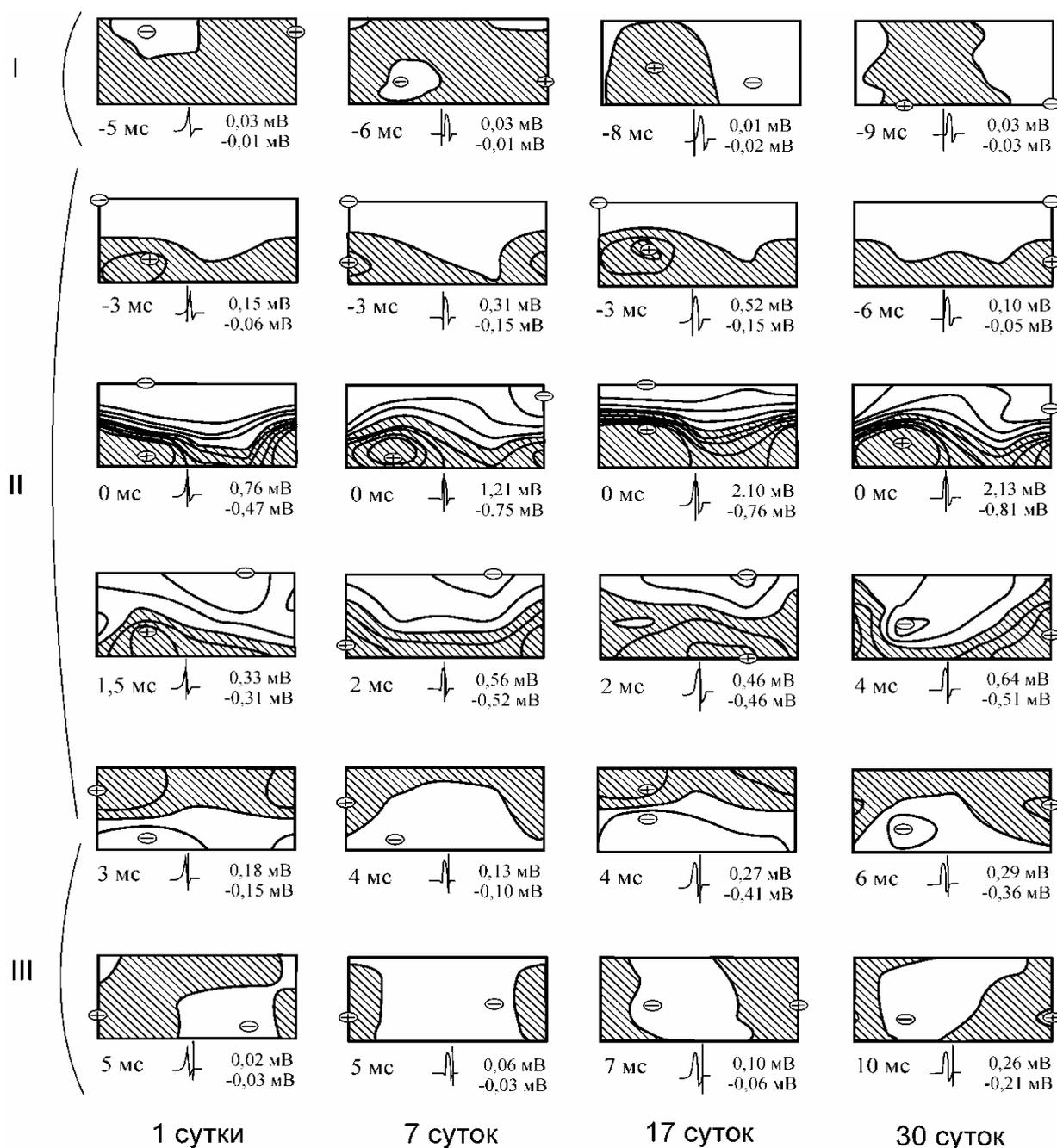


Рис. 2. Эквипотенциальные моментные карты на поверхности тела крыс в возрасте 1 (крыса №8), 7 (№77), 17 (№99) и 30 (№139) суток в период деполяризации желудочков. I – начальный, II – средний, III – конечный этапы деполяризации. Обозначения те же, что и на рис. 1.

ниальное расположение зоны электронегативности и каудальное – в области положительного потенциала (рис. 2, II). У однодневных крыс первая инверсия заканчивается на  $2,5 \pm 1,2$  мс, у недельных животных – на  $2,9 \pm 1$  мс, у 17-дневных крыс – на  $3,6 \pm 0,7$  мс, у крыс в возрасте одного месяца – на  $5,59 \pm 1,2$  мс до пика зубца  $R_{II}$  ( $p < 0,05$ ).

От завершения первой инверсии до начала второй пространственное расположение областей положительного и отрицательного кардиоэлектри-

ческих потенциалов и экстремумов кардиопотенциала не изменяется.

Второе смещение зон кардиоэлектрических потенциалов на поверхности тела начинается в период нисходящей фазы зубца  $R_{II}$  (на  $0,5$ – $0,9$  мс после пика зубца  $R_{II}$ ) и заканчивается на восходящей фазе зубца  $S_{II}$  (на  $3,3$ – $4,8$  мс после пика зубца  $R_{II}$ ) (рис. 2, III) установлением краниального расположения положительной и каудального отрицательной областей. Через 2–4 мс после окончания

второй инверсии процесс деполяризации желудочков сердца завершается, что отражается нестабильным расположением зон кардиоэлектрических потенциалов на поверхности тела.

Электрическое поле сердца на поверхности тела взрослых крыс в период начальной желудочковой активности характеризуется наличием двух инверсий взаимного распределения кардиопотенциалов [11]. Деполяризация желудочков сердца происходит по последовательному типу [12]. Проведенные исследования показали, что пространственная динамика расположения областей электрических потенциалов сердца крыс в возрасте от одних до 30 суток сохраняется неизменной и аналогична таковой у взрослых животных, что свидетельствует об однотипном характере последовательности возбуждения основной массы миокарда желудочков сердца крыс в течение всего периода постнатальной жизни.

На основании пространственной динамики электрического поля сердца на поверхности тела крыс нами выделены три этапа деполяризации желудочков сердца: начальный – от момента формирования электрического поля сердца до завершения первой инверсии взаимного расположения кардиоэлектрических потенциалов (рис. 2, I), средний – от завершения первой инверсии до окончания второй (рис. 2, II) и конечный – от окончания второй инверсии до момента времени, когда на поверхности тела наблюдали нестабильное расположение зон положительного и отрицательного кардиоэлектрических потенциалов (рис. 2, III).

Длительность начального этапа деполяризации желудочков сердца существенно не отличается у крыс с возрастом от одних до 30 суток и составляет 3–4 мс, длительность среднего этапа достоверно ( $p < 0,05$ ) увеличивается с возрастом от одних до 30 суток от  $5,7 \pm 1,4$  до  $10,4 \pm 1,1$  мс, а длительность конечного этапа – в возрасте от одних до 17 суток от  $1,9 \pm 0,8$  до  $3,7 \pm 1,3$  мс (рис. 3). Длительность начальной желудочковой активности возрастает в период раннего постнатального развития от

$11,1 \pm 0,9$  у однодневных крыс и до  $16,1 \pm 1,6$  мс – у животных в возрасте 30 суток ( $p < 0,05$ ).

Ранее было показано, что первая инверсия взаимного расположения кардиопотенциалов на поверхности тела свидетельствует об изменении направления распространения волны возбуждения в толще сердца – началом активации субэпикарда желудочков [11]. В течение начального этапа деполяризации желудочков сердца крыс волна возбуждения распространяется преимущественно по проводящей системе и затем по рабочим кардиомиоцитам от эндокарда к эпикарду. В течение среднего этапа деполяризации возбуждаются основная масса миокарда и большая часть субэпикарда желудочков сердца взрослых крыс, в течение конечного этапа – основание левого желудочка [11–13].

Проводящая система желудочков сердца взрослых крыс представлена правым и левым пучками Гиса и волокнами Пуркинье, которые располагаются в мышечных трабекулах желудочков и примыкают к рабочим кардиомиоцитам в эндокарде [14]. Грызуны рождаются с функционально зрелой проводящей системой Гиса – Пуркинье [15], поэтому, вероятно, длительность начального этапа деполяризации желудочков сердца крыс в период раннего постнатального развития существенно не изменяется.

Количество и размеры рабочих кардиомиоцитов увеличиваются в течение раннего постнатального онтогенеза: в течение первых трех – шести суток после рождения происходит гиперплазия рабочих кардиомиоцитов желудочков сердца крыс [16, 17], затем в период последующего постнатального развития – их гипертрофия [18, 19], и как следствие – увеличение массы и толщины стенок желудочков [20]. Одновременно с этим изменяется характер распределения щелевых контактов кардиомиоцитов: в желудочковых миоцитах новорожденных крыс щелевые контакты равномерно распределены по всему периметру клетки, тогда как в кардиомиоцитах взрослых крыс они располагаются исключительно на концах клетки [21]. Это приводит к увеличению продольной скорости распространения волны

возбуждения по рабочему миокарду желудочков сердца в течение постнатального онтогенеза [22]. Увеличение длительности деполяризации основной массы желудочков сердца крыс в течение постнатального онтогенеза связано, вероятно, с морфологическим ростом и развитием сердца, что отражается на кардиоэлектрическом поле на поверхности тела в виде увеличения длительностей среднего и конечного этапов деполяризации крыс с возрастом от одного до 30 дней.

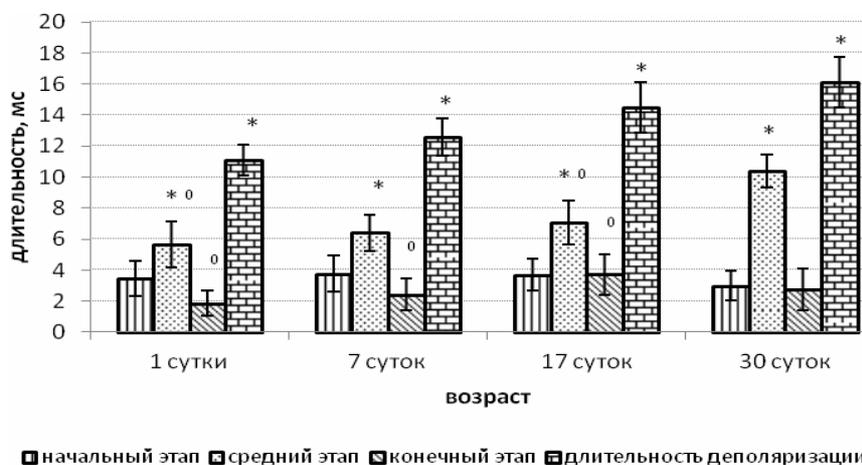


Рис. 3. Длительности этапов деполяризации желудочков сердца крыс в возрасте от одних до 30 суток.

\* Достоверно по сравнению с крысами в возрасте 30 суток ( $p < 0,0001$ ), <sup>0</sup> – в возрасте 17 суток ( $p < 0,05$ ).

### Заключение

В течение раннего постнатального развития пространственная динамика смещения областей кардиоэлектрических потенциалов на поверхности тела крыс в период деполяризации желудочков сердца сохраняется неизменной. Длительности выделенных нами трех этапов деполяризации желудочков сердца крыс с возрастом изменяются не одинаково: начального – не изменяется, среднего и конечного – увеличивается. Выявленные параметры пространственно-временной динамики электрического поля сердца на поверхности тела отражают морфологическое развитие и электрофизиологические изменения желудочков сердца крыс, происходящие в период раннего постнатального онтогенеза.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Программы совместных исследований УрО РАН и СО РАН проект № 12-С-4-1037 "Исследование генетико-физиологических механизмов формирования артериальной гипертензии".*

### Литература

1. Аршавский И.А. Основы возрастной периодизации // Возрастная физиология. Сер. Руководство по физиологии / Под ред. В.Н. Черниговского, Н.П. Бехтеревой. Л.: Наука, 1975. С. 5–67.
2. Махинько В.И., Никитин В.Н. Константы роста и функциональные периоды развития в постнатальной жизни белых крыс // Молекулярные и физиологические механизмы возрастного развития / Под ред. В.Н. Никитина. Киев: Наукова думка, 1975. С. 308–326.
3. Anversa P., Olivetti G., Loud A. Morphometric study of early postnatal development in the left and right ventricular myocardium of the rat // Circ. Res. 1980. Vol. 46. № 4. P. 495–502.
4. Spekhorst H., Groenewegen A.S., Wilensky R.L., Spaans R. Evolution of body surface potentials in the healthy newborn during the first week of life // Electrocardiographic body surface mapping / R. Th. Van Dam, A. Van Oosterom, eds. Martinus Nijhoff Publishers, 1986. P. 19–42.
5. Li F., Wang X., Capasso J.M. et al. Rapid transition of cardiac myocytes from hyperplasia to hypertrophy during postnatal development // J. Mol. Cell. Cardiol. 1996. Vol. 22. № 8. P. 1737–1746.
6. Sedmera D., Thompson R.P., Kolar F. Effect of increased pressure loading on heart growth in neonatal rats // J. Moll. Cell. Cardiol. 2003. Vol. 35. P. 301–309.
7. Гнатюк М.С. Количественная оценка разных отделов сердца молодых и старых белых крыс // Архив анатомии, гистологии и эмбриологии. 1983. Т. 84. № 5. С. 33–36.
8. Diez U., Schwartz H. Quantitative electrocardiography and vectorcardiography in postnatally developing rats // J. Electrocardiol. 1991. Vol. 24. № 1. P. 53–62.
9. Роцевский М.П., Юркова (Распутина) А.А., Роцевская И.М. Динамика кардиоэлектрического поля на поверхности тела однодневных крыс // Доклады Академии наук. 2006. Т. 410. № 4. С. 571–573.
10. Роцевский М.П., Артеева Н.В., Коломеец Н.Л. и др. Система «Кардиоинформ» для визуализации и анализа кардиоэлектрического поля // Мед. акад. журн. 2005. Т. 5. № 3. С. 74–79.
11. Роцевская И.М. Кардиоэлектрическое поле теплокровных животных и человека. СПб.: Наука, 2008. 250 с.
12. Roshchevskaya I.M. Representation of subepicardial heart ventricle depolarization sequence on the body surface // J. Electrocardiol. 1989. Vol. 22. № 3. P. 247.
13. Роцевский М.П., Роцевская И.М. Эволюционная электрокардиология: от электрокардиографии к созданию основ будущей электрокардиотомографии // Мед. акад. журн. 2005. Т. 5. № 2. С. 33–46.
14. Ono N., Yamaguchi T., Ishikawa H. et al. Morphological varieties of the Purkinje fiber network in mammalian hearts, as revealed by light and electron microscopy // Arch. Histol. Cytol. 2009. Vol. 72. № 3. P. 139–149.
15. Rentschler S., Vaidya D.M., Tamaddon H. et al. Visualization and functional characterization of the developing murine cardiac conduction system // Development. 2001. Vol.128. № 10. P. 1785–1792.
16. Kajstura J., Mansukhani M., Cheng W. et al. Programmed cell death and expression of the protooncogene bcl-2 in myocytes during postnatal maturation of the heart // Exp. Cell. Res. 1995. Vol. 219. № 1. P. 110–121.
17. Hudlicka O., Brown M.D. Postnatal growth of the heart and its blood vessels // J. Vasc. Res. 1996. Vol. 33. P. 266–287.
18. Gomes P.A.P., Galvao K.M., Mateus E.F. Excitability of isolated hearts from rats during postnatal development // J. Cardiovasc. Electrophysiol. 2002. Vol. 13. P. 355–360.
19. Guo W., Kamiya K., Kodama I. et al. Cell cycle-related changes in the voltage-gated Ca<sup>2+</sup> currents in cultured newborn rat ventricular myocytes // J. Mol. Cell. Cardiol. 1998. Vol. 30. P. 1095–1103.
20. Momma K., Ito T., Ando M. In situ morphology of the foramen ovale in the fetal and neonatal rat // Pediatr. Res. 1992. Vol. 32. P. 669–672.
21. Gourdie R.G., Green C.R., Severs N.J., Thompson R.P. Immunolabeling patterns of gap junction connexins in the developing and mature rat heart // Anat. Embryol. 1992. Vol. 185. P. 363–378.
22. Spach M.S., Heidlage J.F., Dolber P.C., Barr R.C. Electrophysiological effects of remodeling cardiac gap junctions and cell size: experimental and model studies of normal cardiac growth // Circ. Res. 2000. Vol. 86. P. 302–311.

Статья поступила в редакцию 05.12.2012

УДК 612.172

## **ВЛИЯНИЕ ANTIORTOSTATICHESKOY GIPOKINEZII NA POSLEDOVATEL'NOST' DEPOLYARIZACII, REPOLYARIZACII MIOKARDA I GEMODINAMICHESKIE POказATEЛИ SERDCA SOBAKI**

**С.В. АХМЕТЗЯНОВА\***, **Н.А. КИБЛЕР\*\***, **В.П. НУЖНЫЙ\*\*\***, **Д.Н. ШМАКОВ\*\***, **Н.В. АРТЕЕВА\*\***

*\*Коми филиал Государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Кировская государственная медицинская академия», г. Сыктывкар*

*\*\* Институт физиологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар  
[as203.79@mail.ru](mailto:as203.79@mail.ru)*

Электрофизиологические свойства и гемодинамика сердца изучены на наркотизированных взрослых собаках (n=12) в условиях антиортостатической гипокинезии. Выявлены разнонаправленные изменения в электрофизиологических свойствах слоев и областей миокарда. Установлена зависимость последовательности реполяризации от последовательности активации миокарда желудочков. Предположено, что в основе механизмов, участвующих в формировании физиологических реакций при антиортостатической гипокинезии, лежит упрощение функций системы сердца.

**Ключевые слова:** антиортостатическая гипокинезия, деполяризация, реполяризация, сердечная гемодинамика, внутрижелудочковое давление

**S.V. AKHMETZYANOVA, N.A. KIBLER, V.P. NUZHNY, N.V. ARTEEVA, D.N. SHMAKOV. EFFECTS OF ANTIORTHOSTATIC HYPOKINESIA ON THE SEQUENCE OF THE MYOCARDIAL DEPOLARIZATION AND REPOLARIZATION OF VENTRICLES AND HEMODYNAMIC INDICES OF THE HEART IN DOG**

Electrophysiological properties and hemodynamics of heart were studied in 12 adult anaesthetized dogs in conditions of antiorthostatic hypokinesia. Differently directed changes in electrophysiological properties of layers and myocardium areas are revealed. Dependence of the sequence of repolarization from the sequence of activation of the ventricular myocardium is established. It is assumed that simplification of functions of the heart system is in the basis of the mechanisms participating in formation of physiological reactions under ANOH.

**Key words:** cardiac hemodynamics, antiorthostatic hypokinesia, ventricular pressure, depolarization, repolarization, dog

Антиортостатическая гипокинезия (АНОГ) моделирует один из основных физиологических эффектов невесомости – перераспределение жидких сред в краниальном направлении. Следствием их перемещения является каскад реакций со стороны физиологических систем организма, особое значение в развитии которых принадлежит изменениям функциональной деятельности сердца [1, 2]. Если в процессе филогенеза и онтогенеза к ортостатической позе вырабатываются адаптивные механизмы, то при АНОГ последние отличаются от критериев физиологической нормы [3]. В организме нарушается принцип субординации и функционального взаимодействия физиологических систем. Причины, влияющие на функционирование сердца при АНОГ, – мультифакторны, а их механизмы сложны и изучены недостаточно [4]. Инверсия гидростатического градиента давления и возрастание объема циркулирующей крови в краниальном направлении при АНОГ вызывают противоположные ортостати-

ческому положению сдвиги кровообращения [5], определяют потерю устойчивости исходного состояния системы сердца как фазового перехода к новому равновесному состоянию на основе структурной и функциональной перестройки миокарда [6, 7]. В ряде исследований [8, 9] установлены противоположные результаты в динамике изменений объемов полостей сердца, центрального венозного давления, сердечного выброса в начальном периоде невесомости. Выявляются также разнонаправленные изменения зубца Т комплекса ЭКГ, механизмы формирования которого остаются малоизученными и не могут быть объяснены только с позиции гемодинамической перегрузки сердца [10]. Электрофизиологические свойства миокарда гетерогенны и изменения дисперсии реполяризации могут быть причиной нарушения функциональной деятельности сердца [11].

В настоящее время не изучены электрофизиологические процессы в интрамуральных слоях

желудочков и их взаимосвязь с сократительной функцией во время АНОГ и не выяснена особенность функциональной деятельности сердца в переходном периоде (начало воздействия) АНОГ.

Актуальными для теории и практики космической физиологии и клинической медицины являются фундаментальные исследования физиологических механизмов деятельности сердца при АНОГ для понимания эволюционно-адаптивных системных реакций, переводящих функционирование сердца на качественно новый структурно-организационный уровень, в пределах которых сохраняется эффективность его работы.

Цель данной работы – изучение и выявление закономерности изменений во времени и в структуре миокарда процессов деполяризации и реполяризации при АНОГ, а также их связи с сократительной функцией сердца.

### Материалы и методы

Экспериментальная часть работы выполнена на 12 взрослых беспородных собаках обоего пола, массой тела  $30 \pm 5$  кг (в соответствии с международными правилами обращения с экспериментальными животными Guide for the Care and Use of Laboratory Animals – публикация US National Institutes of Health: NIH Publication № 85-23, ред. 1996). Собак наркотизировали золетилом (15 мг/кг внутримышечно), фиксировали в положении лежа на спине на специальном устройстве, позволяющем создавать АНОГ. После вскрытия грудной клетки температуру тела животного во время эксперимента поддерживали на уровне  $37-38^\circ\text{C}$ .

С помощью гемодинамической установки Prucka Mac-Lab 2000 (GE Medical System, GmbH) производили инвазивный контроль сатурации гемоглобина кислородом, температуры в полости сердца, регистрировали давление в левом желудочке (ЛЖ) и аорте. Изучали гемодинамические показатели: максимальное систолическое (МСДЛЖ), конечно-диастолическое давление в ЛЖ и среднее давление в аорте ( $P_{\text{ср}}$ ), а также максимальную скорость повышения давления ( $dP/dt_{\text{max}}$ ) и падения давления ( $dP/dt_{\text{min}}$ ) в ЛЖ, определяли сердечный выброс (CO), общее периферическое сопротивление (ОПС). Регистрировали электрокардиограммы в стандартных отведениях от конечностей. Интрамуральные электрограммы регистрировали с помощью равно расположенных друг от друга игольчатых электродов. Их устанавливали в миокард основания правого желудочка (ПЖ) и ЛЖ, в верхушки обоих желудочков и среднюю часть ЛЖ.

Момент прихода волны возбуждения в область отведения потенциала (время деполяризации) определяли по минимуму первой производной потенциала по времени ( $dV/dt_{\text{min}}$ ) в период комплекса QRS, а момент восстановления возбудимости (время окончания реполяризации) – по точке максимума первой производной по времени ( $dV/dt_{\text{max}}$ ) в период ST-T комплекса. Определяли дисперсию времени активации и окончания реполяризации.

Показатели гемодинамики и электрофизиологические параметры регистрировали в горизонтальном положении, с первой минуты АНОГ, затем через каждые 5 мин в течение 30 мин при последовательном изменении угла наклона АНОГ  $45^\circ$  и  $60^\circ$ .

Статистическую обработку проводили с помощью программ STATISTICA 6.0., BIostat 4.03. Для оценки различий параметров до и после воздействия применяли критерий Уилкоксона, тест Фридмана с последующим применением критерия Ньюмена-Кейлса. Различия признавали значимыми при  $p < 0,05$ .

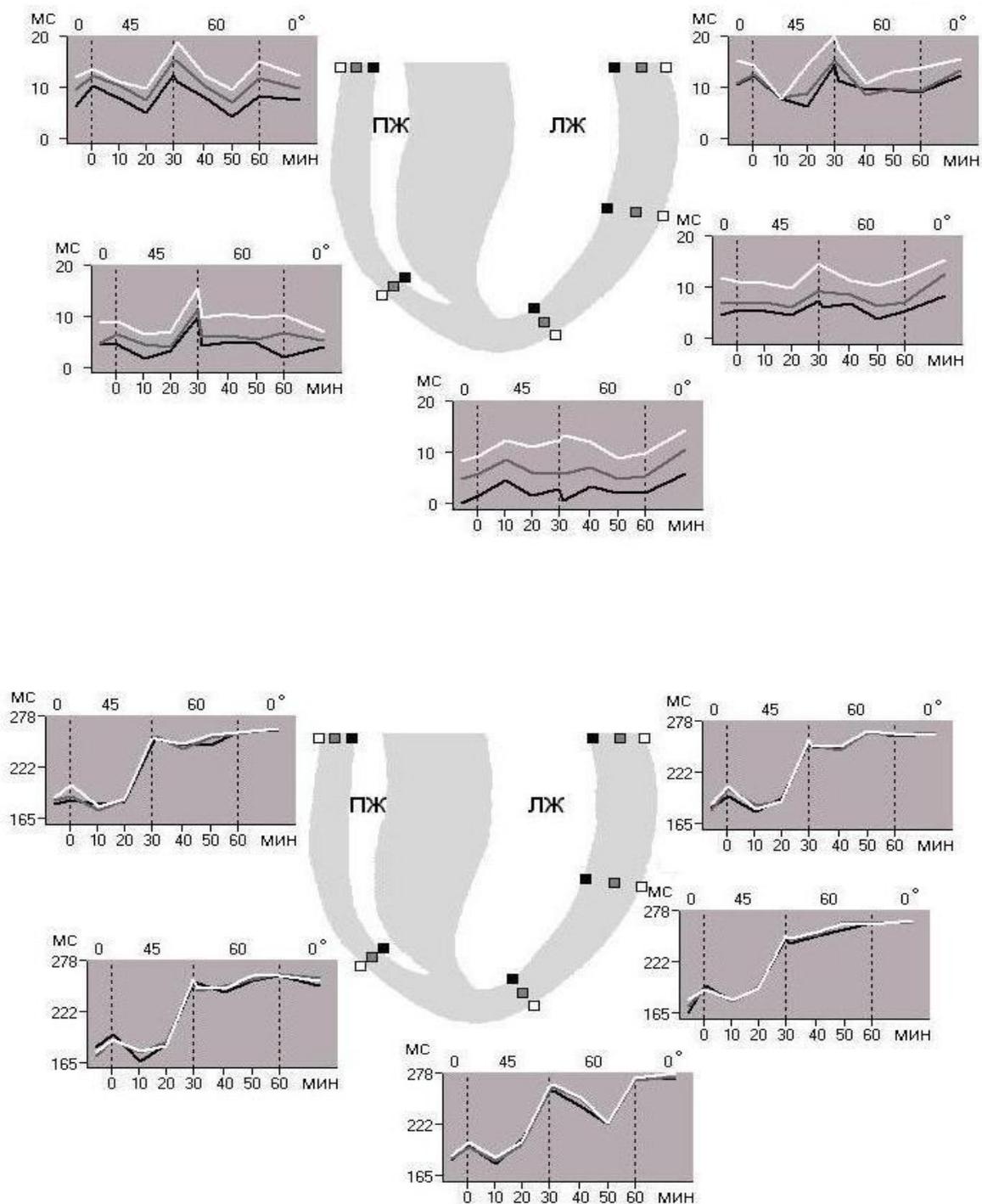
### Результаты исследования

**Электрофизиологические свойства.** Длительность QRS комплекса ЭКГ в течение всего эксперимента по отношению к исходному горизонтальному положению ( $40 \pm 10$  мс) существенно не изменяется. В 1-ю мин АНОГ  $45^\circ$  происходит увеличение ( $258 \pm 59$  мс;  $p < 0,05$ ) интервала QT в сравнении с горизонтальным положением ( $236 \pm 51$  мс). В течение последующего времени пребывания тела в условиях АНОГ независимо от угла наклона временная динамика интервала QT носит ундулирующий характер с инверсией зубца T.

Последовательность деполяризации миокарда желудочков собаки в условиях АНОГ аналогична таковой при горизонтальном положении тела. В миокарде ЛЖ и ПЖ наиболее раннее время активации наблюдается в субэндокардиальных слоях ( $p < 0,05$ ) верхушечной части сердца (рис. 1, А). Наиболее поздние очаги возбуждения обнаружены в субэпикардиальных слоях ( $p < 0,05$ ) основания желудочков (рис. 1, А). В ПЖ максимальный трансмуральный градиент деполяризации выявлен в основании – на 1-й, 10-й и 20-й мин АНОГ  $60^\circ$ . В ЛЖ максимальный трансмуральный градиент деполяризации также возникает в основании на 1-й и 20-й мин, но при АНОГ  $45^\circ$ , и на 1-й и 30-й мин АНОГ  $60^\circ$ , в свободной стенке ЛЖ – на 30-й мин АНОГ  $45^\circ$ . В области верхушки ЛЖ максимальный трансмуральный градиент сохраняется в течение всего времени пребывания тела в положении АНОГ (рис. 1, А). Апикобазальный градиент деполяризации в ПЖ появляется ( $p < 0,05$ ) на 1-й, 10-й мин АНОГ  $45^\circ$ , и на 1-й и 30-й мин АНОГ  $60^\circ$ . В ЛЖ апикобазальный градиент возникает с первой минуты АНОГ  $45^\circ$  ( $p < 0,05$ ), исчезает на 10-1 мин и вновь появившись, сохраняется на протяжении всего эксперимента (табл. 1).

Дисперсия времени деполяризации желудочков увеличивается ( $p < 0,05$ ) с 20-й мин АНОГ  $45^\circ$ . Во время АНОГ  $60^\circ$  происходит дальнейшее увеличение времени охвата возбуждением желудочков с максимальным значением ( $p < 0,05$ ) на 1-й мин. При этом дисперсия времени активации миокарда ЛЖ возрастает ( $p < 0,05$ ) только на 1-й мин АНОГ  $60^\circ$ , а в ПЖ – в начальные 10 мин пребывания тела в условиях АНОГ  $60^\circ$  (табл. 2).

При АНОГ в горизонтальном положении области ранней реполяризации в ЛЖ располагаются в



**Слой миокарда**

- ЭНДОКАРДИАЛЬНЫЙ
- ИНТРАМУРАЛЬНЫЙ
- ЭПИКАРДИАЛЬНЫЙ

Рис. 1. Трансмуральная последовательность активации (А) и реполяризации (Б) миокарда желудочков собаки при АНОГ; ПЖ – правый желудочек, ЛЖ – левый желудочек. Периоды времени, в которые животные находились в разном положении, разделены на зоны с помощью штриховки, сверху каждой зоны посередине указан угол наклона туловища в градусах. Нулевой момент на шкале времени соответствует моменту, когда животное наклонили на 45°; параметры, предшествующие нулевому моменту, соответствуют исходному горизонтальному положению туловища.

Таблица 1

**Время деполаризации и реполаризации различных областей миокарда ЛЖ и ПЖ в условиях АНОГ**

Показатели		Исходное горизонтальное положение	45° 0,5 мин.	45° 10 мин	45° 20 мин	45° 30 мин.	60° 0,5 мин.	60° 10 мин.	60° 20 мин.	60° 30 мин		
Деполаризация	ПЖ	основание	9,4±2,9	12,5±2,4†	9,8±3,1†	7,1±2,8	15,6±4,3	15,7±4,2†	10,2±2,9	6,5±2,8	11,9±4,3†	
		верхушка	5,2±3,5	6,2±5,1	3,7±3,1	3,9±4,8	12,3±7,3	6,0±9,7	6,6±4,9	6,0±6,3	6,0±6,4	
	ЛЖ	основание	12,1±2,6†*	13,4±1,1†*	9,9±11,3	9,5±3,8†*	17,0±4,3†*	15,0±4,2†	9,3±6,3†*	10,6±5,4†*	10,4±3,1†	
		средняя часть	7,3±4,4	7,3±3,8	7,3±3,6	6,1±3,8	10,2±4,5	9,5±6,8	8,7±3,4	6,3±4,0	7,5±4,1	
		верхушка	3,7±4,4*	5,1±4,1*	8,2±3,8	5,6±5,2*	6,3±5,4*	5,8±6,7*	7,0±5,2	4,5±3,9*	5,0±4,2*	
Реполаризация	ПЖ	основание	184,9±9,5†	191,2±11,7	175,7±13,5	184,8±5,0	250,1±9,6§	253,8±13,1†§	243,6±10,1†§	252,9±6,0†§	258,8±6,9†§	
		верхушка	175,8±7,6	191,7±7,1	173,6±7,9	185,6±6,1	254,5±4,9§	246,8±6,3§	247,6±7,7§	257,7±4,5§	261,8±1,6§	
	ЛЖ	основание	181,8±6,3†	201,6±10,4†*	181,7±8,8	189,9±2,7†*	254,7±11,9†§*	250,6±8,3†*	247,8±7,0*§	266,4±3,3†§	262,8±8,4†*§	
		средняя часть	171,7±12,5	192±10,4	177,7±4,8	193,0±5,6	249,2±6,3§	245,0±4,8§	251,6±3,3§	263,1±5,9§	263,5±5,1§	
			верхушка	183,5±9,4*	198,2±5,8*	180,6±12,5*	201,1±6,1*	258,2±7,5*§	262,3±11,7*§	248,4±8,6*§	222,3±49,0*§	271,0±5,6*§

Примечание:  $M \pm SD$ ,  $n=12$ ; ЛЖ – левый желудочек, ПЖ – правый желудочек; † $p < 0.05$  – по отношению к верхушке желудочка; \* $p < 0.05$  – по отношению к средней части желудочка; §  $p < 0.05$  – по отношению к горизонтальному положению тела.

Таблица 2

**Дисперсии времен деполаризации и реполаризации миокарда желудочков в условиях АНОГ**

Показатели		Исходное горизонтальное положение	45° 0,5 мин	45° 10 мин	45° 20 мин	45° 30 мин	60° 0,5 мин	60° 10 мин	60° 20 мин	60° 30 мин
Деполаризация	Общая	31,1±7,6	34,8±8,9	32,4±9,7	38,8±12,4*	49,8±16,6*	50,3±19,3*	46,0±16,8*	41,7±18,5*	42,7±13,0*
	ЛЖ	20,7±6,0	22,2±9,6	20,9±8,1	23,7±9,2	26,5±21,5	30,7±24,8*	25,8±25,8	24,7±19,2	24,2±18,1
	ПЖ	17,9±5,6	20,1±9,7	17,9±6,8	21,3±12,3	22,2±18,7	27,6±22,8*	24,3±16,8*	23,4±20,3	24,0±22,9
Реполаризация	Общая	100,1±45,1	165,7±66,7*	129±60	105±50,7	114±67	121,9±60	105±39	98±43	97±50
	ЛЖ	54,4±45,5	77,6±58,8*	62,9±55,5	45,0±37,6	56,0±47,3	50,2±52,8	46,6±38,9†	75,0±86,8†	45,4±34,2
	ПЖ	57,7±52,3	88,9±89,6*	62,5±41,5	57,1±43,7	58,8±53,6	56,6±39,01	66,7±38,4	52,2±36,1	51,0±43,2

Примечание:  $M \pm SD$ ,  $n=12$ ; ЛЖ – левый желудочек, ПЖ – правый желудочек; \* $p < 0.05$  – по отношению к исходному горизонтальному положению; † $p < 0.05$  – по отношению к ПЖ.

субэндокарде свободной стенки (рис. 1, Б). Далее реполаризируются эпикард средней части ЛЖ и интрамуральные слои основания ЛЖ. Затем процесс реполаризации охватывает субэндокард верхушки ЛЖ и, распространяясь на субэндокард основания ЛЖ, вновь изменяет направление в сторону верхушки ЛЖ, где регистрируется в интрамуральных слоях. В последнюю очередь, практически одновременно, процесс реполаризации охватывает субэпикард ЛЖ от верхушки до основания (рис. 1, Б).

В основании ПЖ на 1-й мин АНОГ 45° процесс реполаризации начинается в субэндокарде и последовательно распространяется в сторону интрамуральных и субэпикардиальных слоев. На 20-й мин АНОГ 45° реполаризируется субэндокард (182,9±6,8 мс;  $p < 0,05$ ), затем последовательно интрамуральные (185,3±5,4 мс) и субэпикардиальные (185,7±2,2 мс) слои однородным фронтом (рис. 1, Б). Увеличивается ( $p < 0,05$ ) время реполаризации

во всех миокардиальных слоях, по сравнению с исходным положением тела (табл. 1). На 30-й мин АНОГ 60° процесс реполаризации начинается в интрамуральных слоях и далее одновременно охватывает субэндокардиальные и субэпикардиальные слои (рис. 1, Б).

На верхушке ПЖ в 1-ю мин АНОГ 45° ранние очаги реполаризации формируются в интрамуральных слоях, затем реполаризируются в субэпикард и субэндокард. На 1-й мин АНОГ 60° ранняя область реполаризации наблюдается в интрамуральных слоях верхушки ПЖ, а на 30-й мин АНОГ 60° практически одновременно реполаризация начинается в субэндокарде и субэпикарде с распространением в интрамуральные слои верхушки ПЖ (рис. 1, Б).

Таким образом, в ПЖ, в сравнении с исходным положением тела (172,1±4,1 мс), с 30-й мин АНОГ 45° имеет место дискретное увеличение времени реполаризации с однородным распре-

лением во всех слоях миокарда ( $254,9 \pm 3,7$  мс,  $p < 0,05$ ). При повышении угла АНОГ  $60^\circ$  время реполяризации возрастает до максимального значения ( $262,4 \pm 1,5$  мс,  $p < 0,05$ ) (табл. 1).

В основании ЛЖ при АНОГ  $45^\circ$  на 1-й мин процесс реполяризации охватывает субэндокардиальные слои, далее реполяризуются интрамуральные и субэпикардиальные слои. На 10-й мин АНОГ  $45^\circ$  в основании ЛЖ формируется трансмуральный градиент реполяризации ( $p < 0,05$ ), изменяется направление движения волны реполяризации от субэндокарда и субэпикарда в сторону интрамурального слоя, нарушая тем самым последовательность трансмурального распространения реполяризации и образуя феномен позднего возбуждения. На 30-й мин АНОГ  $45^\circ$  и в течение всего времени в условиях АНОГ при  $60^\circ$  реполяризация однородным фронтом охватывает субэндокардиальные, интрамуральные и субэпикардиальные слои основания ЛЖ (рис. 1, Б).

В свободной стенке ЛЖ при АНОГ  $45^\circ$  на 1-й и 30-й мин процесс реполяризации направлен от субэпикарда в сторону интрамуральных слоев и к субэндокарду. При АНОГ  $60^\circ$  на 1-й мин в средней части ЛЖ появляется трансмуральный градиент реполяризации, где раньше реполяризуется субэндокард ( $240,9 \pm 1,7$  мс), по сравнению с субэпикардом ( $246,7 \pm 1,9$  мс;  $p < 0,05$ ). На 30-й мин АНОГ  $60^\circ$  вновь происходит инверсия движения волны реполяризации в направлении от субэпикарда ЛЖ к субэндокарду (рис. 1, Б).

В области верхушки ЛЖ на 1-й мин АНОГ  $45^\circ$  раньше реполяризуется интрамуральный слой. Выявлен трансмуральный градиент, при котором реполяризуется в первую очередь субэндокард ( $p < 0,05$ ) по отношению к субэпикарду в области верхушки ЛЖ на 10-й мин АНОГ  $60^\circ$  (рис. 1, Б).

Время реполяризации, в сравнении с исходным положением тела ( $183,1 \pm 10,6$  мс), с 30-й мин АНОГ  $45^\circ$  ( $256,5 \pm 7,7$  мс,  $p < 0,05$ ) дискретно увеличивается с однородным распределением во всех слоях миокарда с продолжающимся увеличением при АНОГ  $60^\circ$ , достигая максимального значения ( $270,3 \pm 5,1$  мс;  $p < 0,05$ ) на 30-й мин, без образования трансмурального градиента.

В исходном горизонтальном состоянии тела миокард ПЖ во всех слоях реполяризуется ( $p < 0,05$ ) в направлении от верхушки к основанию. Реполяризация происходит раньше ( $p < 0,05$ ) в средней части ЛЖ, позднее – в основании и верхушке (табл. 1). В условиях АНОГ в ПЖ выявлен апикобазальный градиент реполяризации на 1-й мин АП  $60^\circ$ . С 10-й по 30-ю мин АП  $60^\circ$  в ПЖ происходит изменение ( $p < 0,05$ ) апикобазального на базоапикальный градиент реполяризации. В ЛЖ с 1-й АП  $45^\circ$  по 1-ю мин АНОГ  $60^\circ$  сначала реполяризуются ( $p < 0,05$ ) в интрамуральные слои, позднее – верхушечная и базальная части желудочка. Во время дальнейшего пребывания тела в условиях АНОГ  $60^\circ$  на 20-й мин обнаружен апикобазальный ( $p < 0,05$ ), а на 30-й мин – базоапикальный ( $p < 0,05$ ) градиент деполяризации (табл. 1).

Дисперсия времени окончания реполяризации как в целом по обоим желудочкам, так и от-

дельно ЛЖ и ПЖ увеличивается ( $p < 0,05$ ) только на 1-й мин АП  $45^\circ$ , по отношению к исходному состоянию. В ЛЖ дисперсия времени окончания реполяризации меньше ( $p < 0,05$ ) по сравнению с ПЖ на 10-й мин АП  $60^\circ$ . Однако на 20-й мин АП  $60^\circ$  наблюдается обратная картина – дисперсия больше ( $p < 0,05$ ) в ЛЖ.

**Гемодинамика.** В условиях АНОГ частота сердечных сокращений (ЧСС) по отношению к исходному положению ( $99 \pm 24$  у/мин) не изменялась ( $102 \pm 20$  у/мин). При этом максимальное систолическое давление ЛЖ (МСДЛЖ) уменьшается ( $p < 0,05$ ) на 30-й мин АНОГ  $45^\circ$ , эта тенденция сохраняется и в дальнейшем при АНОГ  $60^\circ$  ( $p < 0,05$ ), по отношению к исходному горизонтальному положению тела (рис. 2, А). Конечно-диастолическое давление (КДО) ЛЖ существенно не изменяется (рис. 2, Б). Начиная с 30-й мин АНОГ  $45^\circ$  и в течение 30-ти мин АНОГ  $60^\circ$  снижаются ( $p < 0,05$ ) максимальные скорости прироста давления ( $dP/dt_{max}$ ) и падения давления ( $dP/dt_{min}$ ) и  $P_{ср}$  (рис. 2, В, Г, Д). Сердечный выброс (СО) не изменяется по отношению к горизонтальному положению (рис. 2, Е).

**Корреляционные связи.** На 20-й мин АП  $60^\circ$  последовательность активации прямо пропорциональна последовательности окончания реполяризации ( $r = 0,31$ ;  $p < 0,05$ ). Однако на 30-й мин АП  $60^\circ$  время деполяризации отрицательно коррелирует с последовательностью времени окончания реполяризации ( $r = -0,27$ ;  $p < 0,05$ ). Показана отрицательная корреляционная связь между временем активации и показателем сократимости ЛЖ  $dP/dt_{max}$  на 1-й ( $r = -0,60$ ;  $p < 0,05$ ) и 30-й ( $r = -0,66$ ;  $p < 0,05$ ) мин АНОГ  $45^\circ$ .

### Обсуждение результатов

С первых минут установлено увеличение дисперсии времени деполяризации миокарда в ЛЖ и ПЖ. Время охвата возбуждением желудочков начинает дискретно возрастать с 20-й мин АНОГ  $45^\circ$ , значительно увеличиваясь при угле наклона в  $60^\circ$ . Сократительная функция сердца ухудшается на 30-й мин АНОГ  $45^\circ$ , снижаясь в большей степени на 30-й мин АНОГ  $60^\circ$ . Изменения ЧСС были незначительны и не закономерны. Длительность QT интервала и дисперсия времени окончания реполяризации увеличиваются уже на 1-й мин АНОГ  $45^\circ$ , при этом длительность QRS комплекса существенно не изменяется, но происходит инверсия зубца Т на ЭКГ.

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что в первые минуты при АНОГ  $45^\circ$  возникают разнонаправленные изменения функциональных свойств сердца. В первую очередь изменяются электрофизиологические показатели, которые более выражены в основании и верхушке ЛЖ с сохранением сократительной функции в течение первых 30-ти мин АНОГ  $45^\circ$ . Это позволяет рассматривать ранние механизмы адаптации сердца к АНОГ как аварийные и краткосрочные, направленные на сохранение сократительной функции сердца в условиях возникшей разгрузки и функциональной изоляции сердца. В дальнейшем, с увеличением времени пребывания в АНОГ, включаются долгосрочные механизмы, регулирующие деятельность

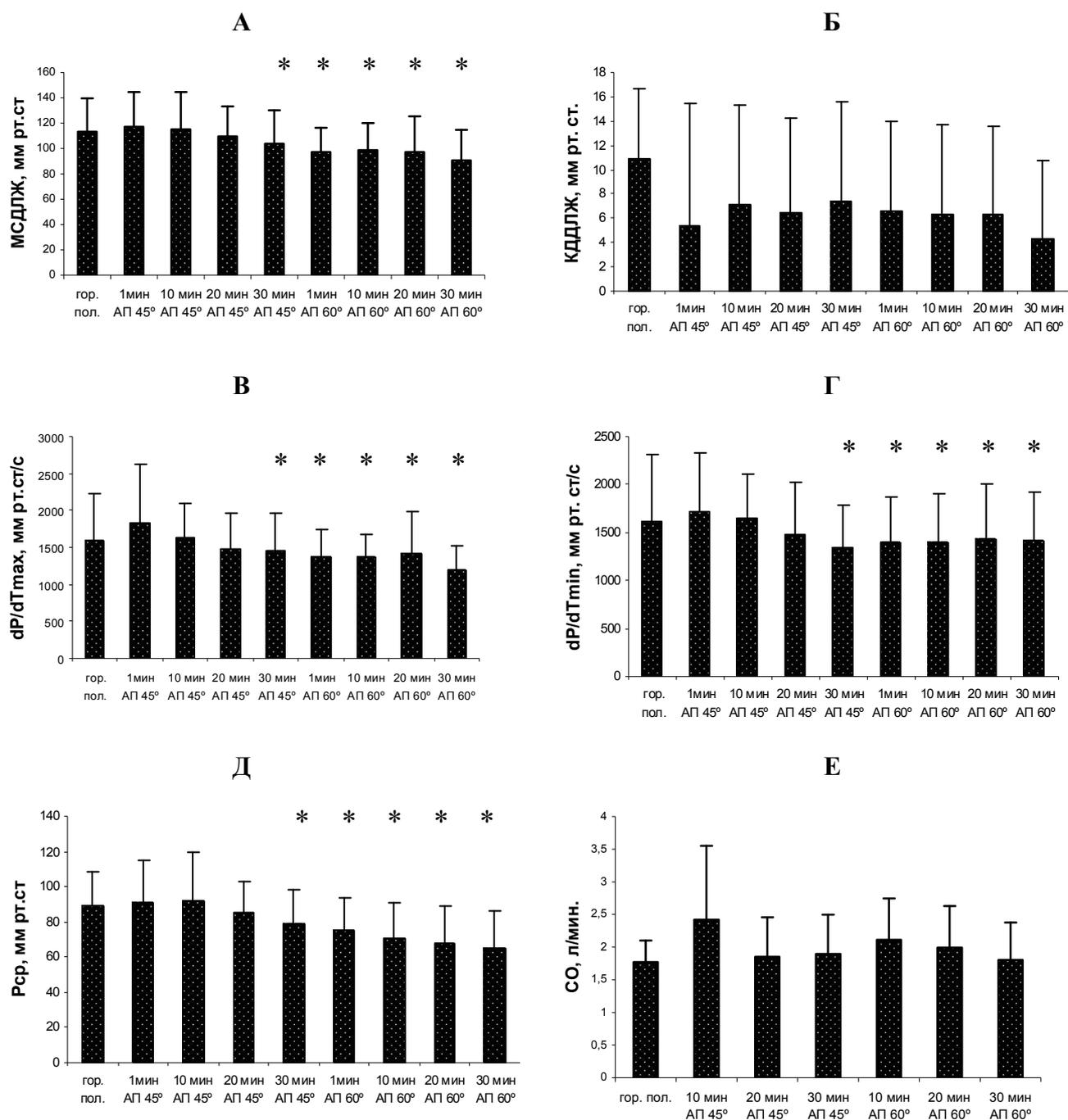


Рис. 2. Гемодинамические показатели сердца собаки в условиях АНОГ: А – максимальное систолическое давление левого желудочка (МСДЛЖ); Б – конечно-диастолическое давление левого желудочка (КДЛЖ); В – максимальная скорость прироста давления (dP/dt max); Г – максимальная скорость падения давления (dP/dt min); Д – среднее артериальное давление (Pcp); Е – сердечный выброс (CO). \*p<0,05 – по отношению к горизонтальному положению.

сердца для обеспечения длительного сохранения силы сокращений желудочка. Формируется определенный уровень электрического ремоделирования миокарда с 30-ти мин АНОГ 45°. Мозаичность и разнонаправленность реакций сменяются образованием региональной однородности процессов реполяризации, не свойственной нормальному миокарду.

Устанавливаются циклические изменения структурно-функциональных свойств в основании и верхушке ЛЖ, характеризующие функциональное ремоделирование миокарда. Это сопровождается снижением показателей сократительной функции (МСДЛЖ,  $dP/dt_{max}$ ,  $dP/dt_{min}$ ,  $P_{cp}$ ) и сохранением КДДЛЖ и сердечного выброса, где показатели насосной функции желудочков в большей степени снижаются на 30-й мин АНОГ 60°. Полученная отрицательная корреляция между временем активации желудочков и максимальной скоростью прироста давления ЛЖ позволяет утверждать, что увеличение времени охвата возбуждением сердца при АНОГ сопровождается снижением сократимости миокарда.

Изменение пространственно-геометрического расположения сердца, перераспределение крови в интраоракальную область способствуют появлению митральной регургитации. Это ограничивает возрастание механической нагрузки на миокард в систолу ЛЖ и нивелирует в целом отрицательное влияние возникающих локальных дефектов сокращения на общую сократительную функцию сердца, что тем самым не позволяет в начальном периоде АНОГ уменьшиться ударному объему ЛЖ.

Десинхронизирующее воздействие АНОГ на проведение возбуждения по миокарду изменяет величину и скорость трансмембранного потенциала, способствует замедлению распространения активации [12] и увеличивает время охвата возбуждением сердца. К 30-й мин АНОГ 45° возникает тенденция к однообразным реакциям в виде упрощения электрофизиологических свойств миокарда. Ранние очаги активации обнаружены во внутренних слоях миокарда ЛЖ, от которых волна деполяризации движется одновременно к субэндокарду и субэпикарду. Субэндокардиальные слои охватываются одновременно волной деполяризации, а затем движение волны направлено к субэпикарду. В отличие от горизонтальной позы при АНОГ выявлена тенденция в направлении последовательности реполяризации от субэндокарда к субэпикарду, где ранее всего реполяризуются интрамуральные слои миокарда ЛЖ. Основание ЛЖ с наиболее поздней деполяризацией имеет меньшую продолжительность реполяризации, а на верхушке ЛЖ, где выявлена область ранней активации, регистрируются более длинные потенциалы действия. В результате чего происходит почти одновременная реполяризация всего миокарда.

Нами установлено, что при АНОГ: уменьшаются различия во времени восстановления между субэпикардом и субэндокардом; снижаются градиенты деполяризации и реполяризации; инвертируется апикобазальный градиент реполяризации ЛЖ в базоапикальный. Таким способом это формирует

необходимый для сохранения сократительной функции уровень электрофизиологического ремоделирования миокарда. Перераспределение механической нагрузки приводит к локальной чрезмерной перегрузке кардиомиоцитов (КМЦ) в базальных отделах и локальной «недогрузке» в области верхушки ЛЖ. В областях с максимальным растяжением в диастолу снижается анизотропия миокарда, возникает так называемый «функциональный дуализм» КМЦ [13], который, возможно, компенсируется увеличением числа межмитохондриальных контактов (ММК) [14, 15]. При патологическом растяжении фибробласты индуцируют изменение функционирования stretch-activated channels и, как следствие, возникновение механически обусловленных потенциалов, вызывающих пролонгированную автодеполяризацию КМЦ в конце реполяризации. Это приводит к удлинению потенциала покоя, тем самым увеличивая время реполяризации и изменение трансмурального градиента деполяризации и реполяризации [16]. «Недогрузка» объемом верхушки ЛЖ в условиях АНОГ приводит к перераспределению максимального градиента внутрижелудочкового давления в конце систолы из средних областей ЛЖ в области верхушки и базальных отделов. При этом в областях с механической разгрузкой происходит дедифференцировка КМЦ с потерей ими специфических структурных свойств, обеспечивающих сопряжение электрического возбуждения с механическим сокращением [17]. Это является причиной дальнейшего усугубления механической неоднородности сокращения миокарда. Регулирование процессов выравнивания трансмурального градиента дисперсии реполяризации обеспечивается изменением градиента тока  $I_{to}$ , распределение которого является генетически детерминируемым процессом и играет важную роль в установлении аутоидентичности различных участков сердца. Возможно, ток  $I_{to}$  определяет временную заданную структурную организацию миокарда на локальном и региональном уровнях [18, 19]. Выявляемые однотипные изменения электрофизиологических свойств в области основания и верхушки ЛЖ обусловлены согласованной функциональной деятельностью КМЦ, которая направлена на выравнивание суммарного энергетического потенциала на их поверхности, и свидетельствует об образовании новой структурной организации на основе кластерного управления функциями миокарда [20, 21].

### Заключение

В условиях АНОГ происходит одновременная реполяризация всех слоев желудочков сердца в базоапикальном направлении. Увеличивается дисперсия времени деполяризации с 20-й мин АП 45° и до конца периода пребывания туловища в АП, что сопровождается ухудшением контрактильной функции ЛЖ. При этом дисперсия времени окончания реполяризации изменяется только в 1-ю мин АП 45°. Последовательность деполяризации не определяет последовательность реполяризации. В целях сохранения функциональной гетерогенности и насосной функции ЛЖ при АНОГ замедление ско-

рости реполяризации, повышение интрамуральной однородности реполяризации в области основания и верхушки ЛЖ компенсируются изменением длительности потенциала действия (ПД) и повышением трансмуральной дисперсии реполяризации в свободной стенке ЛЖ.

Электрические отличия между базальными отделами, свободной стенкой и верхушкой, а также между правым и левым желудочками являются результатом возникающей разницы скоростей восстановления транзиторных исходящих потоков ионов, наиболее заметных между базальными отделами и свободной стенкой ЛЖ, между субэпикардом и интрамуральными слоями.

Гетерогенность миокарда как основа его деятельности для обеспечения функциональной механической целостности в начальном периоде АНОГ снижается до определенных пределов, что обеспечивает устойчивость насосной функции при срочной адаптации в условиях возрастающей энергетической потребности.

Инверсия вектора гравитации способствует раннему переводу функционирования сердца на механизмы фетального фенотипа, которые обеспечивают энергетически более экономный режим функциональной деятельности за счет упрощения функций сердца.

#### Литература

1. Prisk G., Fine J., Elliott A., West J. Effect of 6 degrees head-down tilt on cardiopulmonary function: comparison with microgravity // *Aviat. Space Environ Med.* 2002. Vol.73. No.1. P.8–16.
2. Григорьев А., Баранов В. Сердечно-сосудистая система человека в условиях космического полета // *Вестник РАМН.* 2003. Т.12. С.41–45.
3. Парин В., Газенко О. Развитие космической биологии и медицины // *Космическая биология и медицина.* 1967. Т. I. №5. С. 5–10.
4. Газенко О., Касьян И. Физиологические проблемы невесомости. М.: Медицина, 1990. 288 с.
5. Носков В.Б. Перераспределение жидких сред организма в условиях невесомости и моделирующих ее воздействий // *Авиакосмическая и экологическая медицина.* 2011. Т.45. №1. С.17–26.
6. Нужный В.П., Киблер Н.А., Цветкова А.С. и др. Интегральный анализ взаимодействия электростимуляционной системы и сердца // *Известия Коми научного центра УрО РАН.* 2011. Вып. 2(6). С.45–52.
7. Пупин В.В., Рагульская М.В., Чибисов С.М. Модели реакции сердца человека как нелинейной динамической системы под воздействием космо- и геофизических факторов // *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины.* 2010. Т. 149. №4. С. 476–480.
8. Фомина Г.А., Котовская А.Р. Изменение гемодинамики человека в условиях длительной невесомости и значение гиповолемии // *Авиакосмическая и экологическая медицина.* 2008. Т. 42. № 2. С. 21–25.
9. Доница Ж.А., Лаврова И.Н., Тихонов М.А. и др. Влияние изменений внутригрудного и центрального венозного давления на динамику наполнения сердца // *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины.* 2003. Т. 136. №12. С.612–615.
10. Голубчикова И.В., Алферова В.Р., Лямин В.Р. Исследования биоэлектрической активности миокарда. Орбитальная станция «Мир». М., 2001. Т. 1. С.276–282.
11. Сосницкий В.Н., Стаднюк Л.А., Сосницкая Т.В. Магнитокардиография: новый взгляд на старые идеи // *Серце і судини.* 2004. № 4. С. 73–78.
12. Агафонова Е.Л., Побезинский Л.А., Шорникова М.В., Ченцов Ю.С. Митохондрии кардиомиоцитов левого желудочка сердца крыс при гипокнезии // *Биология мембраны.* 1997. Т. 14. № 5. С. 495–505.
13. Thomason D., Anderson O., Menon V. Fractal analysis of cytoskeleton rearrangement in cardiac muscle during head-down tilt // *J. Appl. Physiol.* 1996. Vol. 81. P. 1522–1527.
14. Липина Т.В., Шорникова М.В., Ченцов Ю.С. Электронно-микроскопическое изучение митохондрия кардиомиоцитов левого желудочка крыс при антиортостатическом вывешивании // *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины.* 2004. Т. 137. № 3. С. 328–331.
15. Вареник Е.Н., Липина Т.В., Шорникова М.В. Структура миокарда левого желудочка крыс в условиях моделирования эффектов невесомости и искусственной силы тяжести // *Доклады РАН.* 2010. Т. 433. № 3. С. 423–425.
16. Анисимова Т. Роль F-актина микрофиламентов в работе механосенситивных каналов сердца // *Мед. научн. и учебно-метод. журн.* 2001. № 2. С. 72–75.
17. Cooper Z., Mercer E., Hooper et.al. Load regulation of the properties of adult feline cardiocytes. The role of substrate adhesion // *Circ. Res.* 1986. Vol.58. P.692–705.
18. Antzelevitch C, Dumaine R. Electrical heterogeneity in the heart: Physiological, pharmacological and clinical implications. In: Page E, Fozzard HA, Solaro RJ, eds. *Handbook of Physiology. Section 2. The Cardiovascular System.* New York: Oxford University Press, 2001. P.654–692.
19. Burashnikov A., Antzelevitch C. Prominent I<sub>Ks</sub> in epicardium and endocardium contributes to development of transmural dispersion of repolarization but protects against development of early afterdepolarization // *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2002. Vol.13. P.172–177.
20. Barat S., Verkleij A., Post J. Peroxynitrite activates nitogen-activated protein kinase (MAPK) via a MEK-independent pathway: a role for protein kinase C // *FEBS Letters.* 2001. Vol.499. P.21–26.
21. Шемарова И.В., Нестеров В.П. Эволюция механизмов Ca<sup>2+</sup>-сигнализации. Роль Ca<sup>2+</sup> в регуляции фундаментальных клеточных функций // *Журнал эволюционной биохимии и физиологии.* 2008. Т.44. №4. С.341–349.

Статья поступила в редакцию 06.08.2013

УДК: 612.826.5:612.826.8:612.825.1

## СВЕРХМЕДЛЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПОТЕНЦИАЛОВ НЕЙРОМОДУЛЯТОРНЫХ ЦЕНТРОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА И КОРКОВЫХ ОТДЕЛОВ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ

К.С. ПУГАЧЕВ, А.А. КРЕБС, И.В. ФИЛИППОВ, Е.В. ЗЮЗИН

*Ярославская государственная медицинская академия, г. Ярославль  
filippov@yuma.ac.ru*

Выявлена и проанализирована динамика сверхмедленных колебаний потенциалов нейромодуляторных центров головного мозга крыс (голубого пятна, дорсального ядра шва и базального крупноклеточного ядра). В этих структурах установлено присутствие сверхмедленной активности секундного и обнаружены средние значения ( $0,45 \leq r \leq 0,65$ ) коэффициентов линейной корреляции многосекундных волн, что указывает на их участие в модулирующих влияниях указанных структур на процессы переработки сенсорной информации в первичной зрительной слуховой и вкусовой коре головного мозга.

**Ключевые слова:** сверхмедленные колебания потенциалов, голубое пятно, дорсальное ядро шва, базальное крупноклеточное ядро, первичная зрительная, слуховая и вкусовая кора

## K.S. PUGACHEV, A.A. KREBS, I.V. FILIPPOV, E.V. ZYUZIN. INFRA-SLOW BRAIN POTENTIALS OF NEUROMODULATORY CENTERS AND HIGHEST CORTICAL SENSORY AREAS

We identified and studied the dynamical properties of the infraslow brain potentials of different neuromodulatory centers of the rats - locus coeruleus, nucleus raphe dorsalis and nucleus basalis magnocellularis. Moderate linear correlation ( $0.45 \leq r \leq 0.65$ ) of multisecond waves between neuromodulatory centers and cortical sensory areas indicates the possible involvement of this infraslow domain in modulatory influences of locus coeruleus, dorsal raphe nucleus and nucleus basalis magnocellularis on sensory information neuroprocessing in the primary visual auditory and gustatory cortices.

**Key words:** infraslow brain potentials, locus coeruleus, nucleus dorsalis raphe, nucleus basalis magnocellularis, primary visual, auditory and gustatory cortex

Известно, что различные биоэлектрические процессы головного мозга являются коррелятами его функциональной активности [1]. Тем не менее в клинических и фундаментальных дисциплинах не отводится должного внимания сверхмедленным биоэлектрическим процессам, протекающим в ЦНС. В связи с этим все большую актуальность приобретают исследования, направленные на понимание роли сверхмедленных колебаний потенциалов (СМКП) в функционировании головного мозга [2 – 4]. В соответствии с общепринятыми взглядами, СМКП представляют собой совокупность сложноорганизованной квазипериодической динамики биопотенциалов головного мозга человека и животных с частотами менее 0,5 Гц [5]. Исходя из существующей классификации [1], СМКП подразделяются на следующие частотные диапазоны: секундные (период от 2 до 10 с), многосекундные (от 10 до 60 с) и минутные (более 1 мин) волны. Ранее было доказано присутствие СМКП в различных сенсорных представителях головного мозга: в первичной зрительной коре (ПЗК), первичной слуховой коре (ПСК), во вкусовой коре (ВК), а также в латеральном коленчатом теле, медиальном коленчатом те-

ле и в вентральном задне-срединном ядре таламуса [2–4]. Также установлено участие СМКП в процессах переработки сенсорной информации в этих структурах и во взаимодействиях перечисленных отделов ЦНС при переработке сенсорной информации различных модальностей. На основании полученных в наших исследованиях данных была выдвинута гипотеза о возможной обусловленности динамики СМКП в первичных корковых представителях сенсорных систем с динамикой аналогичных процессов на уровне различных нейромодуляторных центров. Это представляется возможным в контексте существующих сведений о присутствии норадренергических (от голубого пятна), серотонинергических (от дорсального ядра шва) и ацетилхолинергических (от базального крупноклеточного ядра) волокон в различных отделах коры больших полушарий, в том числе в сенсорных представителях неокортекса [6, 7]. Однако до настоящего времени данные о наличии СМКП и об их сравнительном анализе в различных нейромодуляторных центрах отсутствовали, в частности голубом пятне (ГП), дорсальном ядре шва (ДЯШ) и базальном крупноклеточном ядре (БКЯ), а также в

высших корковых представительств зрительной, слуховой и вкусовой сенсорных систем. Все эти вопросы представляют существенный интерес, поскольку позволяют более детально понять вклад (норадреналина, серотонина и ацетилхолина) в модуляцию как функциональных состояний различных отделов неокортекса, так и переработку афферентной информации на уровне высших сенсорных представительств ЦНС.

Учитывая актуальность проблемы, цель настоящей работы: выявить в условиях отсутствия действия сенсорных стимулов сверхмедленные колебания потенциалов в голубом пятне, дорсальном ядре шва и базальном крупноклеточном ядре и сопоставить у анестезированных крыс в условиях хронического эксперимента динамику СМКП в указанных нейромодуляторных центрах с аналогичными процессами на уровне первичной зрительной, слуховой и вкусовой коры.

Основные задачи исследования:

1. Выявить и проанализировать динамику сверхмедленных колебаний потенциалов в голубом пятне, дорсальном ядре шва и базальном крупноклеточном ядре головного мозга крыс при отсутствии действия зрительных, слуховых и вкусовых раздражителей.

2. Сопоставить временные и амплитудно-частотные характеристики сверхмедленной активности голубого пятна, дорсального ядра шва и базального крупноклеточного ядра с аналогичными процессами в области первичной зрительной, слуховой и вкусовой коры в тех же условиях.

### Материалы и методы

Работа проведена на 30 самцах взрослых нелинейных крыс альбиносов с массой тела 230–280 г ( $n=150$  повторных экспериментальных наблюдений). Все опыты выполнены согласно основным положениям Европейской конвенции об обращении с животными при проведении биомедицинских исследований (2010/63/EU). Первоначально, руководствуясь атласом головного мозга крыс [8], каждому экспериментальному животному под нембуталовым наркозом производилась стереотаксическая имплантация золотых долгосрочных интрацеребральных электродов (золото 98 %, площадь активной поверхности  $0,2 \text{ мм}^2$ ) в ГП, ДЯШ, БКЯ, а также в ПЗК, ПСК и ВК. Использование золотых электродов объясняется современными представлениями о том, что металлические электроды оптимальны для изучения очень медленных форм биоэлектрической активности ЦНС в условиях хронического эксперимента [9]. До начала проведения стереотаксической операции каждая электродная пара была предварительно протестирована в физиологическом растворе, а для имплантации использовались лишь те электродные пары, которые имели стабильный межэлектродный потенциал. После операции крысы помещались на 14 суток в стандартные условия вивария с целью завершения репаративных процессов в исследуемых структурах ЦНС.

Затем осуществляли многократную монополярную синхронную регистрацию СМКП в голубом пятне, дорсальном ядре шва и базальном крупноклеточном ядре, а также в ПЗК, ПСК и ВК. Для этого животных помещали в звуко-свето-непрозрачный индивидуальный контейнер, который располагался в экранированной камере. Эксперименты проводились в темноте (0 люкс) и тишине (0 дБ). Крысы во время исследований находились под легким уретановым наркозом (0,2–0,3 г/кг, интраперитонеально). Использование уретана объясняется тем, что, по данным литературы, он практически не искажает нативную динамику СМКП головного мозга [10]. Для усиления, записи и анализа СМКП применялся компьютерный электрофизиологический комплекс с высокоимпедансным многоканальным усилителем биопотенциалов (модель УУ-93, ЭПМ НИИЭМ РАМН), аналого-цифровым преобразователем (модель Е-154, Л-Кард) и персональным компьютером с набором соответствующего программного обеспечения.

Изучение динамики СМКП предусматривало амплитудно-временной анализ различных диапазонов СМКП, основанный на применении алгоритма быстрого прямого преобразования Фурье, а также корреляционный анализ. Статистическую значимость отличий оценивали с использованием однофакторного дисперсионного анализа. Отличия с  $p < 0,05$  рассматривались как статистически значимые. После завершения экспериментальных исследований осуществлялся забой крыс (уретан, 2–2,5 г/кг, интраперитонеально) и производилась морфологическая верификация расположения активной части электродов в исследуемых структурах головного мозга.

### Результаты и обсуждение

Анализ и обобщение полученных в ходе настоящего исследования данных позволили установить, что для основных структур норадренергической (ГП), серотонинергической (ДЯШ) и холинергической (БКЯ) системы характерно наличие фоновых спонтанных сверхмедленных колебаний потенциалов различных частотных диапазонов. Это были регулярные синусоидальные секундные волны с преобладанием частот в диапазоне от 0,1 до 0,32 Гц и амплитудой до 0,3 мВ в голубом пятне (рис. 1а; 2а). В дорсальном ядре шва доминировали секундные СМКП с частотами от 0,1 до 0,33 Гц и амплитудой до 0,15 мВ (рис. 3а, 4а). Схожие по частотно-амплитудным характеристикам колебания потенциалов секундного диапазона зарегистрированы и в базальном крупноклеточном ядре – преобладающие частоты находились в пределах от 0,1 до 0,2 Гц и с амплитудой до 0,25 мВ (рис. 5а, 6а).

Помимо секундных СМКП были обнаружены регулярные синусоидальные многосекундные волны во всех изученных структурах в диапазонах частот 0,0167–0,04 Гц и амплитудой до 0,27 мВ в голубом пятне (рис. 1б, 2б), 0,0167–0,035 Гц и амплитудой до 0,15 мВ в дорсальном ядре шва (рис. 3б, 4б), 0,0167–0,047 Гц и амплитудой до 0,2 мВ в базальном крупноклеточном ядре (рис. 5б, 6б).

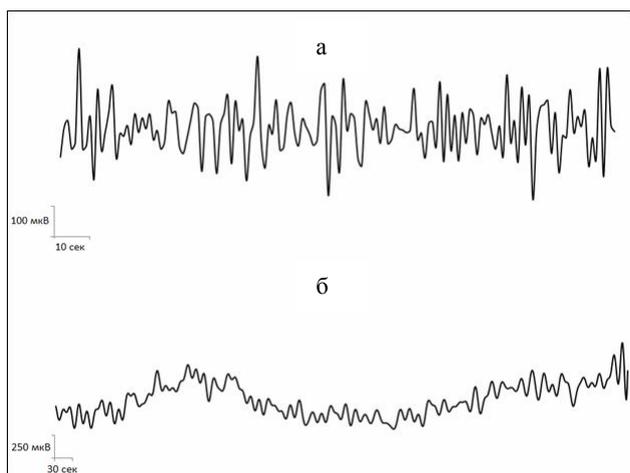


Рис. 1. Примеры нативных записей сверхмедленных колебаний потенциалов различных диапазонов в голубом пятне головного мозга крысы: (а) волны секундного диапазона, (б) волны многосекундного и минутного диапазонов.

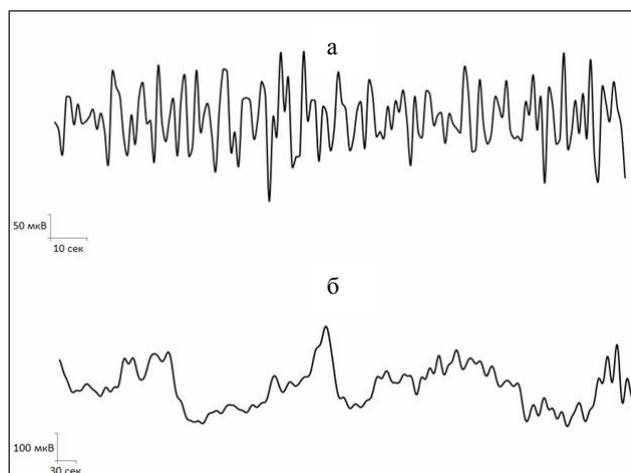


Рис. 3. Примеры нативных записей сверхмедленных колебаний потенциалов различных диапазонов в дорсальном ядре шва головного мозга крысы: (а) волны секундного диапазона, (б) волны многосекундного и минутного диапазонов.

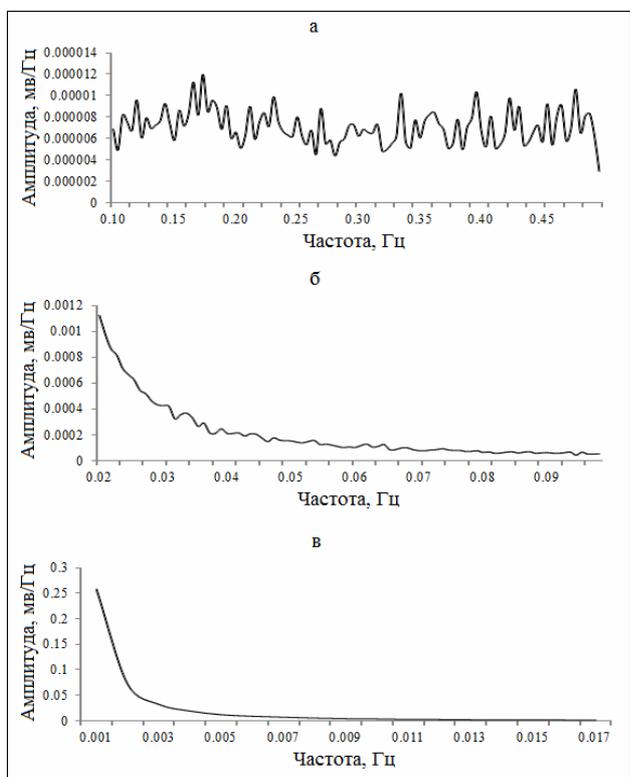


Рис. 2. Суммарные арифметически усредненные спектрограммы (по данным  $n=50$  экспериментов) СМКП различных диапазонов в голубом пятне головного мозга крысы: (а) секундные, (б) многосекундные и (в) минутные волны.

В голубом пятне, дорсальном ядре шва и базальном крупноклеточном ядре также обнаружены спонтанные одиночные минутные волны синусоидальной формы с частотой менее 0,006 Гц (рис. 1б, 2в; 3б, 4в; 5б, 6в). Подобные результаты позволяют сделать заключение о том, что для каждого из изученных нейромодуляторных центров характерно явление спонтанной фоновой сверхмедленной ритмической биоэлектрической активности.

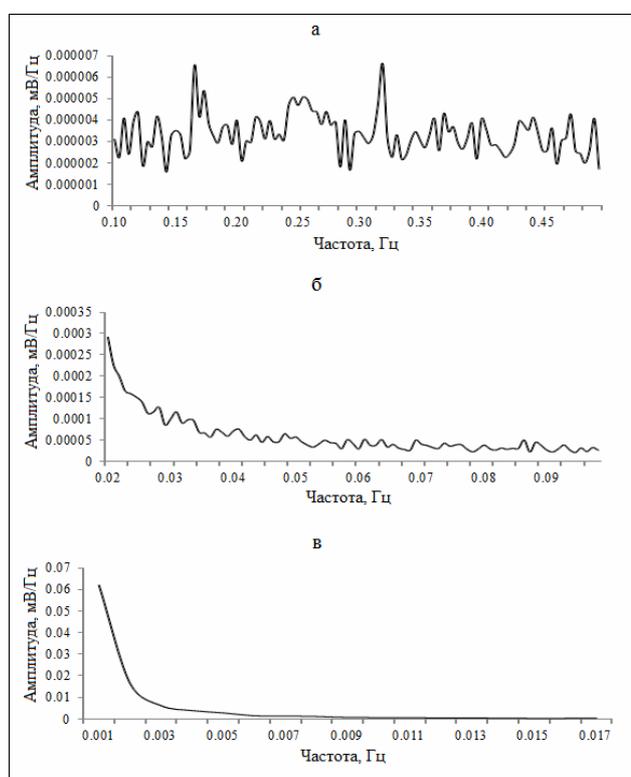


Рис. 4. Суммарные арифметически усредненные спектрограммы (по данным  $n=50$  экспериментов) СМКП различных диапазонов в дорсальном ядре шва головного мозга крысы: (а) секундные, (б) многосекундные и (в) минутные волны.

Кроме того, нами зарегистрированы и проанализированы фоновые сверхмедленные колебания потенциалов в первичных корковых представлениях сенсорных систем головного мозга крыс – в первичной зрительной, первичной слуховой и вкусовой коре. Данные о динамике СМКП первичной зрительной коры, первичной слуховой коры и вкусовой коры головного мозга крыс описаны и ранее [2–4]. Несмотря на это, они проанализи-

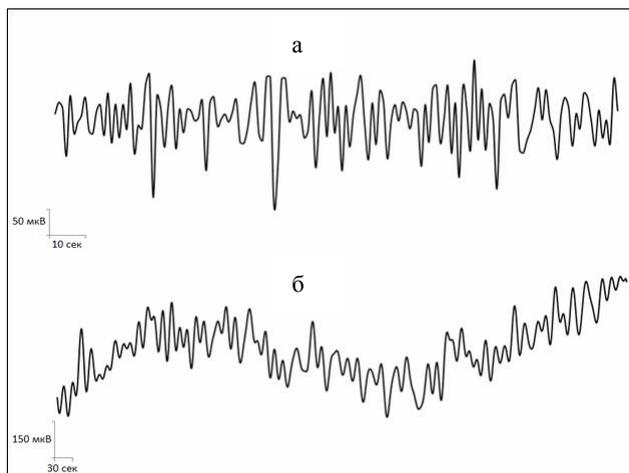


Рис. 5. Примеры нативных записей сверхмедленных колебаний потенциалов различных диапазонов в базальном крупноклеточном ядре головного мозга крысы: (а) волны секундного диапазона, (б) волны многосекундного и минутного диапазонов.

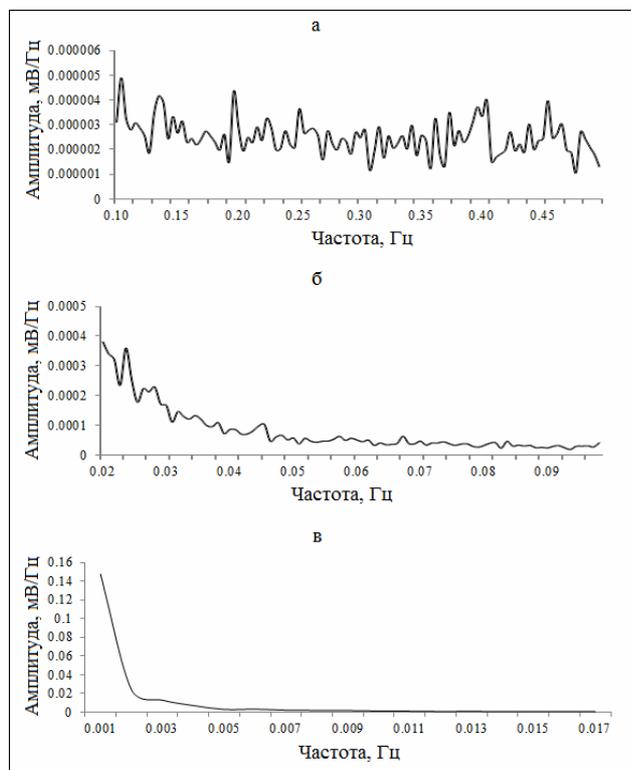


Рис. 6. Суммарные арифметически усредненные спектрограммы (по данным  $n=50$  экспериментов) СМКП различных диапазонов в базальном крупноклеточном ядре головного мозга крысы: (а) секундные, (б) многосекундные и (в) минутные волны.

зированы нами в контексте взаимосвязи динамики СМКП изученных нейромодуляторных центров и первичных корковых сенсорных представительств. Это связано с необходимостью сопоставить фоновые взаимосвязи СМКП в интрацеребральных функциональных системах нейромодуляторный центр – первичные корковые сенсорные представительства (т.е. ГП-ПЗК, ГП-ПСК, ГП-ВК; ДЯШ-ПЗК,

ДЯШ-ПСК, ДЯШ-ВК; БКЯ-ПЗК, БКЯ-ПСК и БКЯ-ВК) в условиях отсутствия действия зрительных, слуховых и вкусовых раздражителей. С этой целью проведена линейная корреляция фоновых СМКП различных диапазонов в парах ГП-ПЗК, ГП-ПСК, ГП-ВК; ДЯШ-ПЗК, ДЯШ-ПСК, ДЯШ-ВК; БКЯ-ПЗК, БКЯ-ПСК и БКЯ-ВК.

В результате анализа указанных данных установлены слабые положительные корреляционные связи в диапазоне секундных волн во всех изученных парах (таблица). Коэффициенты линейной корреляции, отражающие взаимосвязь СМКП в многосекундном и минутных диапазонах (т.е. в едином объединенном диапазоне частот 0,0167–0,1 Гц) можно охарактеризовать как положительные средние.

**Коэффициенты линейной корреляции фоновых нативных записей (по данным  $n=150$  экспериментов) различных диапазонов СМКП**

Пары сравнения	Коэффициент линейной корреляции (r) секундных СМКП	Коэффициент линейной корреляции (r) многосекундных и минутных СМКП
ГП-ПЗК	0,24	0,64
ГП-ПСК	0,22	0,63
ГП-ВК	0,14	0,61
ДЯШ-ПЗК	0,28	0,63
ДЯШ-ПСК	0,24	0,65
ДЯШ-ВК	0,14	0,60
БКЯ-ПЗК	0,25	0,64
БКЯ-ПСК	0,20	0,57
БКЯ-ВК	0,17	0,45

Примечание: пары сравнения – голубое пятно – первичная зрительная, слуховая и вкусовая кора; дорсальное ядро шва – первичная зрительная, слуховая и вкусовая кора; базальное крупноклеточное ядро – первичная зрительная, слуховая и вкусовая кора.

При этом следует обратить внимание на положительные средние значения коэффициентов линейной корреляции, которые указывают на фоновую спонтанную взаимосвязь СМКП многосекундного и минутного диапазонов во всех проанализированных парах сравнения (ГП-ПЗК, ПСК, ВК; ДЯШ-ПЗК, ПСК, ВК; БКЯ-ПЗК, ПСК, ВК). Эти данные сопоставимы с результатами исследований связей нейромодуляторных центров с различными отделами неокортекса (норадренергические, серотонинергические и холинергические проекции), в том числе с высшими корковыми представительствами зрительной, слуховой и вкусовой сенсорных систем [11 – 13]. Они указывают на тесные нейроанатомические моносинаптические связи ГП, ДЯШ и БКЯ с ПЗК, ПСК и ВК, что предположительно является структурной основой подобных функциональных взаимодействий в системах ГП-ПЗК, ПСК, ВК; ДЯШ-ПЗК, ПСК, ВК; БКЯ-ПЗК, ПСК, ВК.

Трудность анализа полученных данных сопряжена с отсутствием в литературе сведений о динамике СМКП в ГП, ДЯШ и БКЯ. Для интерпретации в парах изученных структур корреляционных связей многосекундных СМКП, а следовательно и

характера взаимодействий нейромодуляторных, можно привлечь существующие нейрофизиологические и нейрохимические работы. Например, показано, что активация ГП при действии сенсорных стимулов (как и его электростимуляция) вызывает увеличение выделения норадреналина и его производных метаболитов в коре больших полушарий [14, 15]. Установлено также, что различные ритмы ЭЭГ (низкоамплитудная высокочастотная активность и/или высокоамплитудные медленные волны) в коре, по-видимому, связаны с импульсной активностью ГП, которое оказывает регулирующее влияние на уровень возбудимости корковых нейронов [16].

Изучение особенностей тета-ритма у крыс выявило участие ДЯШ и серотонина в этих процессах, и существенный вклад серотонинергической системы ДЯШ в регуляцию уровня бодрствования. Продемонстрированы непосредственные влияния ДЯШ на процессы поддержания уровня активности популяций нейронов неокортекса [17, 18].

Существуют данные об участии БКЯ в модуляции функциональных состояний коры и уровня ответных реакций «настораживания» при действии краткосрочных сенсорных стимулов [19]. Также предполагается, что БКЯ изменяет эндогенную осцилляторную активность нейронов пейсмейкеров неокортекса, что указывает на важнейшую роль холинергических нейронов БКЯ в модуляции биоэлектрической активности коры и ее функциональных состояний [20].

Приведенные работы (косвенно) сопоставимы с полученными нами данными о средней степени обусловленности наиболее медленных диапазонов СМКП, протекающих в ПЗК, ПСК и ВК, с динамикой аналогичных биоэлектрических процессов на уровне рассмотренных нейромодуляторных центров. Однако следует обратить внимание и на то, что в секундном диапазоне СМКП наблюдались слабые значения корреляционных связей в системах ГП-ПЗК, ПСК, ВК; ДЯШ-ПЗК, ПСК, ВК; БКЯ-ПЗК, ПСК, ВК. Эти результаты соответствуют нашим предыдущим результатам о вовлеченности СМКП секундного диапазона в специфические процессы переработки сенсорной информации, тогда как потенциалы многосекундного диапазона отражали глобальные колебания уровня общей возбудимости нейронов неокортекса [2 – 4]. Поскольку в настоящей работе записи СМКП в нейромодуляторных центрах и в высших корковых представительствах изученных сенсорных систем проводились в условиях отсутствия действия соответствующих по своей модальности сенсорных раздражителей, можно обоснованно предположить, что в этих условиях переработка сенсорной информации в ПЗК, ПСК и ВК отсутствовала. Это и объясняет слабые корреляционные связи динамики секундного диапазона в системах ГП-ПЗК, ПСК, ВК; ДЯШ-ПЗК, ПСК, ВК; БКЯ-ПЗК, ПСК, ВК. В то же самое время, по-видимому, даже в этих условиях со стороны ГП, ДЯШ и БКЯ существуют постоянные фоновые спонтанные сверхмедленные регуляторные влияния на общий уровень возбудимости нейронов ПЗК,

ПСК и ВК, что и объясняет выраженные корреляционные связи динамики многосекундных СМКП между этими структурами в состоянии покоя.

## Выводы

1. В голубом пятне, дорсальном ядре шва и базальном крупноклеточном ядре продемонстрировано наличие фоновых эндогенных спонтанных сложноорганизованных сверхмедленных колебаний потенциалов секундного (0,1–0,5 Гц), многосекундного (0,0167–0,1 Гц) и минутного (менее 0,0167 Гц) диапазонов.

2. Голубое пятно, дорсальное ядро шва и базальное крупноклеточное ядро оказывают постоянные регуляторные влияния на глобальный уровень возбудимости нейронов первичной зрительной, слуховой и вкусовой коры, что преимущественно отражается в средних значениях коэффициентов линейной корреляции многосекундных (0,0167–0,1 Гц) волн сверхмедленных колебаний потенциалов между этими структурами.

*Данная поисковая научно-исследовательская работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг.», а также при частичной поддержке гранта РФФИ (проект 14-04-00028).*

## Литература

1. *Илюхина В.А.* Мозг человека в механизмах информационно-управляющих взаимодействий организма и среды обитания. СПб.: Институт мозга человека РАН, 2004. 321 с.
2. *Филиппов И.В., Кребс А.А., Пугачев К.С.* Сверхмедленная биоэлектрическая активность структур слуховой системы головного мозга // Сенсорные системы. 2006. Т. 20. №3. С. 238–244.
3. *Филиппов И.В.* Сверхмедленные колебания потенциалов латерального коленчатого тела и первичной зрительной коры как корреляты процессов переработки зрительной информации // Сенсорные системы. 2007. Т. 21. № 3. С. 165–173.
4. *Филиппов И.В., Кребс А.А., Пугачев К.С.* Сверхмедленные колебания потенциалов центральных представительств вкусовой системы головного мозга крыс при действии различных вкусовых стимулов // Сенсорные системы. 2008. Т. 22. № 2. С. 162–174.
5. *Аладжалова Н.А.* Медленные электрические процессы в головном мозге. М., 1962. 240 с.
6. *Nakamura K., Yamamoto M., Takahashi K., et al.* State-dependency of neuronal slow dynamics during sleep observed in cat lateral geniculate nucleus // Sleep Res. Online. 2000. Vol. 3. P. 147–157.
7. *Novak P., Lepicovska V.* Slow modulation of EEG// Neuroreport. 1992. Vol. 3. P. 189–192.
8. *Swanson L.W.* Brain Maps: Structure of the Rat Brain // Second revised edition. Elsevier.: Amsterdam, 1998. 267 p.

9. Ikeda A., Nagamine T., Yarita M. *et al.* Reappraisal of the effect of electrode property on recording slow potentials // *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 1998. Vol. 107. P. 59–63.
10. Ebenezer I.S. The generation of cortical slow potentials in the rat anaesthetized with urethane and their modification by nicotine // *Neuropharmacol.* 1986. Vol. 25. № 6. P. 639–643.
11. Waterhouse B.D., Border B., Wahl L. *et al.* Topographic organization of rat locus coeruleus and dorsal raphe nuclei: distribution of cells projecting to visual system structures // *J. Comp. Neurol.* 1993. Vol. 336. № 3. P. 345–361.
12. Blasiak T., Lewandowski M.H. Dorsal raphe nucleus modulates neuronal activity in rat intergeniculate leaflet // *Behav. Brain Res.* 2003. Vol. 138. № 2. P. 179–185.
13. Robbins T.W., Everitt B.J., Ryan C.N., *et al.* Comparative effects of quisqualic and ibotenic acid-induced lesions of the substantia innominata and globus pallidus on the acquisition of a conditional visual discrimination: differential effects on cholinergic mechanisms // *Neuroscience.* 1989. Vol. 28. № 2. P. 337–352.
14. Salgado H., Garcia-Oscos F., Patel A., *et al.* Layer-specific noradrenergic modulation of inhibition in cortical layer II/III // *Cereb. Cortex.* 2011. Vol. 21. № 1. P. 212–221.
15. Anlezark G.M., Walter D.S., Arbuthnott G.W. *et al.* The relationship between noradrenaline turnover in cerebral cortex and electrical self-stimulation through electrodes in the region of locus coeruleus // *J. Neurochemistry.* 1975. Vol. 24. № 4. P. 677–681.
16. Eschenko O., Magri C., Panzeri S. *et al.* Noradrenergic Neurons of the Locus Coeruleus Are Phase Locked to Cortical Up-Down States during Sleep // *Cereb. Cortex.* 2012. Vol. 22. № 2. P. 426–435.
17. Follett K.A., Gebhart G.F. Modulation of cortical evoked potentials by stimulation of nucleus raphe magnus in rats // *J. Neurophysiol.* 1992. Vol. 67. № 4. P. 820–828.
18. Juckel G., Hegerl U., Giegling I. *et al.* Association of 5-HT1B receptor polymorphisms with the loudness dependence of auditory evoked potentials in a community-based sample of healthy volunteers // *Am. J. Med. Genet. B. Neuropsychiatr. Genet.* 2008. Vol. 147B. № 4. P. 454–458.
19. Wenk G.L. The nucleus basalis magnocellularis cholinergic system: one hundred years of progress // *Neurobiol. Learn. Mem.* 1997. Vol. 67. № 2. P. 85–95.
20. Metherate R., Cox C.L., Ashe J.H. Cellular bases of neocortical activation: modulation of neural oscillations by the nucleus basalis and endogenous acetylcholine // *J. Neurosci.* 1992. Vol. 12. № 12. P. 4701–4111.

Статья поступила в редакцию 14.03.2013

УДК 550.42:553.521(234.852)

**РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫЕ ГРАНИТОИДЫ (КУЛЕМШОР, ПРИПОЛЯР-  
НЫЙ УРАЛ)**

О.В. УДОРАТИНА\*, В.А. КАПИТАНОВА\*, Д.А. ВАРЛАМОВ\*\*

\*Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

\*\*Институт экспериментальной минералогии РАН, г. Черноголовка  
[udoratina@geo.komisc.ru](mailto:udoratina@geo.komisc.ru), [kapitanova@geo.komisc.ru](mailto:kapitanova@geo.komisc.ru), [dima@iem.ac.ru](mailto:dima@iem.ac.ru)

Рассматриваются гранитоиды южной части Торговско-Кефталькского массива, в которых развит наложенный комплекс уран-ториевых и редкометалльно-редкоземельных минералов. Гранитоиды относятся к гранитам А-типа позднекембрийского возраста, сформировались в постколлизонное время и маркируют начало рифтогенного этапа развития Урала. Минерализация связана с натровым щелочным метасоматозом, проявленным в зонах катаклаза и милонитизации гранитоидов.

**Ключевые слова:** редкометалльная минерализация, граниты А-типа, Приполярный Урал

O.V. UDORATINA, V.A. KAPITANOVA, D.A. VARLAMOV. RARE METAL GRANITOIDS (KULEMSHOR, SUBPOLAR URALS)

Granitoids of southern part of the Torgovsko-Keftalyksky massif with the developed complex of uranium-thorium and rare-metal-rare-earth minerals are considered. Granitoids belong to the A-type granites of the Late Cambrian period and were formed during the post-collision time, they mark the beginning of the rift stage of the Urals development. Mineralization is connected with sodium alkaline metasomatism shown in zones of cataclasis and mylonitization of granitoids.

**Key words:** rare-metal mineralization, A-type granites, Subpolar Urals

**Введение**

На севере Урала допалеозойские гранитоиды широко развиты в полях древних метаморфитов. Нередко с ними связана редкометалльная минерализация, иногда формирующая месторождения. На Приполярном Урале в зоне Центрально-Уральского поднятия гранитоиды пользуются значительным распространением. За более чем 60-летнюю историю изучения были освещены вопросы их геологии, петрографии, петрохимии, геохимии и рудоносности [1–3]. Полученные за последние годы результаты существенно дополняют и расширяют знания о них. Кроме того, эти данные позволяют показать, в какой связи (генетической или парагенетической) находились гранитоидный магматизм и оруденение.

**Геолого-петрографическая характеристика пород.** Исследуемые гранитоиды развиты в верховьях р. Торговой на Приполярном Урале. Это самый южный выход крупного Торговско-Кефталькского массива, вскрытого в пределах южной части Ляпинского мегаантиклинория, расположенного на Центрально-Уральском поднятии (рис.1). Выходы этого массива наблюдаются в виде группы тел,

протягивающихся в субмеридиональном направлении на 45 км. В южном окончании массива мощность выходов гранитоидов резко сокращается, и они постепенно выклиниваются, образуя небольшое количество пластовых тел мощностью 100–500 м.

Породы массива относятся к сальнерско-маньхамбовскому гранодиорит-гранитному комплексу [4], выделение которого является спорным в связи с появлением новых геохимических и геохронологических данных [5, 6]. Гранитоиды прорывают зеленосланцевые метаморфиты саблегорской свиты (RF- $E_1sb$ ), в западной части массива между ними наблюдаются четкие интрузивные контакты, а в восточной части – контакт тектонический. Породы массива перекрываются нижеордовикскими отложениями тельпосской свиты (O<sub>1</sub>t), которые в изобилии содержат продукты разрушения гранитоидов [7]. Гранитные тела конформны вмещающим отложениям.

Массив многофазовый, основная его часть сложена крупнозернистыми биотитовыми и двуслюдяными гранитами, часто гнейсо- и порфирированными. Отмечается наличие гранодиоритов и тоналитов, отнесенных нашими предшественниками к гибридным породам фации эндоконтактов, жиль-

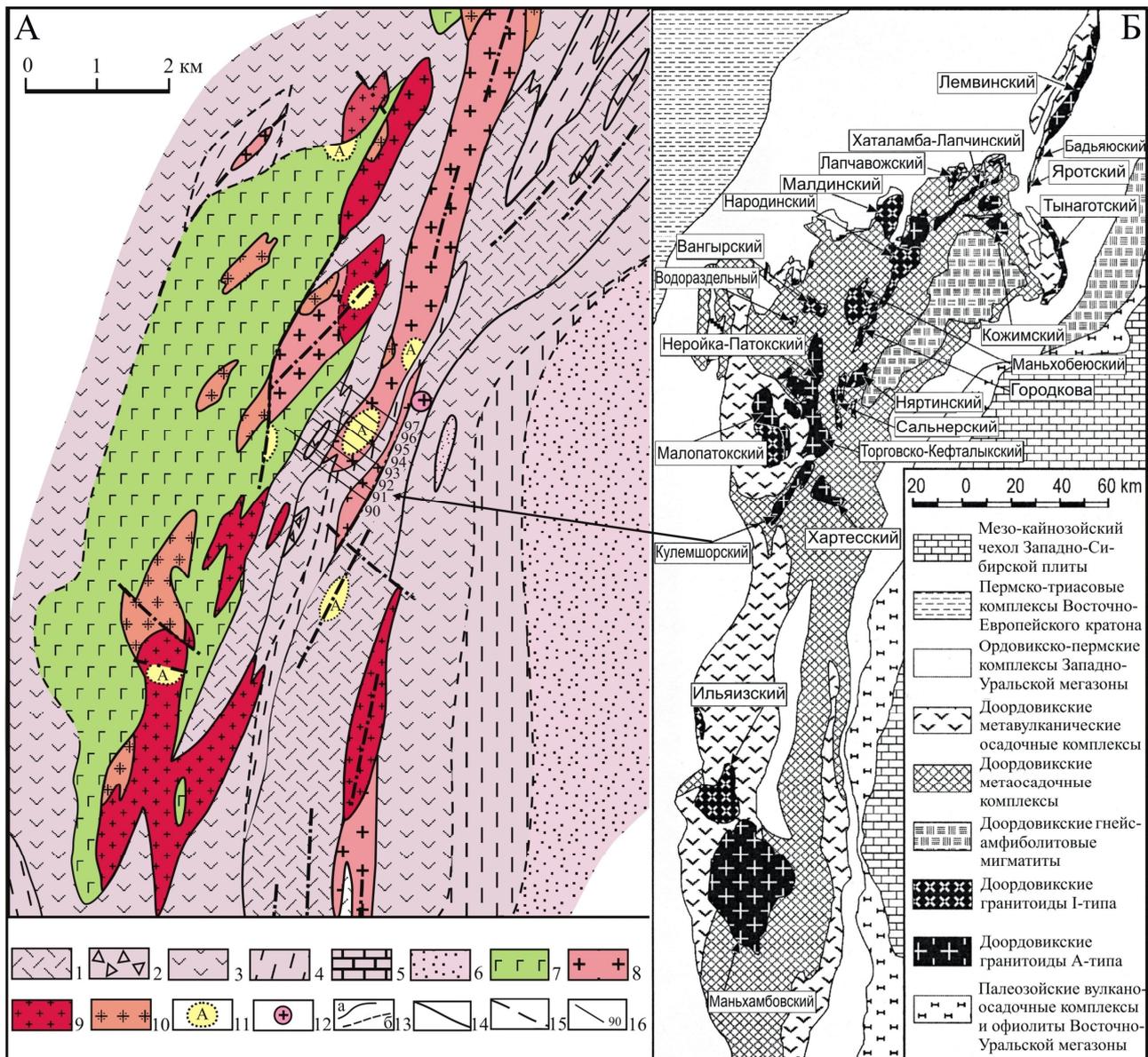


Рис. 1. А – Схематическая геологическая карта (по Е.П. Калинину, В.Н. Пучкову, Н.П. Юшкину, 1968 г.). Рифейско-кембрийские отложения: саблгорская свита ( $RF_3-C_1sb$ ): 1 – кварцевые порфиры и их туфы, 2 – вулканокластические образования в поле кислых эффузивов, 3 – порфириты и их туфы, 4 – кварц-серицит-хлоритовые сланцы; мороинская свита ( $RF_3mr$ ): 5 – линзы мраморизованных известняков и известковистых сланцев; хобеинская свита ( $RF_3hb$ ): 6 – кварциты, гравелиты, кварц-серицитовые сланцы. Интрузивные породы: 7 – габбро, габбро-диабазы; 8 – граниты главной интрузивной фации (торговский тип); 9 – граниты апикальной фации (кефталыцкий тип); 10 – гибридные породы (плагιοграниты, гранодиориты, диориты) фации эндоконтактов; 11 – зоны альбитизации; 12 – включения микропегматитовых гранитов в кислых эффузивах и их туфах. Геологические границы: 13 – установленные (а), предполагаемые (б); линии тектонических нарушений: 14 – установленные, 15 – предполагаемые (зона катаклаза в изверженных породах), 16 – номера профилей проботбора. Б – Общая геологическая схема размещения гранитоидных массивов Центрально-Уральского поднятия. Названия массивов даны в рамках.

ные породы представлены дайками метадолеритов и аплитов. Формирование этих пород по ряду данных происходило при температуре 535–600° С, по совокупности признаков породы массива формировались в гипабиссальных условиях и в общем близких производным сухих гранитоидных магм [7].

#### Материалы и методы исследований

Опробованы гранитоиды южного окончания массива (в верховьях р. Морткулемшор, бассейн р. Торговой) и так называемые метаграниты (альбитизированные граниты), обогащенные уран-ториевыми и редкометалльно-редкоземельными мине-

ралами. Проведено их комплексное изучение (положение точек опробования показано на рис.1). Вкрест простирания рудной зоны по профилям 91–97, расстояние между которыми составляет 250 м, через каждые 100 м были взяты пробы (91-1, 91-2...91-16а), исследования гранитных пород приведены ниже.

Образцы проанализированы классическим химическим методом и методом РФС в лаборатории химии Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Содержания редких и редкоземельных элементов определялись нейтронно-активационным и рентгенометрическим методами в ГЕОХИ РАН (г. Москва) и количественным спектральным анализом в ИГ Коми НЦ УрО РАН (табл. 1, 2). Ниже рассматриваются особенности минерального, химического и редкоэлементного составов изученных пород.

### Результаты исследований

Для гранитоидов (гранодиоритов и гранитов) характерны светло-серая или бежевая окраска, такситовая гнейсоватая текстура и среднекрупнозернистая структура, а их текстурные неоднородности обусловлены линейным расположением темновесных минералов.

*Гранодиориты* имеют среднекрупнозернистую blastsогранитную и порфириовидную структуру, с участками сохранившейся гранитной, гипидиоморфнозернистой. В состав породы входят следующие минералы, об. %: плагиоклаз (андезин, олигоклаз, альбит –  $Ап_{1-45}$ ) – 30, кварц – 20–25, пертитовый калиевый полевой шпат – менее 15, хлоритизированная роговая обманка – до 20, биотит – до 10. Вторичные минералы представлены альбитом, хлоритом, эпидотом и цоизитом, их содержание может достигать 20 об. %.

*Граниты* характеризуются среднекрупнозернистой blastsогранитной структурой с участками сохранившейся гранитной и графической. В их минеральный состав входят, об. %: плагиоклаз (олигоклаз, альбит –  $Ап_{3-16}$ ) – 15–40, кварц – 20–40, микроклин-пертит – 20–40, биотит – менее 10, мусковит – 1. Вторичными минералами являются стильпномелан, серицит, хлорит и эпидот.

*Альбитизированные граниты* имеют среднекрупнозернистую гранитовую, порфириовидную, blastsогранитную структуру с участками сохранившейся гранитной, графической и новообразованной гранобластовой. В минеральном составе этих разновидностей содержатся, об. %: плагиоклаз (олигоклаз, альбит –  $Ап_{3-16}$ ) – до 20, кварц – 30, микроклин-пертит – 40, биотит – 1, мусковит – 1, рудные (акцессорные) – до 5. Наблюдается новообразованный эгирин. Основные акцессорные минералы представлены алланитом, титанитом, цирконом, фторапатитом, гранатом, эпидотом, в большинстве индивидов просматривается отчетливая зональность. Широко развиты рудные минералы – магнетит (редко Ti-магнетит) и Mn-ильменит, к вторичным минералам относятся стильпномелан, серицит, хлорит и эпидот. Характерно совместное нахождение магнетита и ильменита.

В породах, слагающих Кулемшорский участок (рудное поле), отчетливо проявился динамометаморфизм, что выражено в катаклазе, а нередко и милонитизации. Микроструктура этих пород изменялась от графических, гранитных (рис. 2, а, б) до структур, в которых проявился начальный катаклаз (рис. 2, в, г), и далее до сильно катаклазированных структур и даже до структур с признаками начальной милонитизации (рис. 2, д, е). Этот факт является определяющим для локализации комплексного оруденения.

Граниты катаклазированы, на этих участках проявлен натровый метасоматоз. В породах наблюдается альбитизация, в межкатаклазовом матриксе совместно с кварц-альбитовым агрегатом присутствуют эгирин, биотит, зональный алланит, Mn-ильменит (вплоть до пирофанита), часто замещенный титанитом, а также преобразованный или новообразованный циркон. По данным микрозондового анализа, в качестве второстепенных диагностирован целый ряд редких минералов, редкоземельных и радиоактивных элементов: торит, эшинит, фергусонит (в том числе обогащенный Yb и Dy), иттриалит, ксенотим, монацит, бастнезит, синхизит, кальциоанкилит, браннерит, поликраз, колумбит, Nb-рутил, бадделит. Кроме того, выявлены геренит-(Y), торинит, разные фосфатосиликаты тория, ванадийсодержащий (до 3 мас. %  $V_2O_5$ ) эпидот (рис. 3).

К первичным могут быть отнесены некоторые минералы ниобия (в виде включений в ильмените, например, фергусонит, колумбит, Nb-рутил), частично торит (включения в первичном цирконе), а также монацит и ксенотим. Основная же часть указанных минералов носит явно наложенный характер и выделяется в виде каемок и оторочек минералов, а также заполняет трещины и межзерновые пространства. Образовались они, скорее всего, в результате преобразования первичных акцессориев – алланита, титанита, апатита, циркона под воздействием позднейшего натрово-углекислотного метасоматоза. Большинство зерен первичных акцессорных минералов (особенно их центральные зоны) содержат значительные примеси REE (апатит, алланит, даже титанит – до 3–4 мас. %  $Y_2O_3$ ), тория (алланит, циркон), стронция и фтора (апатит), и их разрушение или преобразование высвобождает редкие земли, торий, уран, а также фтор, что ведет к формированию редкоземельных и торий-урановых минералов позднего парагенезиса.

Для части пород свойственна иттриевая (с наличием тяжелых РЗЭ иттриевой группы) специализация, причем иттрий и тяжелые РЗЭ сконцентрированы в первичных титаните, апатите, реже обнаруживаются в алланите. При их метасоматическом преобразовании формируется комплекс иттриевых минералов (иттриалит, поликраз, геренит, вторичные фергусонит и ксенотим и т.п.).

Алланит (центральные части кристаллов) и апатит являются основными концентраторами легких REE на магматической стадии, и их разруше-

Таблица 1

*Химический состав (мас. %) и петрогеохимические индикаторы гранитоидов*

Компоненты	91-8	91-9	93-2	93-11	94-2	94-5	94-6	94-7	94-9	97-10	91-1	91-12	91-16а
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO <sub>2</sub>	73,68	72,30	73,61	76,08	73,36	66,93	75,29	70,17	75,12	70,96	73,16	71,56	71,95
TiO <sub>2</sub>	0,24	0,36	0,37	0,19	0,28	0,15	0,22	0,39	0,24	0,27	0,25	0,69	0,22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,37	11,74	12,81	11,18	12,02	11,33	11,83	13,26	11,66	12,90	13,68	15,69	16,63
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,68	4,25	2,56	3,18	3,25	0,87	3,38	4,27	3,09	1,98	1,22	1,48	1,70
FeO	0,48	0,67	1,06	0,45	0,44	0,50	0,35	0,14	0,49	1,17	0,74	0,83	0,52
MnO	0,06	0,05	0,07	0,04	0,04	0,01	0,01	0,06	0,02	0,07	0,04	0,01	0,02
MgO	0,43	0,49	0,09	0,06	1,15	1,10	0,43	0,73	0,59	0,54	0,71	0,12	0,73
CaO	0,77	1,08	1,19	0,68	0,96	6,35	0,15	1,40	0,35	1,85	1,02	0,13	0,27
Na <sub>2</sub> O	4,24	3,94	4,67	3,66	3,31	3,44	4,06	3,80	3,66	4,63	3,43	4,12	3,53
K <sub>2</sub> O	4,37	3,94	2,32	3,87	3,92	4,68	3,67	4,59	4,12	3,74	4,14	3,36	2,58
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,10	0,06	0,28	0,02	0,25	0,09	0,08	0,16	0,15	0,32	0,06	0,02	0,19
Ппп	0,58	1,42	0,97	0,50	1,02	4,55	0,54	1,04	0,51	1,57	1,38	1,91	1,66
Сумма	100,00	100,30	100,00	99,91	100,00	100,00	100,01	100,01	100,00	100,00	99,83	99,92	100,00
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,21	0,32	0,13	0,22	0,10	0,20	0,35	0,18	0,10	0,10	0,25	0,26	0,31
CO <sub>2</sub>	0,12	0,59	0,28	0,10	н.о.	3,79	0,08	0,17	0,11	0,71	0,12	н.о.	0,09
K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	8,60	7,90	6,90	7,50	7,20	8,10	7,70	8,40	7,80	8,40	7,60	7,50	6,10
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	1,03	1,00	0,49	1,06	1,18	1,36	0,90	1,21	1,13	0,81	1,21	0,82	0,73
a.i.	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	0,7	0,7	0,5
al'	3,45	2,17	3,45	3,03	2,48	4,59	2,84	2,58	2,80	3,50	5,12	6,46	5,64
ASI	0,94	0,92	1,04	0,98	1,05	0,51	1,08	0,96	1,05	0,86	1,14	1,47	1,83

Компоненты	93-7	94-1	94-8	95-1	95-2	95-3	95-5	97-1	97-3	93-3	95-4	97-9
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
SiO <sub>2</sub>	72,22	70,94	76,74	71,48	67,30	74,75	70,39	71,23	71,88	76,04	75,61	73,01
TiO <sub>2</sub>	0,27	0,23	0,15	0,41	0,50	0,19	0,31	0,23	0,35	0,21	0,16	0,27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,27	14,75	11,09	14,40	15,76	12,88	14,85	15,29	15,42	11,70	11,28	12,27
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,75	1,90	3,18	1,60	2,64	1,17	1,70	1,09	0,98	2,68	3,01	2,01
FeO	0,57	0,67	0,63	0,90	1,38	0,49	0,84	0,84	0,80	0,48	0,26	1,30
MnO	0,02	0,03	0,01	0,02	0,09	0,01	0,05	0,04	0,02	0,01	0,03	0,09
MgO	0,48	0,54	0,51	0,56	0,48	0,34	0,68	0,51	0,73	0,31	0,25	0,67
CaO	1,13	0,65	0,10	1,47	1,94	0,36	1,20	0,47	0,29	0,10	0,71	1,32
Na <sub>2</sub> O	4,20	3,87	2,93	3,66	4,98	4,19	4,49	3,74	4,50	3,14	3,55	4,44
K <sub>2</sub> O	2,33	5,19	4,20	4,35	3,50	4,85	4,55	4,99	3,22	4,60	4,36	4,11
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,08	0,15	0,03	0,07	0,18	0,09	0,21	0,14	0,28	0,11	0,04	0,23
Ппп	1,89	1,08	0,43	0,98	1,24	0,68	0,73	1,43	1,53	0,62	0,74	0,28
Сумма	99,21	100,00	100,00	99,90	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,33	0,18	0,05	0,29	0,23	0,18	0,25	0,22	0,18	0,18	0,10	0,18
CO <sub>2</sub>	0,10	0,15	0,02	0,10	н.о.	0,07	0,02	0,08	0,03	0,09	0,37	0,03
K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	6,50	9,10	7,10	8,00	8,50	9,00	9,00	8,70	7,70	7,70	7,90	8,60
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	0,56	1,34	1,43	1,19	0,70	1,16	1,01	1,33	0,72	1,47	1,23	0,93
a.i.	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,9	0,8	0,8	0,7	0,9	0,9	1,0
al'	5,10	4,74	2,57	4,71	3,50	6,44	4,61	6,27	8,66	3,37	3,20	3,08
ASI	1,24	1,12	1,16	1,07	1,02	1,01	1,02	1,23	1,35	1,13	0,95	0,87

Примечание. Гранитоиды 1–10 – метаалюминиевые, 11–22 – пералюминиевые, 23–25 – измененные породы. Состав пород определен методами рентгенофлуоресцентного и классического химического (обр. 91-1, 91-9, 93-7, 93-11, 95-1) анализов в ИГ Коми НЦ УрО РАН; a.i. = (Na+K)/Al, al' = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+FeO+MgO), ASI = Al/(Ca+Na+K); н.о. – не обнаружено.

*Содержание (г/т) редких и редкоземельных элементов в гранитоидах  
и характеристические отношения*

Компоненты	91-8	91-9	93-2	93-3	93-11	94-2	94-6	94-7	94-8	94-9	95-2	95-4	97-9	97-10
La	90,30	87,30	92,20	10,30	151,20	58,40	84,00	80,40	27,00	36,20	55,40	49,90	68,30	80,30
Ce	175,0	167,0	171,0	33,0	302,0	110,0	153,5	158,00	55,0	75,0	104,70	106,0	191,0	151,0
Pr*	19,80	18,90	19,00	5,82	35,20	12,80	15,50	17,20	6,90	9,00	11,70	12,70	14,70	16,00
Nd	75,40	71,90	70,50	35,80	140,00	50,30	58,20	65,20	28,80	37,10	45,00	54,50	58,00	59,80
Sm	19,20	18,20	17,80	14,40	38,40	13,90	13,70	16,40	7,88	10,20	11,50	15,90	14,90	14,40
Eu	2,58	2,78	2,28	1,97	3,35	2,10	2,20	1,62	0,97	1,27	2,45	2,55	2,27	2,15
Gd*	25,00	24,80	19,00	20,60	54,10	19,30	17,20	21,80	11,00	14,30	15,70	22,10	19,20	19,30
Tb	3,95	3,91	3,01	3,12	8,23	3,17	2,56	3,47	1,93	2,32	2,52	3,87	3,08	3,02
Dy*	24,00	23,60	18,30	18,00	50,10	20,00	15,40	20,70	12,90	14,80	15,70	26,00	18,90	18,10
Ho*	5,02	5,00	4,41	4,21	12,20	4,72	3,56	4,72	3,30	3,69	3,98	6,22	4,48	4,32
Er*	14,50	14,40	12,80	11,20	33,20	14,20	9,85	13,80	10,10	10,70	11,10	18,70	13,00	12,20
Tm*	2,20	2,19	1,92	1,67	5,03	2,23	1,48	2,03	1,70	1,71	1,74	3,26	1,99	1,78
Yb	12,00	11,95	11,40	9,11	29,00	13,30	8,10	11,80	10,80	9,93	10,10	19,70	11,60	10,50
Lu	1,88	1,90	1,88	1,44	4,91	2,26	1,30	1,90	1,85	1,71	1,73	3,70	1,88	1,72
Rb	159,0	289,1	165,4	126,5	33,7	129,5	99,5	84,20	192,0	206,1	145,00	206,1	154,4	114,2
Cs	2,25	4,79	3,27	н.о.	3,02	2,42	1,74	2,93	1,61	1,35	1,73	1,51	1,55	2,03
Sr	485,0	н.о.	115,0	145,0	99,0	155,0	37,0	70,00	130,0	180,0	190,00	385,0	160,0	240,0
Ba	660,0	640,0	645,0	500,0	1290,0	355,0	210,0	1345,00	440,0	480,0	345,00	500,0	520,0	625,0
Sc	2,37	3,55	4,24	1,68	1,49	3,86	1,43	3,48	1,13	2,55	12,30	1,59	3,63	3,44
Cr	9,46	15,70	5,84	2,75	н.о.	1,16	12,10	1,17	2,94	14,10	0,89	12,30	13,20	19,40
Co	1,37	1,57	7,57	0,91	1,05	4,02	0,25	2,64	0,94	2,55	12,90	0,62	2,39	2,85
Ni	1200,0	310,0	–	–	–	30,0	–	150,00	40,0	–	210,00	–	–	–
Se	2,07	1,11	3,71	5,41	0,33	0,38	4,10	0,15	–	7,25	0,56	8,49	6,91	3,57
As	2,35	NA	11,10	5,57	11,50	3,88	9,64	7,84	–	2,62	1,63	1,57	4,21	4,08
Sb	1,58	0,33	1,73	0,23	1,09	0,98	1,81	1,21	–	1,24	0,23	1,50	0,83	0,63
Th	47,10	38,70	45,70	19,20	146,50	34,20	15,40	23,70	–	42,00	28,60	35,80	26,50	19,30
U	7,23	3,40	2,73	3,45	7,36	13,80	1,20	2,21	–	1,82	9,26	0,92	1,03	4,20
Br	0,03	–	0,04	0,03	3,03	1,93	–	0,34	–	–	–	0,45	0,24	0,45
Hf	28,30	29,60	25,80	15,10	58,60	35,30	15,00	31,10	–	30,70	16,50	41,50	25,40	16,80
Ta	14,10	15,70	21,90	1,85	35,60	3,69	2,22	11,50	–	4,08	3,46	4,50	3,39	2,47
Zr	840,0	450,0	515,0	590,0	480,0	280,0	405,0	250,00	–	750,0	12,00	1050,0	779,0	480,0
Be <sup>1</sup>	6,70	4,70	4,90	3,80	–	–	5,40	–	12,00	8,50	–	11,00	9,90	4,70
Pb <sup>1</sup>	10,00	7,20	12,00	11,00	–	–	–	–	8,90	–	–	–	12,00	10,00
Ga <sup>1</sup>	28,00	28,00	27,00	15,00	–	–	21,00	–	170,00	26,00	–	30,00	39,00	27,00
F <sup>1</sup>	90,0	90,0	240,0	66,0	130,0	–	110,0	–	170,0	130,0	–	–	390,0	210,0
Y <sup>2</sup>	140,0	100,0	130,0	80,0	–	–	20,0	–	80,0	90,0	–	180,0	120,0	11,0
Nb <sup>2</sup>	40,00	60,00	60,00	40,00	–	–	10,00	–	40,00	70,00	–	70,00	50,00	10,00
Li <sup>3</sup>	5,00	9,00	20,00	10,00	10,00	20,00	10,00	10,00	10,00	10,00	25,00	20,00	20,00	10,00
Rb/Sr	0,33	н.о.	1,44	0,87	0,34	0,84	2,69	1,20	1,48	1,15	0,76	0,54	0,96	0,48
K/Rb	228,2	113,1	116,4	301,9	953,3	251,3	306,2	452,50	181,6	165,9	200,40	175,6	221,0	271,9
10 <sup>4</sup> Ga/Al	4,27	4,51	3,98	2,42	–	–	3,54	–	–	4,21	–	5,02	6,01	3,95
ΣP3Э	470,83	453,83	445,50	170,64	866,92	326,68	386,55	419,04	180,13	227,93	293,32	345,10	423,30	394,59
(La/Yb) <sub>N</sub>	5,07	4,93	5,45	0,76	3,52	2,96	6,99	4,59	1,69	2,46	3,70	1,71	3,97	5,16
Eu/Eu*	0,36	0,40	0,38	0,35	0,22	0,39	0,44	0,26	0,32	0,32	0,56	0,42	0,41	0,39

Окончание табл. 2

Компоненты	91-1	91-12	91-16а	93-7	94-1	94-5	95-1	95-3	95-5	97-1	97-3
La	38,50	33,30	30,50	36,90	37,20	36,60	34,90	46,00	36,80	89,20	28,00
Ce	71,0	58,50	54,80	65,60	68,60	67,0	60,70	89,0	50,40	149,00	49,80
Pr*	7,90	5,80	5,67	7,00	7,10	7,11	6,33	9,03	5,92	13,20	5,13
Nd	30,00	19,90	20,30	24,80	25,00	25,40	22,40	34,70	22,60	45,60	19,00
Sm	7,12	4,30	4,81	5,80	5,98	6,04	5,13	8,03	5,95	10,30	4,38
Eu	0,89	0,81	0,67	0,41	0,86	0,25	0,46	0,75	0,64	1,38	0,72
Gd*	9,40	6,02	6,22	8,20	7,40	7,99	7,00	10,40	7,70	12,90	5,80
Tb	1,50	0,98	1,01	1,30	1,18	1,26	1,14	1,72	1,27	2,00	0,92
Dy*	9,01	6,14	6,25	8,00	7,30	7,50	7,05	10,10	7,90	12,00	5,70
Ho*	2,09	1,46	1,46	1,81	1,68	1,71	1,68	2,27	1,85	2,71	1,32
Er*	6,03	4,38	4,28	5,18	4,85	4,88	4,90	6,70	5,49	7,70	3,97
Tm*	0,91	0,66	0,63	0,79	0,72	0,70	0,73	1,02	0,84	1,18	0,58
Yb	5,18	4,03	3,72	4,50	4,30	4,10	4,33	5,66	4,98	6,50	3,48
Lu	0,90	0,67	0,62	0,74	0,69	0,65	0,71	0,97	0,88	1,12	0,57
Rb	254,3	340,80	105,70	75,60	369,80	140,9	116,10	153,5	163,30	542,30	101,90
Cs	5,17	6,49	2,73	5,25	1,67	1,04	1,48	1,55	2,20	3,82	3,10
Sr	255,0	175,00	75,00	99,00	180,00	50,0	105,00	400,0	250,00	180,00	375,00
Ba	960,0	500,00	380,00	365,00	560,00	255,0	330,00	470,0	515,00	710,00	175,00
Sc	8,07	5,82	3,93	9,79	3,19	4,35	8,82	4,78	7,44	4,48	4,75
Cr	28,30	1,54	6,26	2,45	4,60	3,33	6,72	0,91	4,81	7,06	17,90
Co	6,42	7,22	1,16	2,03	4,18	1,15	5,47	1,19	3,70	2,00	2,98
Ni	1400,0	330,00	–	160,00	130,00	100,0	10,00	–	–	–	–
Se	н.о.	2,28	8,06	0,38	1,95	3,25	0,83	6,45	3,10	1,53	4,50
As	20,90	22,00	4,22	2,32	5,00	2,36	5,68	6,22	50,90	5,72	3,34
Sb	0,22	0,78	0,20	0,49	0,09	0,09	0,52	0,40	0,87	1,65	1,30
Th	26,20	31,00	24,60	20,80	28,20	18,40	20,40	24,10	17,30	47,00	20,80
U	1,14	8,93	1,84	6,70	6,20	0,93	4,10	6,54	3,84	1,50	3,53
Br	0,06	0,05	н.о.	3,31	0,02	0,03	2,67	0,46	0,15	0,05	0,36
Hf	6,71	10,60	9,65	14,30	7,59	6,00	12,50	12,50	7,87	8,58	7,73
Ta	12,70	10,60	3,69	7,53	6,16	1,60	1,06	2,58	1,17	14,00	2,01
Zr	125,0	280,00	65,00	140,00	245,00	200,0	38,00	145,0	245,00	220,00	340,00
Be <sup>1</sup>	3,60	4,40	3,80	–	5,60	2,50	–	4,40	–	3,70	2,60
Pb <sup>1</sup>	15,00	23,00	8,10	–	200,00	14,00	–	11,00	–	5,90	17,00
Ga <sup>1</sup>	13,00	31,00	7,20	–	20,00	17,00	–	12,00	–	16,00	14,00
F <sup>1</sup>	190,0	330,00	240,00	240,00	220,00	120,0	–	120,0	520,00	630,00	990,00
Y <sup>2</sup>	–	–	50,00	–	60,00	40,0	–	40,0	20,00	50,00	20,00
Nb <sup>2</sup>	–	–	30,00	–	30,00	10,00	–	30,00	10,00	40,00	10,00
Li <sup>3</sup>	19,00	16,00	14,00	10,00	20,00	10,00	10,00	10,00	20,00	22,00	33,00
Rb/Sr	1,00	1,95	1,40	0,76	2,05	2,80	1,10	0,38	0,65	3,00	0,27
K/Rb	135,1	81,80	202,60	255,90	116,50	275,7	311,00	626,3	231,10	76,40	262,32
10 <sup>4</sup> Ga/Al	1,80	3,73	0,82	–	2,56	2,83	–	1,76	–	1,98	1,72
ΣPЗЭ	151,93	113,65	110,44	134,13	135,66	134,59	122,56	180,35	116,42	265,59	101,37
(La/Yb) <sub>N</sub>	5,01	5,57	5,53	5,53	5,83	6,02	5,43	5,48	4,98	9,25	5,42
Eu/Eu*	0,33	0,49	0,37	0,18	0,40	0,11	0,23	0,25	0,29	0,37	0,44

Примечание. Содержания редких и редкоземельных элементов определены: <sup>1</sup> – количественным спектральным анализом в ИГ Коми НЦ УрО РАН; нейтронно-активационным методом (\* – данные, полученные экстраполяцией) и <sup>2</sup> – рентгенорадиометрическим в ГЕОХИ РАН, Москва; <sup>3</sup> – атомно-абсорбционным методом в ИГ Коми НЦ УрО РАН; н.о. – не обнаружено.

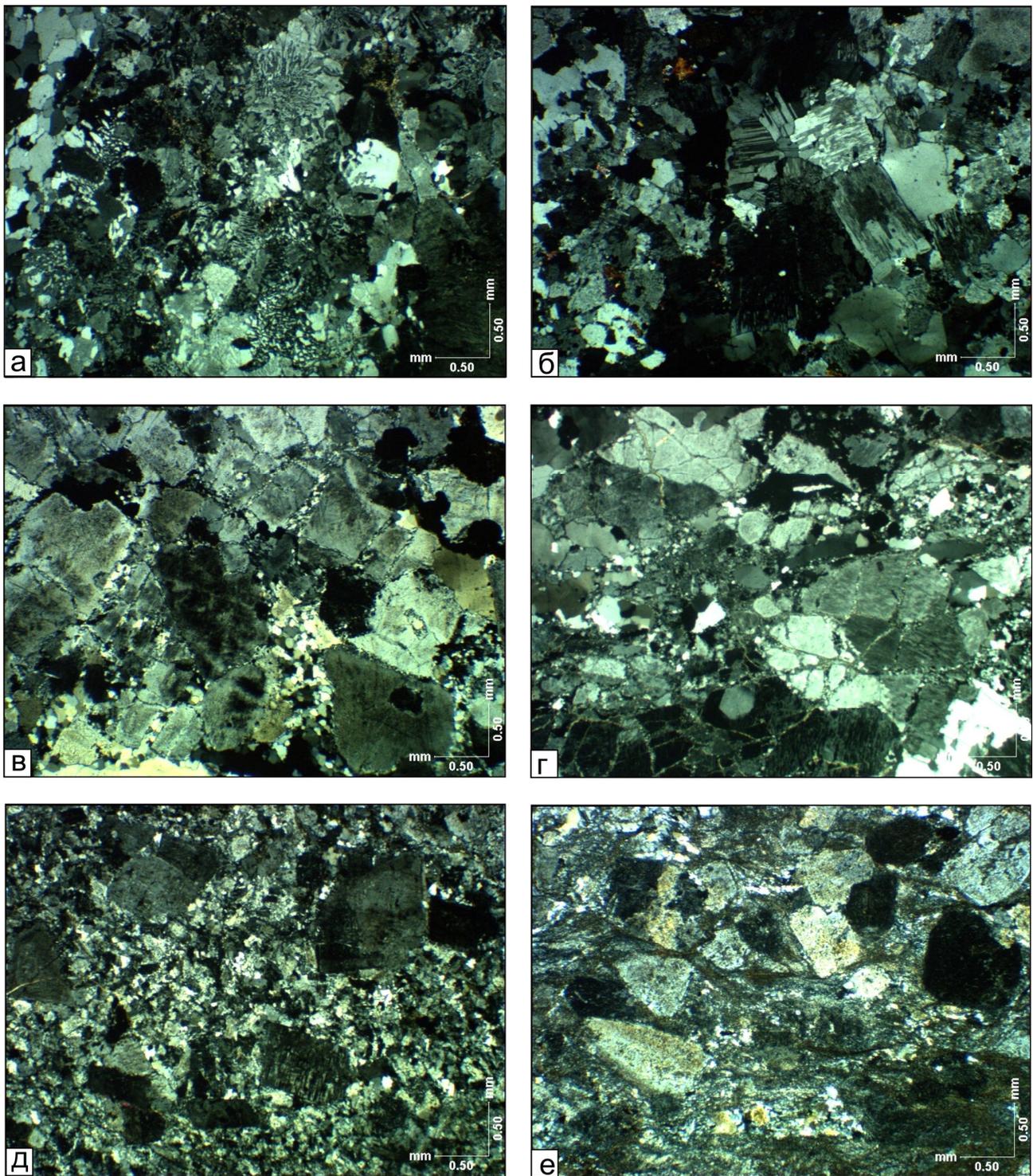


Рис. 2. Примеры изменчивости микроструктур гранитоидов: а, б – первичные графическая и гранитная структуры (обр. 94-5а, 91-16); в, г – начало катаклаза (обр. 97-9, 93-3); д – сильно катаклазированные (обр. 93-2, 95-5); е – начальная милонитизация (обр. 97-1).

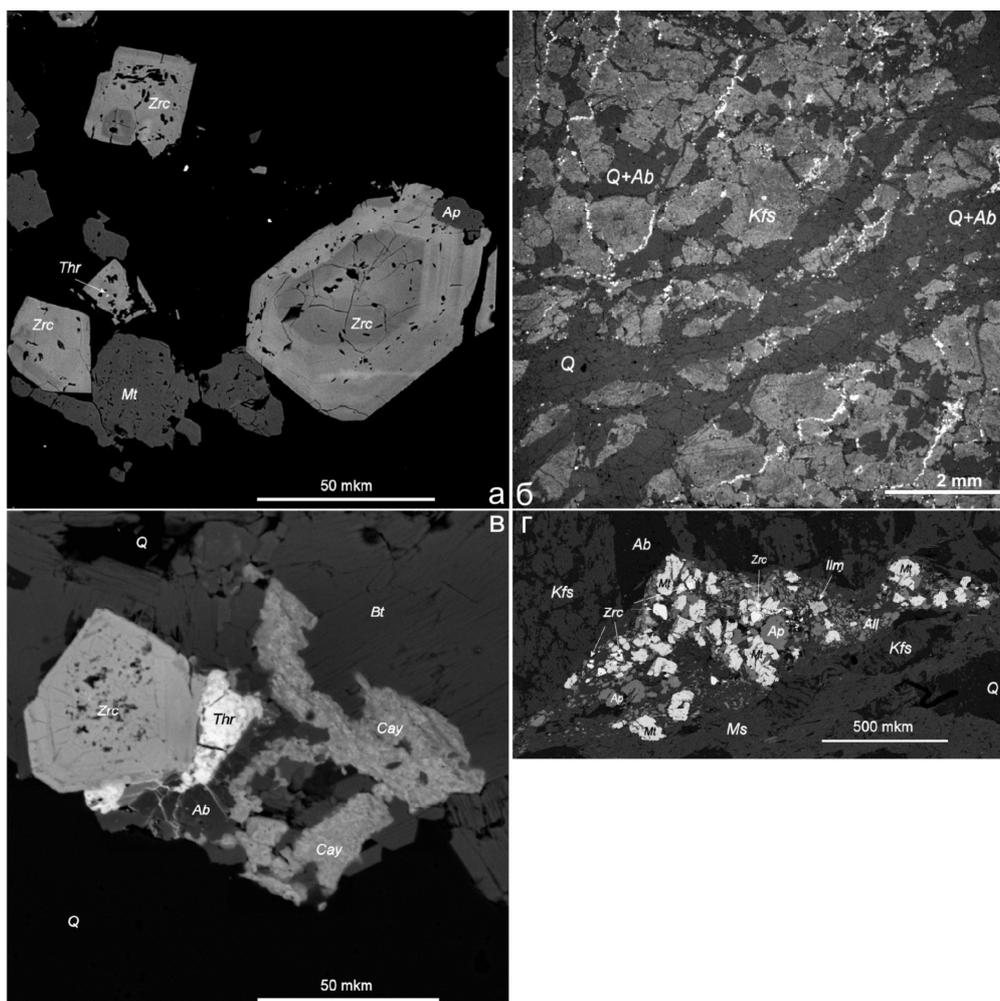


Рис. 3. Примеры минеральных ассоциаций: а, в – зональность акцессориев, в – развитие редкометалльных торита и геренита по циркону; б, г – приуроченность рудных минералов к зонам катаклаза и милонитизации (обр. 95-1, 91-1). Сокращения: Ab – альбит, Ap – апатит, Bt – биотит, Gay – геренит, Ilm – ильменит, Kfs – КФС, Mt – магнетит, Ms – мусковит, Q – кварц, Thr – торит, Zrc – циркон.

ние/преобразование ведет к формированию редкоземельных (фтор)карбонатов типа кальциоанкилита, синхизита и бастнезита, а также вторичного монацита.

Ториевые фазы, иногда встречающиеся в виде оторочек по циркону, скорее всего, образовались вследствие разрушения первичного торийсодержащего циркона (рис. 3, а, в).

Урановые фазы (в отличие от ториевых) в целом не характерны для пород массива и обнаружены только в некоторых разновидностях гранитов, что, возможно, связано с локальными концентрациями урана на завершающих стадиях формирования гранитоидов [8].

Породы Кулемшорского участка отличаются широким изменением количества кремнезема (от 67 до 77 мас. %  $\text{SiO}_2$ ) и невыдержанной глиноземистостью. Граниты разделяются на две группы по содержанию  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , (мас. %): металаюминиевые (10), либо пералаюминиевые (12), в четкой зависимости от этого параметра находится и агаитовый индекс. Гранитоиды относятся к породам субщелочного ряда ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ) около 8 мас. % и характеризуются калинатовой спецификой (рис. 4, а, б; табл. 1). На

графике ASI– $\text{SiO}_2$  точки составов не образуют изолированных полей и формируют единый тренд, с увеличением кремнекислотности глиноземистость уменьшается (рис. 4, в).

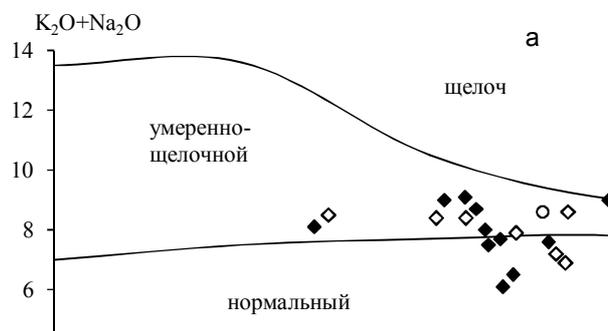
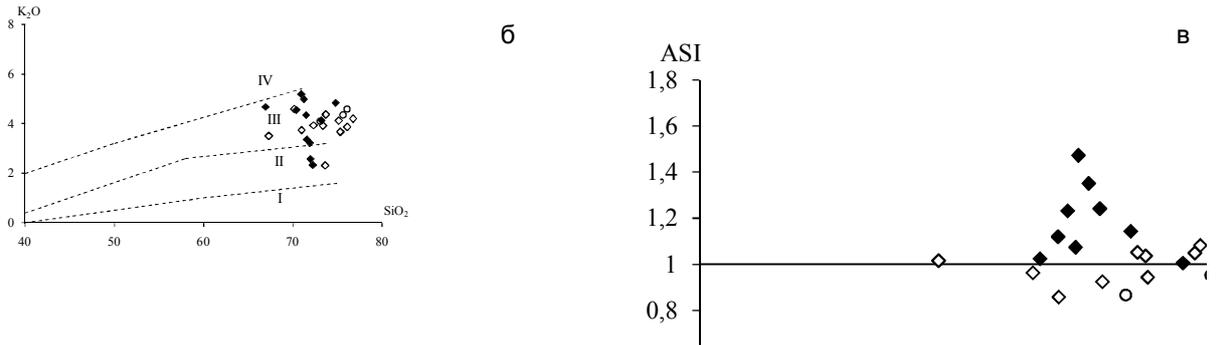


Рис. 4. Положение точек составов гранитоидов на квалификационных диаграммах: (TAS)  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$  (а);  $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$  (б), серии пород: I – толеитовая, II – известково-щелочная, III – высококальциевая известково-щелочная, IV – щелочная; ASI –  $\text{SiO}_2$  (в). Точки составов гранитоидов (здесь и далее): черные ромбы – пералаюминиевые, белые – металаюминиевые, круги – измененные породы.



Продолжение рис. 4. Положение точек составов гранитоидов на квалификационных диаграммах: (TAS)  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$  (а);  $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$  (б), серии пород: I – толеитовая, II – известково-щелочная, III – высококалиевая известково-щелочная, IV – щелочная; ASI –  $\text{SiO}_2$  (в). Точки составов гранитоидов (здесь и далее): черные ромбы – пералюминиевые, белые – металюминиевые, круги – измененные породы.

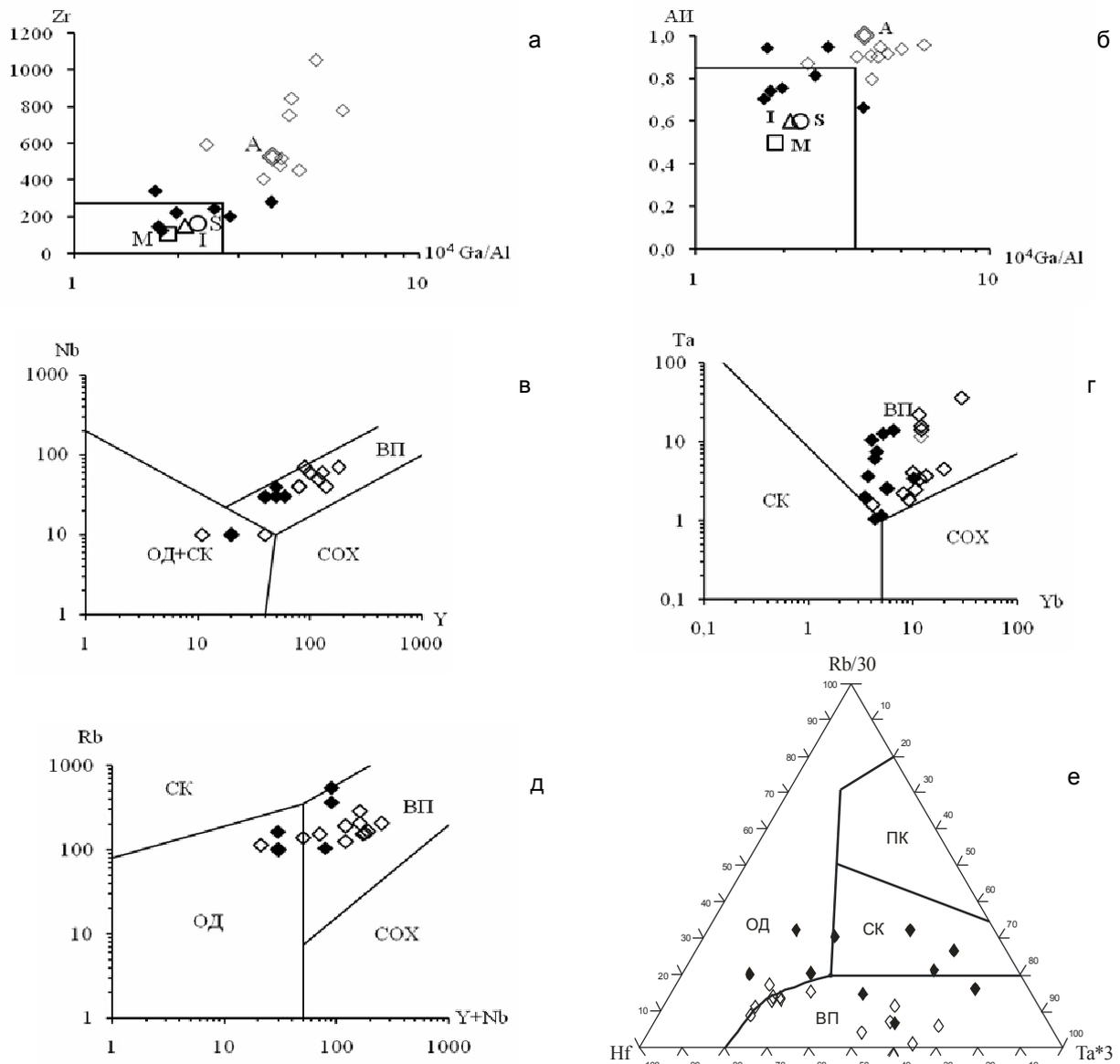


Рис. 5. Положение точек составов пород на диагностических диаграммах и диаграммах реконструкции геодинамической обстановки [9]: а, б – Whalen (1984), в, д – Pearce et al. (1984), е – Harris et al. (1987). Поля гранитоидов: СК – синколлизионных, ВП – внутриплитных, ОД – островных дуг, СОХ – срединно-океанических хребтов.

Породы массива по их субстратным характеристикам ранее были отнесены к гранитам А-типа [9]. Однако в отличие от среднего состава этих гранитов в исследуемых наблюдается повышенное содержание  $Fe_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $P_2O_5$  и более низкое –  $SiO_2$  и  $FeO$ , повышенное содержание  $Ba$ ,  $Sr$ ,  $Th$ ,  $V$ ,  $Ni$ ,  $Pb$ ,  $Y$  и пониженное –  $Rb$ ,  $Zr$ . По сравнению с А-гранитами Урала [9] отмечается повышенное содержание  $Fe_2O_3$ ,  $CaO$  и  $Na_2O$  и более низкое –  $SiO_2$ , повышенное содержание  $Sr$ ,  $Y$  и пониженное –  $Zr$ .

По нашим данным, исследуемые гранитоиды также относятся к А-гранитам, что подтверждается положением точек составов на широко известных диагностических диаграммах (рис. 5, а, б). На диаграммах, используемых для геодинамических реконструкций (рис. 5, в–д), точки составов тяготеют к полю внутриплитных гранитов [9].

По отношению к кларкам элементов в кислых породах в исследованных нами гранитах содержания выше кларка характеризуются HREE,  $Th$ ,  $Hf$ ,  $Se$ ,  $As$ ,  $Sb$ ,  $U$ ,  $Zr$ ,  $Y$ ,  $Ni$ ; ниже кларка –  $Rb$ ,  $Sr$ ,  $Cr$ ,  $Ba$ ,  $Br$ ,  $Ta$ ,  $F$ .

Для гранитоидов характерно обогащение крупноионными литофильными элементами (рис. 6). В нормированных на значения верхней коры линиях спектров выделяются образцы с высоким содержанием рудных компонентов (например, обр. 93-11).

Изменения спектров РЗЭ образцов объясняются высокой концентрацией в них минералов, содержащих редкоземельные элементы. В целом изученные породы характеризуются варьирующим содержанием РЗЭ (табл. 2). В пералюминиевых гранитах содержание  $\Sigma PZЭ$  (г/т) находится на уровне 200, в метаалюминиевых варьирует от 200 до 400, в минерализованных породах достигает 900. Спектр распределения РЗЭ – умеренно дифференцированный. Наблюдается небольшое преобладание легких РЗЭ относительно тяжелых, что отражает низкая величина отношения  $(La/Yb)_N$ , равная в среднем 6 (рис. 6, табл. 2), отмечается незначительная отрицательная европиевая аномалия  $(Eu/Eu^* - 0.37)$  [10].

Полученные нами новые геохимические данные по содержащим редкометалльную минерализацию гранитоидам позволяют предположить природу и определить геодинамическую позицию их возможного субстрата. В целом, по петрогеохимическим характеристикам эти гранитоиды являются субщелочными и соответствуют группе А-гранитов, сформировавшихся во внутриплитной обстановке. Только минерализованные граниты по своим характеристикам выделяются из общей массы пород массива повышенным содержанием редких элементов, но повторяя при этом общий вид спектра.

**Возраст гранитоидов.** Существующие более ранние результаты определения абсолютного возраста гранитоидов К-Аг методом оказались противоречивыми. Подавляющее большинство дат попадает на рубеж 230–310 млн. лет, и лишь датировка по гранодиоритам ( $535 \pm 25$  млн. лет [11]) и недавно опубликованные цифры  $542.4 \pm 4$  и  $544.4 \pm 5.1$  (U-Pb SHRIMP-II [12]) подтверждают геологические

данные. Омоложение возраста, по данным К-Аг и Rb-Sr датирования, связывается авторами с проявлением метаморфических и метасоматических процессов в конце палеозоя [13]. Полученные нами Rb-Sr данные по породе в целом ( $358 \pm 7.3$  млн. лет при  $(^{87}Sr/^{86}Sr)_0$ , равном  $0.71650 \pm 10$ , и СКВО=0.4) отражают возраст более поздних изменений гранитов [14]. U-Pb датирование по цирконам из пробы 91-9 с периферии рудного поля было проведено в ЦИИ ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург [6]). Данные по датированию приведены в табл. 3 и на рис. 7.

При микроскопических исследованиях шлифов обнаружены два типа цирконов: кристаллы ( $Zrc_1$ ) и агрегаты ( $Zrc_2$ ), имеющие сложную морфологию. В катаклазированных и альбитизированных гранитах распределение аксессуарных и рудных минералов подчеркивает структуру катаклаза. Хорошо видно, что катаклазированный  $Zrc_1$  располагается в межкатаклавовом пространстве, а  $Zrc_2$  является преили новообразованным и развивается в них совместно с рудными минералами (рис. 8).

Выделенный из породы и продатированный циркон соответствует  $Zrc_1$ . Циркон желтого цвета с зеленоватым оттенком, полупрозрачный, с включениями, характеризуется короткопризматическим габитусом (удлинение 1:2). Содержание урана в цирконе резко варьируется от 120 до более чем 2000 г/т, содержание тория – от 40 до более чем 7000 г/т. Конкордантный возраст  $Zrc_1$  составляет  $514 \pm 4.6$  млн. лет.

Преобразованный или новообразованный циркон ( $Zrc_2$ ), сформировавшийся после катаклаза гранитоидов, соответственно, развивался позднее. Поскольку с цирконами второго типа ассоциирует редкометалльная минерализация, включающая фергусонит, иттриалит, эшинит, бастнезит и другие минералы, установление генезиса агрегатов циркона и возраста его формирования является важным для определения времени ее возникновения и развития.

Таким образом, известные и недавно полученные геохронологические данные позволяют говорить о том, что геодинамические условия формирования гранитоидов на севере Урала соответствовали постколлизийным обстановкам, предшествовавшим процессам раннепалеозойского рифтогенеза. Более ранние цифры абсолютного датирования (540–535 млн. лет) могут указывать, во-первых, на то, что породы массива начали формироваться еще при коллизийных геодинамических условиях, во-вторых, на то, что в составе массива, возможно, присутствуют гранитоиды, образовавшиеся ранее при коллизийных процессах, проявившихся в это время, и реконструируются в настоящее время на территории Приполярного Урала.

## Выводы

Изученные гранитоиды по петролого-геохимическим характеристикам относятся к субщелочным и соответствуют группе А-гранитов. Граниты содержат редкометалльные аксессуарные минералы. Поэтому содержания  $Nb$ ,  $Y$ , HREE и других элементов в породах повышены и, возможно, именно благодаря этому граниты относятся к А-типу.

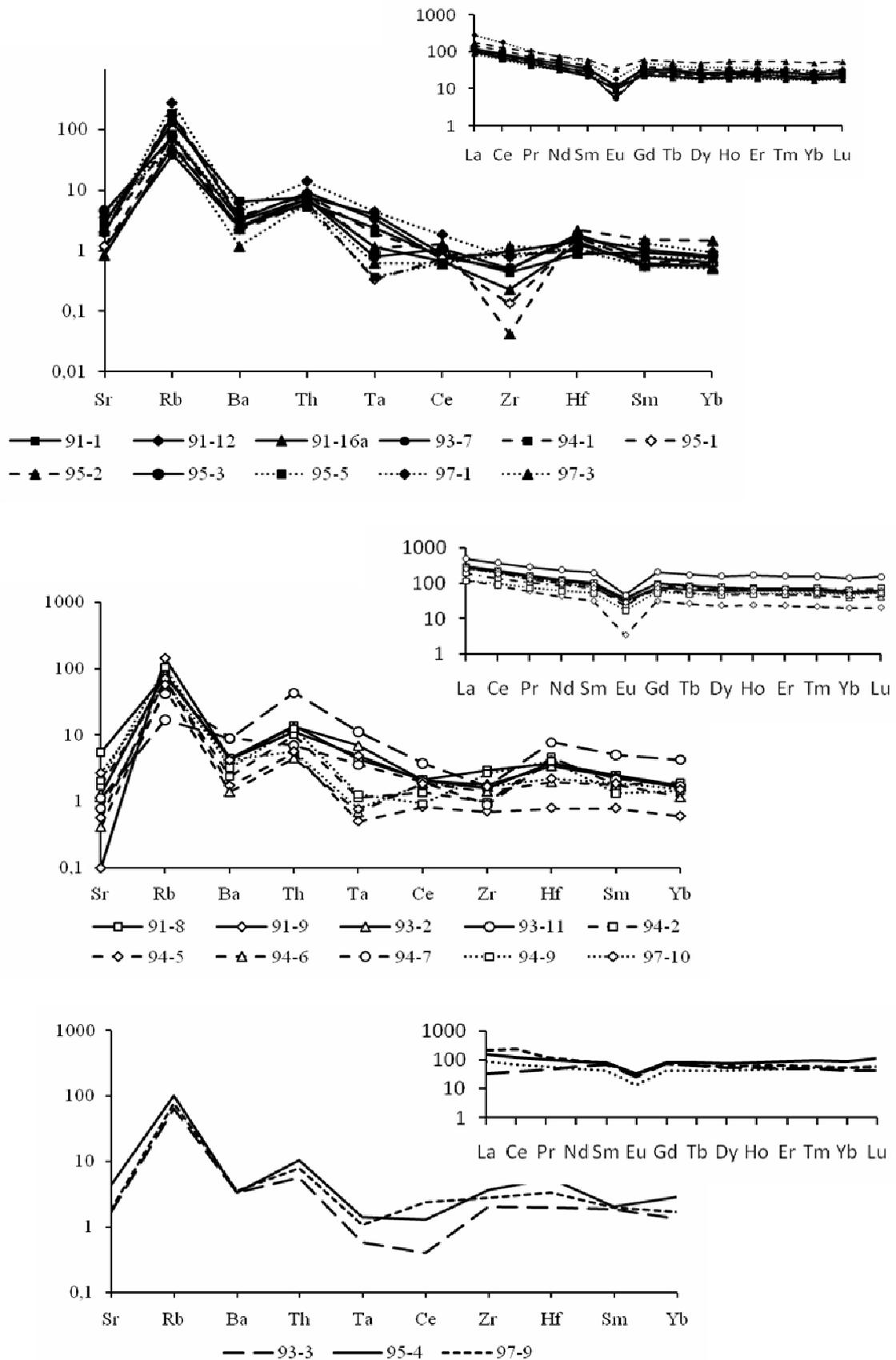


Рис. 6. Спайдер-диаграмма гранитоидов (нормированы на гипотетический гранит (Pearce, 1984) [9]. В правом верхнем углу спектры распределения РЗЭ (нормированы на хондрит C1, (Boynnton, 1984) [10]. Номера образцов соответствуют номерам в табл. 2; а – пералюминиевые, б – метаалюминиевые, в – измененные породы.

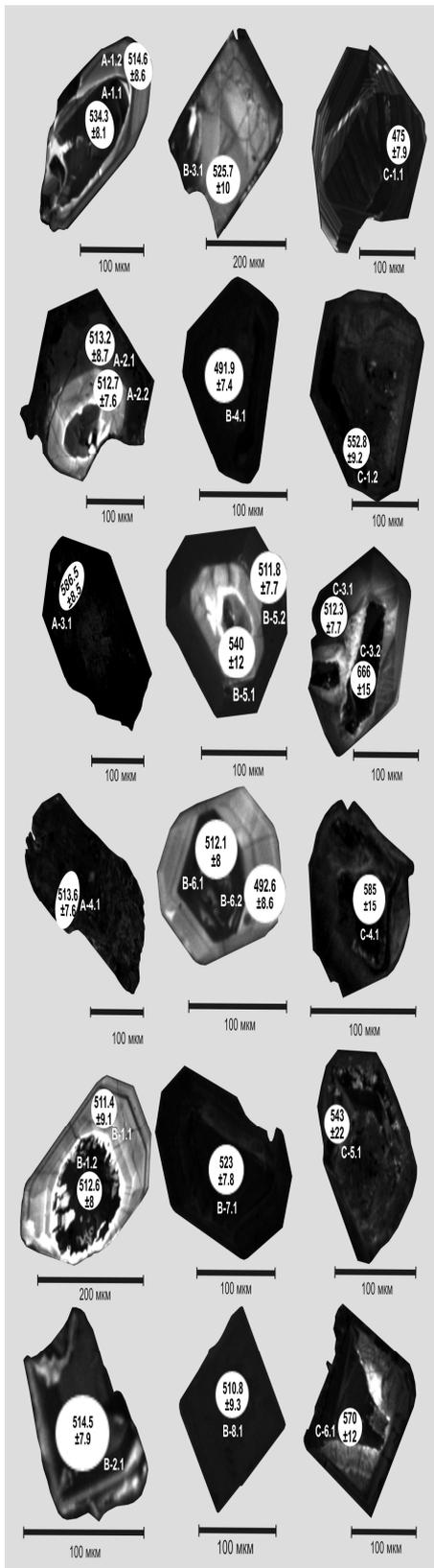


Рис. 7. Изображения цирконов в катодолуминесцентных лучах. Светлые пятна – расположение участков датирования, цифры в кружках – данные датирования, светлые цифры – номера точек, соответствующие номерам в табл. 3.

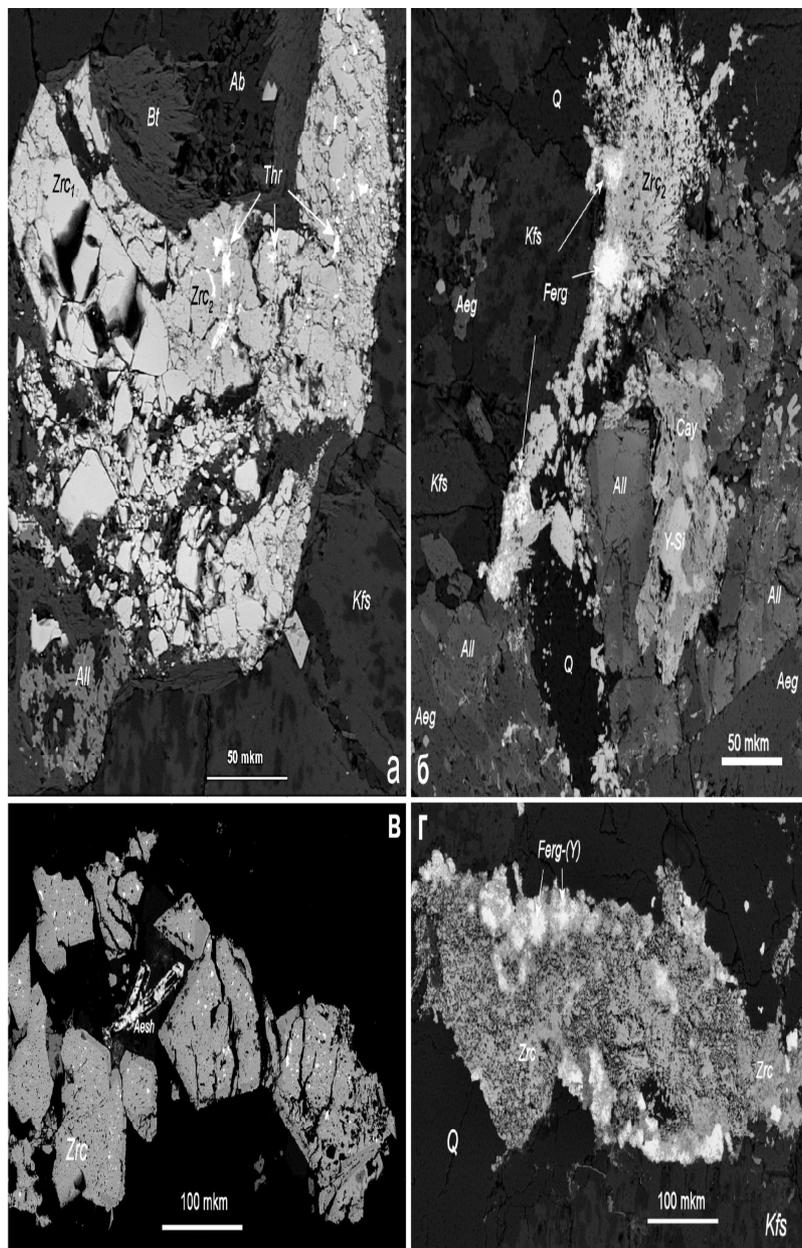


Рис. 8. Типы цирконов: а, в – катаклазированный циркон  $Zrc_1$  (обр. 94-9, 93-2); б – новообразованный циркон  $Zrc_2$  в эгирин-альбитовой породе («перистый» агрегат); г – новообразованный циркон, ассоциирующийся с фергусонитом (обр. 93-1). Сокращения: Ab – альбит, Aeg – эгирин, Aesh – эшинит, All – алланит, Ferg – фергусонит, Bt – биотит, Cay – геренит, Kfs – КФС, Q – кварц, Thr – торит, Zrc – циркон.

## Результаты U-Pb локального анализа цирконов

Номер зерна и точки	$^{206}\text{Pb}_c$ , %	U, мкг/г	Th, мкг/г	$^{206}\text{Pb}^*$ , мкг/г	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ возраст	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ возраст	d, %	$^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb} \pm \%$	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U} \pm \%$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U} \pm \%$	Rho
A-1-1	0,29	598	985	44,5	534.3±8.1	564±58	6	11,57±1,6	0,0589±2,6	0,702±3,1	0,0864±1,6	0,511
A-1-2	0,58	210	186	15,1	514.6±8.6	527±130	2	12,03±1,7	0,0579±5,8	0,664±6,1	0,0831±1,7	0,285
A-2-1	0,66	194	108	13,9	513.2±8.7	528±140	3	12,06±1,8	0,058±6,3	0,662±6,5	0,0829±1,8	0,270
A-2-2	0,24	1270	884	90,5	512.7±7.6	506±56	-1	12,08±1,5	0,0574±2,5	0,655±3	0,0828±1,5	0,519
A-3-1	2,07	4815	$^{3506}_6$	403	586.5±8.5	584±41	0	10,49±1,5	0,0595±1,9	0,781±2,4	0,0952±1,5	0,625
A-4-1	0,59	1111	599	79,7	513.6±7.6	505±71	-2	12,05±1,5	0,0573±3,2	0,656±3,6	0,0829±1,5	0,433
B-1-1	0,64	126	74	8,98	511.4±9.1	675±150	32	12,11±1,9	0,062±7,1	0,706±7,3	0,0826±1,9	0,253
B-1-2	2,09	853	692	62	512.6±8	574±130	12	12,07±1,6	0,0592±6,1	0,675±6,3	0,0828±1,6	0,258
B-2-1	0,38	449	402	32,2	514.5±7.9	563±79	9	12,03±1,6	0,0589±3,6	0,675±4	0,0831±1,6	0,401
B-3-1	1,52	120	70	8,92	525.7±10	607±250	15	11,76±2	0,0601±11	0,704±12	0,085±2	0,171
B-4-1	4,76	2067	7630	148	491.9±7.4	592±120	20	12,58±1,6	0,0597±5,7	0,652±5,9	0,0793±1,6	0,264
B-5-1	15,82	338	481	30,4	540±12	609±490	13	11,33±2,3	0,06±23	0,73±23	0,0874±2,3	0,102
B-5-2	0,32	1611	1373	115	511.8±7.7	552±54	8	12,1±1,6	0,0586±2,5	0,667±2,9	0,0826±1,6	0,536
B-6-1	4,56	1032	2956	77	512.1±8	511±160	0	12,07±1,6	0,0575±7,1	0,656±7,3	0,0827±1,6	0,223
B-6-2	1,22	198	145	13,7	492.6±8.6	531±230	8	12,59±1,8	0,058±10	0,635±11	0,0794±1,8	0,173
B-7-1	3,86	2002	817	151	523±7.8	550±100	5	11,81±1,6	0,0586±4,7	0,682±5	0,0845±1,6	0,313
B-8-1	18,96	943	2476	83,3	510.8±9.3	510±330	0	12±1,9	0,0576±15	0,654±15	0,0825±1,9	0,125
C-1-1	0,36	832	608	54,9	475±7.9	491±82	3	13,08±1,7	0,057±3,7	0,601±4,1	0,0765±1,7	0,421
C-1-2	7,20	1125	1928	93,6	552.8±9.2	608±280	10	11,13±1,7	0,0601±13	0,742±13	0,0895±1,7	0,133
C-3-1	0,25	558	1949	39,7	512.3±7.7	546±57	7	12,09±1,6	0,0584±2,6	0,666±3	0,0827±1,6	0,513
C-3-2	35,70	635	666	95,5	666±15	673±480	1	8,89±2,3	0,062±22	0,93±23	0,1088±2,3	0,102
C-4-1	45,44	663	2139	104	585±15	622±660	6	10,07±2,7	0,061±31	0,79±31	0,095±2,7	0,087
C-5-1	30,07	209	986	23	543±22	600±1100	11	11,14±4,2	0,06±51	0,73±51	0,0879±4,2	0,083
C-6-1	12,46	317	173	29	570±12	720±380	26	10,74±2,2	0,063±18	0,81±18	0,0925±2,2	0,121

Примечание  $\text{Pb}_c$  и  $\text{Pb}^*$  соответственно указывают долю обыкновенного и радиогенного свинца. Обыкновенный свинец исправлен на измеренный  $^{204}\text{Pb}$ . Погрешности даны на уровне 1  $\sigma$ . Ошибка в калибровке стандарта составляет 0.44 %. d – дискордантность:  $d = 100 \times \{[\text{возраст}(206/207)]/[\text{возраст}(206/238)] - 1\}$ . Rho – корреляция погрешностей.

Кулемшорские граниты имеют позднекембрийский возраст, который в истории развития Приполярного Урала соответствует постколлизийным процессам и началу палеозойского рифтогенеза [14].

Приуроченная к гранитоидам редкометаллическая минерализация, несомненно, образовалась позже, чем сформировались гранитоиды, так как отчетливо проявился катаклаз гранитов, но несколько позже – вопрос остается открытым.

Со временем, возможно, произошло лишь перераспределение рудного вещества. Парагенетически рудная минерализация связана с гранитами, генетически – с процессами наложенного натрово-углекислотного метасоматоза, развивающимися по зонам катаклаза, так как рудная ассоциация связана с развитием альбита, эгирина.

Исследования проводились при финансовой поддержке интеграционного проекта 09-С-5-1017 и продолжаются в рамках проекта 12-С-5-1024.

Литература

1. *Фишман М.В., Голдин Б.А.* Гранитоиды центральной части Приполярного Урала. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1963. 107 с.
2. *Лучинин И.Л.* Позднебайкальская гранит-липаритовая формация в северной части Центрально-Уральского поднятия // Вулканические образования Урала. Свердловск, 1968. С. 25–41.
3. *Калинин Е.П.* Петрохимическая и геохимическая специализация гранитов и кислых вулканитов Приполярного Урала // Петрология и минералогия севера Урала и Тимана. Сыктывкар, 1997. С. 5–10. (Тр. Ин-та геологии Коми науч. центра УрО Российской АН; вып. 94).
4. *Корреляция магматических комплексов Европейского Северо-Востока СССР* / В.Н. Охотников, В.И. Мизин, М.Н. Костюхин и др. Сыктывкар, 1986. 24 с. (Сер. препринтов «Науч. рекомендации – нар. хоз-ву» / Коми фил. АН СССР; вып. 53).
5. *Соболева А. А.* Проблема гетерогенности салнерско-маньхамбовского гранитоидного комплекса // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: Материалы региональной научно-практической конференции. Пермь, 2001. С. 34–37.
6. *Водолазская В.П., Львов Б.К., Ларин А.О.* Еще раз о возрасте и генезисе гранитоидов Приполярного Урала // Отечественная геология. 2011. № 3. С. 71–79.
7. *Металлогенический очерк вольфрамовой минерализации севера Урала* / Н.П. Юшкин, М.В. Фишман, Б.А. Голдин и др. Л.: Наука, 1972. 195 с.
8. *Удоротина О.В., Варламов Д.А., Капитанова В.А.* Иттриево-редкометалльно-ториевая минерализация гранитоидов Кулемшорского массива (Приполярный Урал), Россия // Минералогические перспективы: Материалы Международного минералогического семинара. Сыктывкар: Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, 2011. С. 284–286.
9. *Махлаев Л.В.* Гранитоиды севера Центрально-Уральского поднятия (Полярный и Приполярный Урал). Екатеринбург: УрО РАН, 1996. 150 с.
10. *Boynnton W.V.* Geochemistry of Rare Elements Meteorites Studies // Rare Earth Element Geochemistry. Amsterdam, 1984. P. 63–114.
11. *Караченцев С.Г., Вигорова В.Г., Краснобаев А.А., Степанов А.И.* Радиологическое расчленение гранитоидов Приполярного Урала // Магматизм, метаморфизм и оруденение в геологической истории Урала: III Уральское петрографическое совещание. Свердловск, 1974. С. 65.
12. *Основные черты геологического строения и минерально-сырьевой потенциал Северного, Приполярного и Полярного Урала* / Ред. А.Ф. Морозов, О.В. Петров, А.Н. Мельгунов. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2010. 274 с.
13. *Кузнецов Н.Б., Удоротина О.В., Андреев В.Л.* Палеозойское изотопное омоложение комплексов доуралид и проблема эволюции восточной окраины Восточно-Европейского континента в палеозое // Вестник ВГУ. Сер. геологическая. 2000. № 3 (9). С. 15–19.
14. *Удоротина О.В., Капитанова В.А., Куликова К.В.* Постколлизийный гранитоидный магматизм севера Урала (на примере гранитоидов Очетинского, Сядатаяхинского и Кулемшорского массивов) // Глубинное строение Тимано-Североуральского региона/Отв. ред. А.М. Пыстин. Сыктывкар: Геопринт, 2011. С. 105–130.

Статья поступила в редакцию 20.03.2013.

УДК 552.48: 552.11

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОТОЛИТОВ АМФИБОЛИТОВ И ГРАНАТОВЫХ ЭКЛОГИТОВ МАРУНКЕУСКОГО КОМПЛЕКСА (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

Н.С. УЛЯШЕВА\*, Ю.Л. РОНКИН\*\*

\*Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

\*\*Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург

[ulasheva@geo.komisc.ru](mailto:ulasheva@geo.komisc.ru), [y-ronkin@mail.ru](mailto:y-ronkin@mail.ru)

Рассмотрен химический состав метабазитов (амфиболитов и альмандиновых эклогитов) марункеуского комплекса. Показано, что протолиты этих пород сформировались по толеитовым базальтам и андезитобазальтам в геодинамической обстановке окраинного или задугового моря.

Ключевые слова: марункеуский комплекс, эклогит, геодинамическая обстановка

## N.S. ULYASHEVA, YU.L. RONKIN. CHEMICAL COMPOSITION AND GEODYNAMIC CONDITIONS OF AMPHIBOLITES AND GARNET ECLOGITES PROTOLITHS FORMATION IN THE MARUNKEU COMPLEX (THE POLAR URALS)

The chemical composition of the marunkeu complex metabasites (amphibolites and almandine eclogites) is considered. The rocks protoliths are shown to have been formed by tholeiitic basalts and andesite-basalts in geodynamic conditions of the marginal (backarc) sea.

Key words: the marunkeu complex, eclogite, geodynamic conditions

Марункеуский эклогит-амфиболит-гнейсовый комплекс располагается в пределах Собского поднятия западной тектонической зоны Урала в северной части Харбейского антиклинория. Согласно стратиграфическим схемам Урала [1] породы марункеуского и расположенного южнее него харбейского метаморфических комплексов, распространенные в пределах соответственно Марункеуского и Харбейского блоков, рассматриваются как образования разных глубинных уровней нижнего структурного этажа (PR<sub>1</sub>). В Марункеуском блоке снизу вверх выделяются марункеуская (гнейсы, эклогиты, амфиболиты) и ханмейхойская свиты (гнейсы, амфиболиты), в Харбейском – лаптаюганская, ханмейхойская (гнейсы, амфиболиты) и париквасьшорская свиты (сланцы и гнейсы). В то же время некоторые исследователи считают, что названные комплексы сформировались в принципиально разных геодинамических обстановках и должны рассматриваться как самостоятельные структурные единицы [2, 3].

Особенности геологического строения непосредственно марункеуского комплекса показаны на рис. 1. Марункеуская свита (мощность до 1000 км) прослеживается в виде серии тектонических пластов северо-западного направления протяженностью до 25 км по ручьям Марун-Шор, Няро-Шор, Нягар-Нео-Шор и хребта Марун-Кеу и характеризуется преимущественным развитием в составе экло-

гитов, крупноочковых, гранатсодержащих и биотитовых амфиболитов, гнейсов, биотитовых, роговообманковых, двуслюдяных плагиогнейсов и мигматитов. Взаимоотношения с ханмейхойской свитой – тектонические. Ханмейхойская свита (мощность 1500–2000 км) представлена субмеридионально вытянутой полосой в пределах водоразделов рек Лонготь-еган, Большая Хадата, Няровей-Хадата и Щучья протяженностью около 60 км. Она характеризуется переслаиванием равномернозернистых, плагиоклазовых, гранатовых амфиболитов и гнейсов. На изучаемой территории распространены раннепротерозойские интрузивные тела апогаббровых и апогипербазитовых эклогитов и амфиболитов, а также друзитов слюдяногорского комплекса; высокомета-морфизованных габбро-долеритовых пород вась-кеуского комплекса и ультраметаморфических автохтонных и параавтохтонных гранитоидов евьюганского (гердизского) мигматит-плагиогранитового комплекса. Взаимоотношения марункеуского комплекса с соседними толщами тектонические [4].

Исследователи неоднозначно высказываются относительно условий формирования протолитов метаморфитов Марункеуского блока, его возраста и времени метаморфических преобразований. На ранних этапах изучения рассматриваемого комплекса отмечалось, что протолиты метаморфитов, сформировавшиеся в докембрийское время, представляли собой образования древней геосинклина-

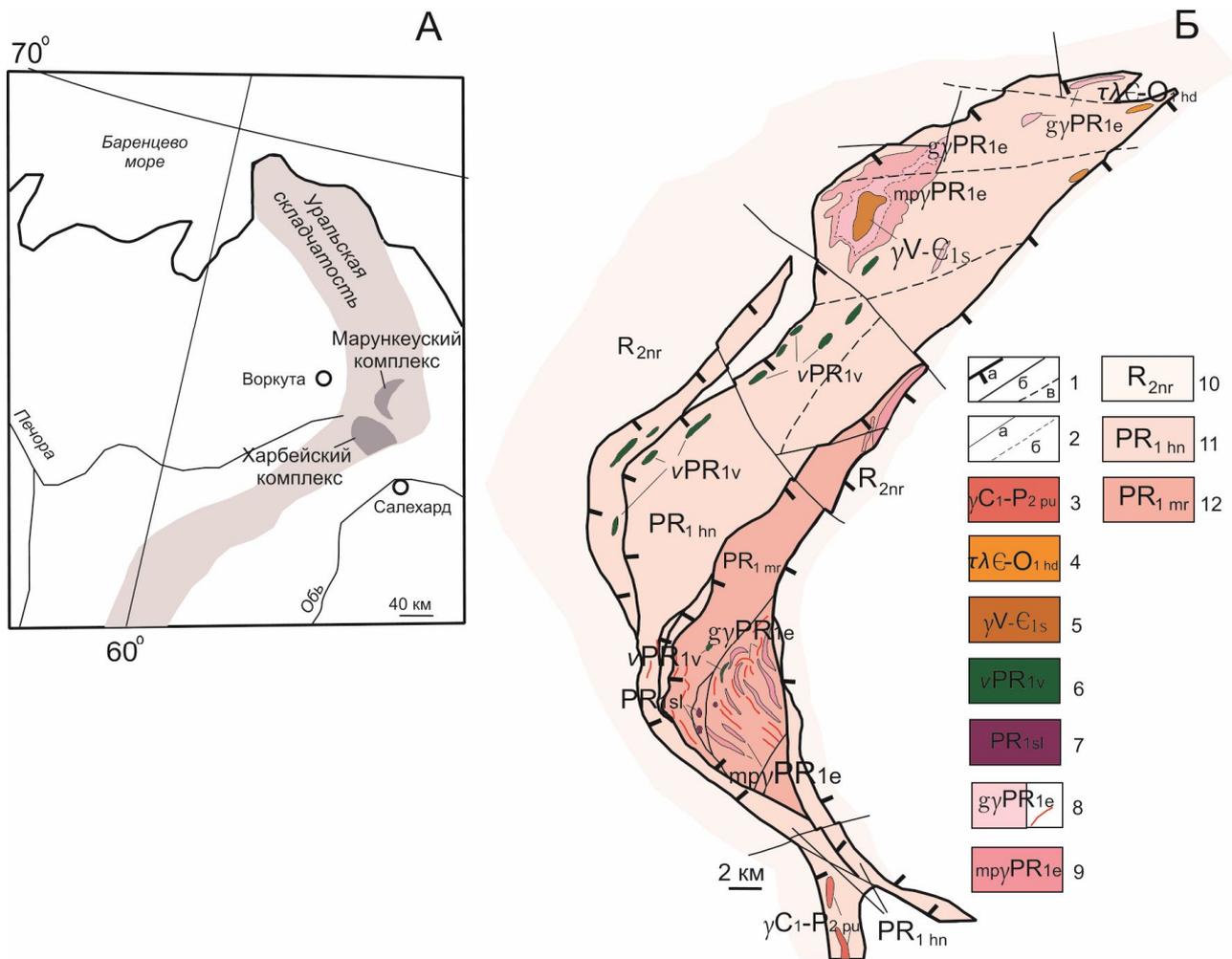


Рис. 1. Схема расположения (А) и геологическая карта (Б, по [4]) марункеуского метаморфического комплекса. Условные обозначения: 1 – разрывные нарушения: а – взросо-надвиги, б – сдвиги, в – неустановленной кинематики; 2 – геологические границы между: а – разновозрастными геологическими образованиями и литологическими подразделениями, б – фациально разными образованиями одного возраста; 3 – полярно-уральский комплекс: граниты, гранитогнейсы; 4 – хадатинский комплекс трахириолитовый гипабиссальный; 5 – сядатаяхинский комплекс гранитовый плутонический; 6 – васькеуский комплекс плуто-нический метагаббро-долеритовый гипабиссальный; 7 – слюдяногорский комплекс габбро-гипербазитовый эцлогитизированный плутонический; 8–9 – въюганский комплекс мигматит-плагиогранитовый плутонический: 8 – гранитогнейсы и пластовые тела гранитогнейсов; 9 – мигматит-плагиограниты; 10 – няроевская серия: зеленые, углеродистые сланцы, метаэффузивы, кварциты; 11 – ханмейхойская свита: амфиболиты, гнейсы, линзы мраморов и железистых кварцитов; 12 – марункеуская свита: эцлогиты, амфиболиты, гнейсы двуслюдяные гранатсодержащие.

ли или древнюю метаофиолитовую формацию [2], которые вместе с блоком фундамента (эффузивно-осадочными толщами) были опущены на большие глубины, эцлогитизированы и в дальнейшем амфиболитизированы при подъеме [5]. Есть мнение, по которому протолиты марункеуского комплекса считаются древней геосинклинальной преимущественно metabазальтовой формацией, испытавшей несколько сменявших друг друга этапов эцлогитизации и гранитизации [6]. По А.Н. Вшивцеву, протолиты эцлогитов схожи по составу с вулканитами островных дуг и океанического дна и образовались при их совмещении [7]. В работе В.А. Душина с соавторами [4] зафиксировано, что по химизму эцлогиты и амфиболиты отвечают составам толеитовых и частично известково-щелочных базальтов, близких к

континентальным внутриплитным образованиям, формировавшихся в условиях утоненной коры.

Наиболее древние значения возраста пород получены с помощью K–Ar, Pb–Pb метода датирования минералов из эцлогитов – 1.70, 1.54 млрд. лет [5]; Rb–Sr, Sm–Nd изохронных систем по породе в целом и метаморфогенным минералам – 1.68, 1.61, 1.54 млрд. лет [8]; U–Pb метода по циркону из эцлогита – 1.86 млрд. лет [9]. Эти возрастные данные, а также северо-западная ориентировка плоскостных структур, отличная от уральских, подталкивает многих ученых придерживаться позиции о раннедокембрийском возрасте метаморфитов изучаемого комплекса, представляющего собой блок платформенного основания, и пережившего свою историю в палеопротерозое [3]. Более молодые

датировки со значением 366 млн. лет (Sm–Nd метод [10]), по их мнению, могут указывать на относительно поздний этап изменения эклогитов, связанный с их эксгумацией [11] или же с повторным проявлением высокобарического метаморфизма [8]. В то же время существуют представления о том, что протолиты метаморфических пород, представленные вулканогенно-осадочной толщей активной континентальной окраины, сформировались в неопротерозойско-кембрийское время (550–670 млн. лет U–Pb и Pb метод по цирконам из островодужных интрузивных пород) на различной стадии эволюции северо-восточной части Балтики, а метаморфизм эклогитовой и амфиболитовой фаций произошел в результате субдукции и коллизии пассивной Восточно-Европейской континентальной окраины с островной дугой и соответствует возрасту 360–355 млн. лет (U–Pb метод по метаморфогенным цирконам из эклогитовых жил) [12, 13].

Предметом наших исследований являются амфиболиты и альмандиновые эклогиты, слагающие пластообразные тела в южной части марункеуского комплекса. Формы залегания рассматриваемых пород, характерные для базальтов, дают основание для предположения об их апобазальтовой природе и выводят их в ряд наиболее предпочтительных объектов для проведения палеогеодинамических реконструкций. Существуют работы, где отчетливо описывается стабильность или незначительное изменение содержания большинства элементов при полиметаморфизме базитов, в процессе которого могут изменяться лишь содержания летучих компонентов, окисного железа и кальция [3, 14]. Наименее подвижными при вторичных изменениях и наиболее приемлемыми для целей геохимических интерпретаций считаются количества редкоземельных и высокозарядных элементов: Sc, Y, Th, Ta, Nb, Hf, Zr, Pb [15].

**Амфиболиты**, залегающие в виде пластовых тел среди плагиогнейсов, имеющие северное и северо-западное простирание и относящиеся к ханмейхойской свите, нами были изучены, как уже было сказано выше, в южной части комплекса вблизи контакта с няровейской серией вдоль ручьев Няро-Шор, Харчерузь и Ингилоръеган. Они имеют серую и темно-серую окраску, сланцеватую, очковую текстуру и равномернозернистую, порфиробластовую, пойкилобластовую и лепидогранноматобластовую структуру. Породы в основном состоят из амфибола (паргасита и ферроэденита) и альбита. В качестве второстепенных минералов встречаются гранат пироп-гроссуляр-альмандинового состава (0–5 %), биотит (0–15%), клинозоизит (0–10%), кварц (3–8 %), мусковит (0–3%), хлорит (1–5%) и кальцит (0–1%). Акцессорные минералы представлены титанитом, апатитом и цирконом, а рудные – халькопиритом, магнетитом и рутилом. В амфиболитах, залегающих вблизи тектонических нарушений, распространен порфиробластический линзообразный метасоматический альбит, иногда с многочисленными включениями минералов, ориентировка которых отличается от сланцеватости ос-

новной массы. В таких породах наблюдается широкое развитие полосчатости, присутствие вторичного хлорита, милонитизированного кварца и кальцита.

По данным силикатного анализа (табл. 1), амфиболиты имеют состав умеренно глиноземистых натриевых и калиево-натриевых андезитов, андези-базальтов и базальтов нормальной щелочности (рис. 2). В альбитизированной породе (n-04/67) наблюдается повышение содержания натрия. По соотношению  $FeO / MgO - SiO_2$  точки составов пород в основном располагаются в поле толеитовой серии (рис. 3). По классификации Л.С.Дженсена амфиболиты разделяются на высокожелезистые и высокомагнезиальные разновидности (рис. 4). По соотношению компонентов  $MnO - TiO_2 - P_2O_5$  [16] они схожи с толеитами островодужных обстановок. По дискриминантной диаграмме, в которой используются все петрохимические компоненты, большинство точек составов располагаются в поле океанических базальтов (рис. 5 а).

Рассмотрим микроэлементный состав амфиболитов. Графики, построенные по составам метабазитов (табл. 2), нормализованным относительно хондрита и базальта N–COX, распределились неодинаково (рис. 6). Практически во всех проанализированных породах наблюдаются Zr–Hf и Ta–Nb аномалии и близкие к N–COX содержания остальных высокозарядных элементов. Первая группа метабазитов отличается повышенным количеством легких лантаноидов (относительно тяжелых) и крупноионных литофилов (кроме Sr), а также Ta и Nb (рис. 6 а). Во второй группе пород имеется пологий спектр распределения всех содержаний редкоземельных элементов в 10 раз выше хондритовых, невысокие содержания крупноионных литофилов и аномально низкие содержания Ta и Nb, что очень характерно для островодужных обстановок (рис. 6 б). К третьей группе относится амфиболит с горизонтальным спектром распределения содержаний редкоземельных элементов в 10 раз выше хондритовых и низким количеством крупноионных литофилов. По содержанию Nb и Ta он схож с базальтом N–COX (рис. 6 в, пр. n-04/18).

Cr–Y и Th–Hf–Ta соотношения в метабазитах показывают их схожесть с островодужными образованиями, лишь амфиболит третьей группы попадает в поле океанических продуктов (рис. 7 и 8). На дискриминантной диаграмме, где задействованы V, Y, Nb и Zr, точки составов пород располагаются в основном в океанической области (рис. 5 б).

Таким образом, в содержаниях амфиболитов сочетаются признаки островодужных (Ta–Nb и Zr отрицательные аномалии) и океанических (содержания легких лантаноидов и высокозарядных элементов) обстановок, что очень характерно для базальтов задуговых и окраинных морей. Первая группа пород схожа с платобазальтами краевых и шельфовых областей морей, в образовании которых наряду с мантийным веществом, участвует коровый материал. Амфиболиты второй и третьей групп распространены в котловинах морей и междуговых трогах и близки по составу к толеитовым

Таблица 1

**Химические составы метабазитов марункеуского комплекса, масс. %**

№ пробы Компоненты	Альмандиновые эглогиты								
	110-10	110-18	110-23	107-02	107-04	107-05	107-06	107-07	109-07
SiO <sub>2</sub>	53,19	56,31	58,38	46,05	47,84	49,67	50,63	42,63	49,46
TiO <sub>2</sub>	1,10	2,02	1,26	2,60	1,94	1,99	1,80	2,53	1,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,92	13,13	16,40	11,71	12,68	12,33	12,27	14,13	12,53
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,97	2,15	1,44	5,90	5,10	4,30	3,60	5,20	2,05
FeO	10,68	10,78	6,56	14,44	12,14	13,31	12,47	14,37	8,47
MnO	0,21	0,22	0,18	0,21	0,24	0,25	0,23	0,28	0,18
MgO	7,07	4,64	2,75	4,66	6,43	4,88	5,13	6,22	11,14
CaO	11,43	8,31	10,49	10,58	10,35	9,88	10,54	11,01	11,37
Na <sub>2</sub> O	1,68	0,56	0,31	1,55	1,79	1,35	1,83	1,75	2,22
K <sub>2</sub> O	0,03	0,20	0,33	0,03	0,06	0,04	0,03	0,12	0,04
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,29	0,27	0,74	0,20	0,68	0,21	0,25	0,10
П.п.п.	1,72	1,39	1,63	Не опр.	0,27				
Сумма	100	100	100	100	100	100	100	100	100

№ пробы Компоненты	Амфиболиты								
	110-25	Н-5	Н-6	Н-04/3	Н-04/5	Н-2*	Н-04/67	Н-04/18	Н-8
SiO <sub>2</sub>	59,08	53,51	56,59	53,18	51,57	54,68	54,14	45,49	53,34
TiO <sub>2</sub>	1,38	1,53	2,06	1,74	1,08	1,42	0,63	1,26	1,54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,87	13,59	12,86	13,28	15,87	14,38	14,7	15,11	13,42
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,29	3,62	3,67	2,92	2,61	3,50	1,82	4,18	4,04
FeO	7,80	7,42	7,96	9,44	8,43	6,63	5,81	8,46	8,89
MnO	0,17	0,24	0,19	0,21	0,17	0,20	0,19	0,42	0,16
MgO	3,10	4,85	3,18	4,27	5,91	5,02	8,93	9,10	3,85
CaO	9,01	8,09	6,90	8,17	6,67	3,90	4,90	11,09	8,60
Na <sub>2</sub> O	0,20	2,83	2,54	3,59	5,26	2,53	4,80	0,85	2,99
K <sub>2</sub> O	0,32	1,23	1,59	0,98	0,47	3,60	0,09	0,03	0,78
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,97	0,25	0,25	0,42	0,1	0,29	0,1	0,1	0,27
П.п.п.	1,82	2,84	2,22	1,80	1,96	2,65	3,99	4,00	2,13
Сумма	100	100	100	100	100	99,48	100	100	100

Примечание. Химические составы пород получены с помощью метода мокрой химии (номер пробы со звездочкой) и рентгенофлуоресцентного анализа в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН.

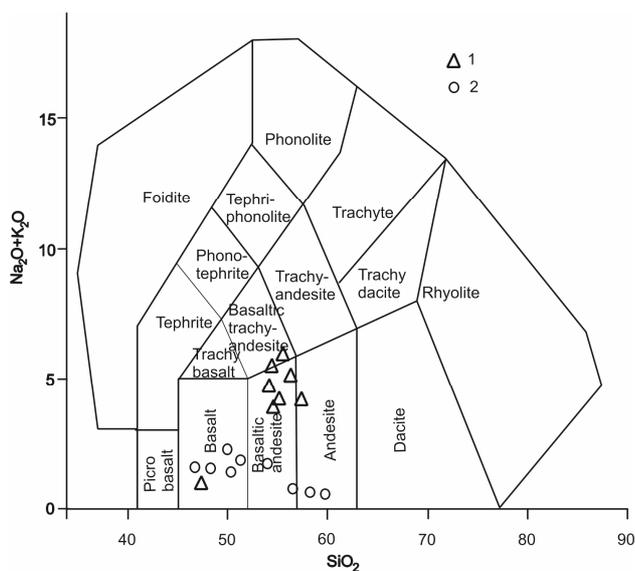


Рис. 2. Диаграмма SiO<sub>2</sub> – Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O для метабазитов марункеуского комплекса [17]. Точки составов: 1 – амфиболитов, 2 – эглогитов.

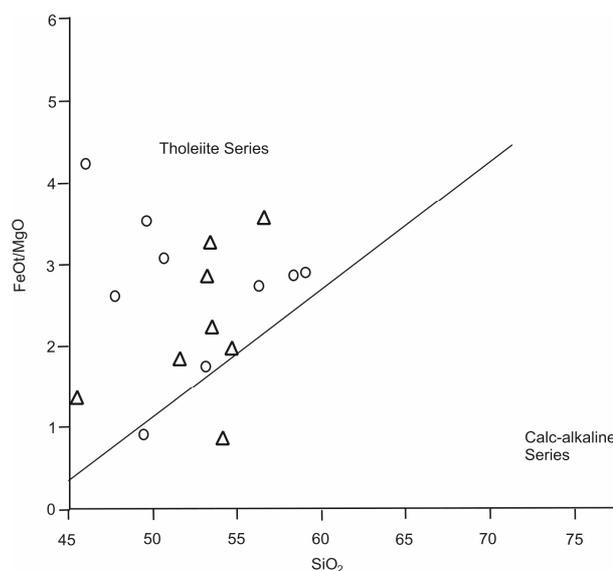


Рис. 3. Расположение точек составов метабазитов марункеуского комплекса в координатах SiO<sub>2</sub> – FeO/MgO [18]. Условные обозначения см. на рис. 1.

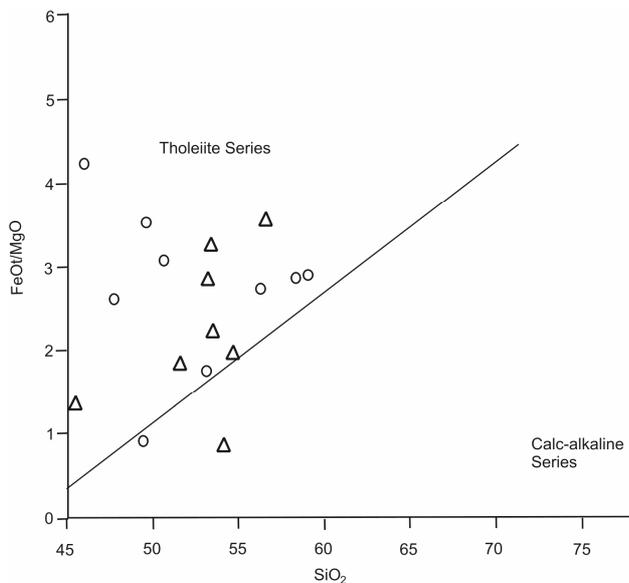


Рис. 4. Распределение точек составов метабазитов марункеуского комплекса на тройной диаграмме Al – Fe<sup>Ti</sup> – Ti – Mg [19]. Условные обозначения см. на рис. 1.

базальтам типа ВАВВ (котловины Филлипинского моря, море Скоша, задуговый прогиб Лау), в формировании которых усиливается роль мантийного источника [20, 21].

**Альмандиновые эклогиты** образуют пластообразные и линзовидной формы тела северо-западного направления среди гнейсов и мигматитов марункеуской свиты в пределах Слюдяной горки. Они имеют массивную и сланцеватую текстуру, гранонематобластовую структуру и состоят в основном из граната пироп-гроссуляр-альмандинового и гроссуляр-пироп-альмандинового рядов и светло-зеленого омфацита (19–29 % Jd). В качестве второстепенных минералов в породах встречаются порфириобласты линейно-параллельно ориентированного зеленого амфибола, а также зерна кварца, рутила и циркона.

По химическому составу эклогиты схожи с натриевыми и калиево-натриевыми низко- и умеренноглиноземистыми базальтами, андезит-базальтами и андезитами толеитовой серии (рис. 2 и 3). На диаграмме Л.С. Дженсена точки составов пород попадают в основном в область высокожелезистых толеитов (рис. 4). По тройной диаграмме Е. Д. Муллена [16] они расположились в различных областях геодинамических обстановок (толеиты островных дуг и океанов). На дискриминантной диаграмме фигуративные точки находятся вблизи границы, разделяющей поле составов базальтов срединно-океанических хребтов и океанических островов (рис. 5 а).

По распределению в эклогитах элементов примесей наблюдается схожесть их составов с амфиболитами третьей группы (рис. 6 в). Наиболее точно они совпадают по содержаниям Sr, Ta, Nb, Hf, Yb и Y, которые, возможно, являются малоподвижными даже при высокотемпературных условиях метаморфизма и схожи по их количеству с океаническими породами N–COX. На дискриминантной диа-

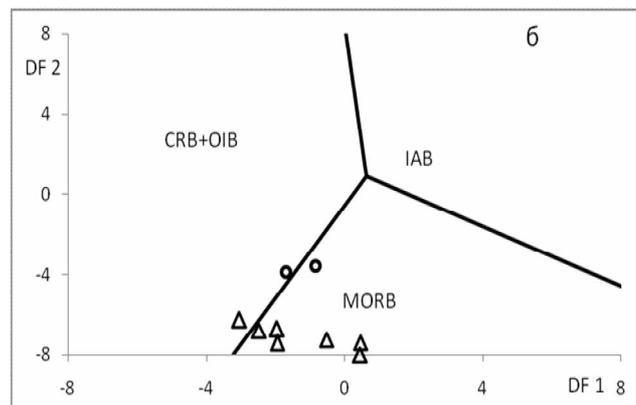
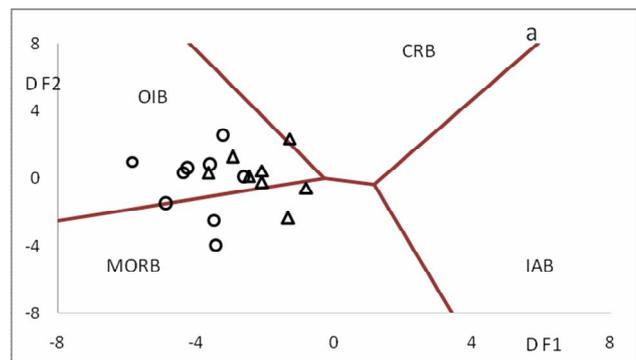


Рис. 5. Дискриминантные диаграммы для метабазитов марункеуского комплекса: а –  $DF1 = -4.6761 \times \ln(TiO_2 / SiO_2) + 2.5330 \times \ln(Al_2O_3 / SiO_2) - 0.3884 \times \ln(Fe_2O_3 / SiO_2) + 3.9688 \times \ln(FeO / SiO_2) + 0.8980 \times \ln(MnO / SiO_2) - 0.5832 \times \ln(MgO / SiO_2) - 0.2896 \times \ln(CaO / SiO_2) - 0.2704 \times \ln(Na_2O / SiO_2) + 1.0810 \times \ln(K_2O / SiO_2) + 0.1845 \times \ln(P_2O_5 / SiO_2) + 1.5445$ ;  $DF2 = 0.6751 \times \ln(TiO_2 / SiO_2) + 4.5895 \times \ln(Al_2O_3 / SiO_2) + 2.0897 \times \ln(Fe_2O_3 / SiO_2) + 0.8514 \times \ln(FeO / SiO_2) - 0.4334 \times \ln(MnO / SiO_2) + 1.4832 \times \ln(MgO / SiO_2) - 2.3627 \times \ln(CaO / SiO_2) - 1.6558 \times \ln(Na_2O / SiO_2) + 0.6757 \times \ln(K_2O / SiO_2) + 0.4130 \times \ln(P_2O_5 / SiO_2) + 13.1639$  [22]; б –  $DF1 = -0.6611 \times \ln(Nb / TiO_2) + 2.2926 \times \ln(V / TiO_2) + 1.6774 \times \ln(Y / TiO_2) + 1.0916 \times \ln(Zr / TiO_2) + 21.3603$ ;  $DF2 = 0.4702 \times \ln(Nb / TiO_2) + 3.7649 \times \ln(V / TiO_2) - 3.911 \times \ln(Y / TiO_2) + 2.2697 \times \ln(Zr / TiO_2) + 4.8487$  [23]. Поля базальтов: OIB – океанических островов, CRB – континентальных рифтов, IAB – островных дуг, MORB – срединно-океанических хребтов. Условные обозначения см. на рис. 1.

грамме С.П.Вермы точки составов пород располагаются в поле океанических вулканитов (рис. 5 б). По anomalously низким содержаниям циркония, Th–Hf–Ta и Sr–Y соотношениям эклогиты близки к базальтам вулканических дуг (рис. 7 и 8). Толеиты с подобными геохимическими признаками широко распространены в котловинах морей, а также в междугловых и задуговых трогах, в формировании которых участвовала истощенная мантия. На поздних стадиях эволюции тафrogenных впадин, наряду с толеитовыми базальтами, близкими к N–COX, появляются ультрабазиты [21], что также характерно для эклогитов марункеуского комплекса, среди которых распространены перидотиты.

Таким образом, из приведенных выше данных следует, что протолиты амфиболитов и аль-

Таблица 2

*Содержание редких и редкоземельных элементов в метабиитах марункеуского комплекса, г/т*

№ пробы Элементы	Амфиболиты							Эклогиты	
	Н-5	Н-6	Н-04/3	Н-04/5	Н-05/4	Н-04/67	Н-04/18	107-02	107-04
Li	22.2	26.1	9.7	13.1	15.1	8.2	16.7	5.59	5.34
Be	2.0	2.0	1.86	0.534	2.43	0.415	0.41	0.487	0.397
Sc	37.6	34.7	38.3	38.6	32.6	34.7	43.3	42.7	43.3
Ti	8540	11500	9030	5050	8750	2380	7070	12900	11300
V	285	361	309	281	303	218	320	479	416
Cr	57.8	16.1	21.6	80.7	58.8	246	238	3.05	25.8
Mn	1940	1780	1660	1490	2010	1410	3930	1880	2090
Co	32.7	32	24.4	32.6	41.3	30.2	52.2	61.5	57.1
Ni	25.1	14.1	15.3	61	46	141	116	16.3	60.2
Cu	39.1	44.3	84	32.3	139	65.2	41.9	22.8	27.2
Zn	132	124	123	92.3	143	78.4	111	161	136
Ga	16.5	17.3	16.4	15.3	17.9	11.3	17.2	19.9	16.2
Ge	1.5	1.3	1.6	1.3	1.6	1.3	1.9	1.5	1.5
As	1.44	1.5	1.12	1.38	16	0.947	2.76	1.62	1.65
Rb	38.7	64.9	24.1	6.98	45.3	0.928	0.342	0.25	1.15
Sr	314	243	145	126	181	116	169	109	206
Y	31.9	35.3	31.3	23	42.3	12.4	27.6	23.1	21.5
Zr	6.3	8.7	6.0	3.2	8.4	1.28	4.07	15.2	13.7
Nb	6.55	9.03	6.63	0.477	27.2	0.328	2.72	3.0	2.86
Cd	0.136	0.13	0.108	0.0242	0.125	0.0883	0.161	0.118	0.107
Sn	1.27	1.93	1.42	1.06	2.63	0.488	0.797	0.514	0.614
Sb	1.65	3.02	0.115	0.252	0.757	0.0556	1.52	0.045	0.0417
Te	0.011	0.038	0.052	0.0213	0.0992	0.014	0.0203	0.00204	0.02
Ba	324	424	102	49.3	243	13.5	5.11	2.08	10.1
La	26.9	28.6	19.6	4.59	37.8	3.13	4.08	5.85	15.5
Ce	54.5	63.3	45.4	12.2	84.5	8.64	10	17.5	40.4
Pr	7.65	8.4	6.1	1.85	10.9	1.38	1.61	2.87	6.06
Nd	32.3	35.4	26.9	9.43	46.1	7.11	8.68	15.1	29.1
Sm	7.37	7.91	6.4	3.07	10.2	2.25	3.04	4.45	6.32
Eu	1.95	2.24	1.98	1.18	2.84	0.733	1.13	1.52	1.89
Gd	6.83	7.65	6.37	3.89	9.46	2.5	4.44	5.44	5.52
Tb	1.06	1.17	0.995	0.674	1.41	0.4	0.793	0.815	0.811
Dy	6.88	7.54	6.79	4.67	9.24	2.76	5.64	5.21	4.94
Ho	1.4	1.58	1.42	1.01	1.87	0.572	1.24	1.08	0.961
Er	4.01	4.55	4.2	3.06	5.23	1.64	3.77	2.96	2.62
Tm	0.584	0.645	0.601	0.429	0.763	0.246	0.55	0.409	0.362
Yb	3.64	4.22	3.94	2.85	4.92	1.53	3.71	2.56	2.23
Lu	0.547	0.606	0.592	0.408	0.713	0.225	0.529	0.374	0.33
Hf	0.411	0.471	0.427	0.339	0.46	0.0974	0.32	0.913	0.772
Ta	0.462	0.696	0.466	0.0565	1250	0.0406	0.21	0.174	0.187
Tl	0.229	0.495	0.17	0.0642	0.29	0.00463	0.00374	n/o	0.0229
Pb	16.6	8.34	5.77	2.98	7.85	1.07	10.4	0.312	2.45
Th	3.84	6.16	3.39	0.854	7.12	0.356	0.373	0.536	0.71
U	0.892	1.57	1	0.393	1290	0.0657	0.0949	0.255	0.258

Примечание. Определение концентраций редких и рассеянных элементов выполнено путем кислотного разложения исходных образцов и дальнейшего анализа с помощью секторного масс-спектрометра с ионизацией в индуктивно связанной плазме (FS HR ICP-MS) Element2 [22].

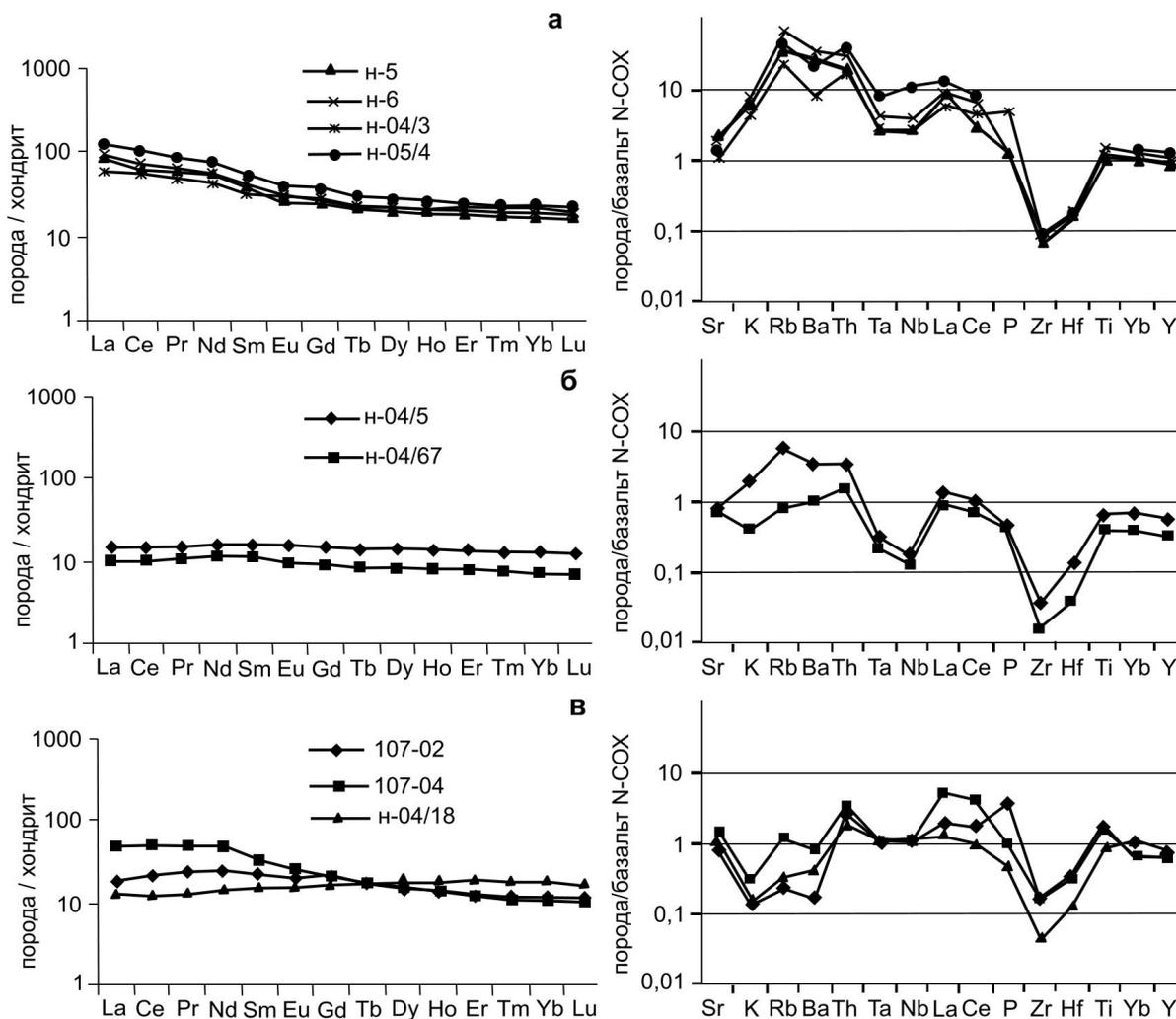


Рис. 6. Графики содержаний редких и редкоземельных элементов в метабазитах марункеуского комплекса, нормализованных относительно хондрита и породы N-COX [25, 26]. а, б, в – пояснения в тексте.

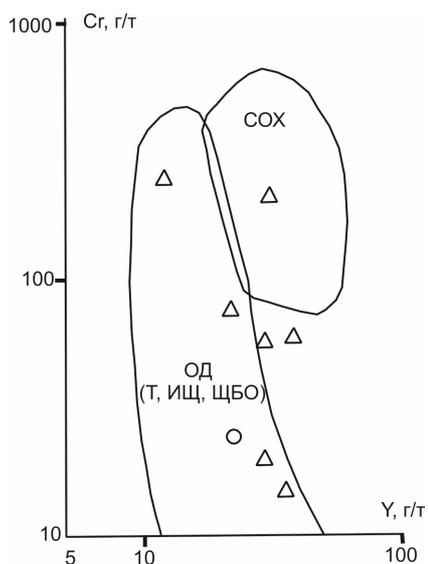


Рис. 7. Расположение точек составов метабазитов марункеуского комплекса в координатах Cr-Y [27]. Поля вулканитов: COX – срединно-океанических хребтов, ОД – островных дуг. Условные обозначения см. на рис. 1.

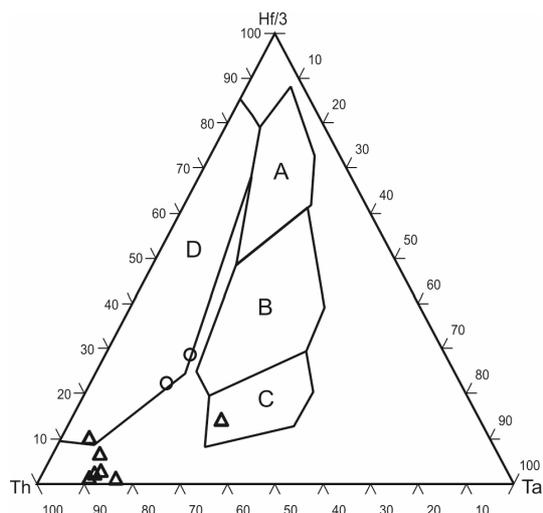


Рис. 8. Точки составов метабазитов марункеуского комплекса на дискриминантной диаграмме Hf/3-Th-Ta [28]. Поля базальтов: А – N-тип COX; В – E-тип COX; С – щелочных внутриплитных пород и их дифференциатов; D – вулканических дуг и их дифференциатов. Условные обозначения см. на рис. 1.

мандиновых эцлогитов марункеуского комплекса сформировались в единой геодинамической обстановке задугового или окраинного моря в процессе образования тафrogenных впадин в результате растяжения и утонения коры и эволюции магмы от корово-мантийного до мантийного, возможно, с последующим спредингом.

Ранее изученные нами метабазиты (амфиболиты) ханмейхойской свиты харбейского комплекса по петрохимическим и геохимическим особенностям показали сходство с континентальными и окраинно-морскими базальтами. А в целом харбейский комплекс интерпретировался нами как фрагмент краевой части континентальной области [29]. Поэтому не исключено, что протолиты метаморфитов обоих комплексов относятся к образованиям единого латерального ряда пород, сформировавшегося на границе континент – окраинное (или задуговое) море.

Авторы выражают благодарность профессору, д.г.-м.н. А. М. Пыстину за помощь при подготовке данной статьи и ценные советы.

*Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований РАН № 12-У-5-1011 и № 12-И-5-2022.*

#### Литература

1. *Стратиграфические схемы Урала* (докембрий, палеозой). Екатеринбург, 1994.
2. Душин В.А., Макаров А.Б., Сычева Э.А., Исхаков Р.А. О формационной принадлежности метаморфитов харбейского гнейсо-амфиболитового комплекса // *Геология метаморфических комплексов: Межвуз. темат. сб.* Свердловск: СГИ, 1983. С 83–90.
3. Пыстин А.М. Полиметаморфические комплексы западного склона Урала. СПб.: Наука, 1994. 208 с.
4. Душин В.А., Сердюкова О.П., Малюгин А.А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200000. Издание второе. Серия Полярно-Уральская. Листы Q-42-I, II. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. 340 с.
5. Удовкина Н.Г. Эцлогиты СССР. М.: Наука, 1985. 286 с.
6. Ленных В.И. Метаморфические комплексы западного склона Урала // *Доордовикская история Урала, 6. Метаморфизм.* Свердловск: УНЦ АН СССР, 1980. С. 3–38.
7. Вшивцев А.Н. Петрохимические особенности и первичный состав эцлогитов района Слюдяной горки (Полярный Урал, хребет Марункеу) // *Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН*, 2006. № 8. С. 14–16.
8. Андричев В.Л. Эволюция фундамента печорской плиты по изотопно-геохронологическим данным: Автореф. дис... докт. геол.-мин. наук. Екатеринбург, 2010. 47 с.
9. Андричев В.Л., Родионов Н.В., Ронкин Ю.Л. U–Pb и Sm–Nd датирование эцлогитов Марункеуского блока Полярного Урала: новые данные // *Метаморфизм, космические, экспериментальные и общие проблемы петрологии: Материалы Междунар. петрогр. совещ. Т. 4. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН*, 2005. С. 17–19.
10. Шацкий В.С., Симонов В.А., Ягоуц Э. и др. Новые данные о возрасте эцлогитов Полярного Урала // *ДАН*. 2000. Т. 371. № 4. С. 519–523.
11. Пыстин А.М., Пыстин Ю.И. Высокобарический метаморфизм в истории формирования земной коры Урала // *Метаморфизм, космические, экспериментальные и общие проблемы петрологии: Материалы Междунар. петрогр. совещ. Т. 4. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН*, 2005. С. 194–195.
12. Куликова К.В., Варламов Д.А. Особенности метаморфической эволюции марункеуского эцлогит-гнейсового комплекса (Полярный Урал): Материалы конференции «Геодинамика, рудные месторождения и глубинное строение литосферы» (чтения памяти академика А.Н. Заварицкого). Екатеринбург, 2012. С. 152–154.
13. Glodny J., Pease V., Montero P., Austrhiem, H., and Rusin. A. Protolith ages of eclogites, Marun Keu Complex, Polar Urals, Russia: Implications for the pre- and early Uralian evolution of the NE European continental margin // *The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica. Geological Society, London, Memoirs*, 2004. Vol. 30. P. 87–105.
14. Пыстин А.М., Пыстина С.Н., Ленных В.И. Изменения химического и минерального состава габброидов при метаморфизме (западный склон Южного Урала) // *Щелочные, основные и ультраосновные комплексы Урала/Труды Ильменского государственного заповедника. Вып. XV.* Свердловск, 1976. С. 41–54.
15. *Интерпретация геохимических данных: Учеб. пособие / Под ред. Е. В. Склярова.* М., 2001. 288 с.
16. Mullen E.D. MnO / TiO<sub>2</sub> / P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1983. Vol. 62. P. 53–62.
17. Middlemost E. A. K. Naming materials in the magma igneous rock system // *Earth-Sciences Reviews* 37, 1985. P. 215–224.
18. Miyashiro A. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins: *Am. Jour. Sci.* 1974. Vol. 274. P. 321–355.
19. Jensen L. S. A new cation plot for classifying subalkaline volcanic rocks: *Ontario Geol. Survey, Misc. Paper* 66, 1976. 22 p.
20. Фролова Т.И. Магматизм окраинных и внутренних морей и его роль в их образовании // *Проблемы глобальной геодинамики. ОГПГН РАН.* 2003. Вып. 2. С. 247–275.
21. Фролова Т.И., Бурикова И.А. Магматические формации современных геотектонических обстановок: Уч. пособие. М.: МГУ, 1997. 320 с.
22. Verma S.P., Guevara M., Agrawal S. Discriminating four tectonic settings: Five new geochemical diagrams for basic and ultrabasic vol-

- canic rocks based on log-ratio transformation of major-element data // *J. Earth Syst. Sci.* 115, 2006. №. 5, October, P. 485–528.
23. *Wood D.A.* The application of a Th–Hf–Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth and Planetary Science Letters* 50, 1980. P. 11–30.
24. *Verma S.P., Agrawal S.* New tectonic discrimination diagrams for basic and ultrabasic volcanic rocks through log-transformed ratios of high field strength elements and implications for petrogenetic processes: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. Vol. 28. №1. 2011. P. 24–44.
25. *Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П., Голик С.В. и др.* Мультиэлементный анализ геологических образцов кислотным разложением и окончанием на HR ICP-MS Element2 // Информационный сборник научных трудов ИГГ УрО РАН. Екатеринбург, 2005. С. 423–433.
26. *Tarney J., Saunders A. D., Matthey D. P., Wood D. A. and Marsh N. G.* Geochemical aspects of back-arc spreading in the Scotia Sea and western Pacific // *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* 300. 1981 P. 263–285.
27. *William V. Boynton.* Geochemistry of Rare Earth Elements Meteorite Studies // *Rare Earth Element Geochemistry*. Amsterdam, 1984. P.11–30.
28. *Pearce J.A.* Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries // *Thorpe R. S. Andesites*. Wiley, Chichester, 1982. P. 525–548.
29. *Кузнецова (Уляшева) Н.С.* Состав и условия формирования мафитов харбейского комплекса (Полярный Урал) // *Литосфера*. 2008. № 1. С. 51–64.

*Статья поступила в редакцию 30.04.2013.*

УДК 621.644:620.172.251.2

## **ВЛИЯНИЕ ПРОТЕКАЮЩЕГО ПО ПОДЗЕМНОМУ ТРУБОПРОВОДУ ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НА ПОТЕНЦИАЛ «ТРУБА–ЗЕМЛЯ»**

**А.В. ФУРКИН\***, **М.В. ТРЕТЬЯКОВА\***, **Р.В. АГИНЕЙ\*\***

*\*Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта*

*\*\*ОАО «Гипрогазцентр», г. Ярославль*

*afurkin@mail.ru*

На участке трубопровода диаметром 530 мм исследовано влияние постоянного тока, протекающего по металлу трубы на смещение потенциала «труба–земля». Установлены зависимости смещения потенциала от силы тока. Полученные зависимости необходимо учитывать при проведении электроизмерений на подземных трубопроводах.

**Ключевые слова:** потенциал «труба–земля», магистральный трубопровод, поляризация металла, смещение потенциала, натурные испытания

**A.V. FURKIN, M.V.TRETYAKOVA, R.V.AGINEI. THE INFLUENCE OF DIRECT CURRENT FLOWING ALONG THE UNDERGROUND PIPELINE ON THE POTENTIAL "PIPE-GROUND"**

On a site of the pipeline in diameter of 530 mm influence of the direct current proceeding on metal of a pipe on displacement of potential "pipe-ground" is investigated. Dependences of displacement of potential on current intensity are established. It is necessary to take account of the obtained dependences for considering at carrying out of electromeasurements on underground pipelines.

**Key words:** potential "pipe-ground", the main pipeline, metal polarization, potential displacement, natural tests

---

На лабораторном образце модели трубопровода было показано [1], что протекание вдоль нее постоянного тока, а также тока с переменной составляющей приводит к изменению потенциала «труба–земля» без токообмена между трубой и окружающим грунтом. С высокой достоверностью аппроксимации была установлена линейная зависимость между значением силы протекающего тока и смещением потенциала. Она имеет важное практическое значение. Поскольку с ее помощью на газонефтепроводах из результатов электроизмерений можно исключать смещение потенциала, вызванное действием протекающего тока. Это дает возможность оценивать фактический защитный потенциал сооружения, на основании которого и определяется эффективность работы активных средств противокоррозионной защиты [2].

Однако эти результаты, полученные на физической модели масштаба 1:50 по отношению к реальному трубопроводу, транслировать на действующие трубопроводы большого диаметра некорректно. Для подтверждения полученных результатов были проведены натурные испытания на участке подземного трубопровода (рис. 1).

### **Объекты и методы исследования**

Объект исследования – стальной трубопровод номинальным диаметром 530 мм с наружным изоляционным покрытием трассового нанесения из полимерных лент толщиной 2 мм. Толщина стенки трубы – 8 мм. Избыточное давление в трубе отсутствует. Тип грунта в районе выбранного участка трубопровода – суглинок, удельное электрическое сопротивление грунта – 120 Ом·м. По данным измерения прибором ИПИ-2000, дефектов изоляции на участке не обнаружено.

Для исследования применялись следующие приборы и оборудование: вольтметр универсальный цифровой В7-78/1 (используется для измерения потенциала «труба–земля», с возможностью проведения многократных измерений через дискретные интервалы времени и передачей данных на ЭВМ). Основная погрешность измерения напряжения постоянного тока – не более 0,005%; бензиновый генератор с номинальной мощностью 0,9 кВА, максимальным выходным током 8 А и напряжением 220 В промышленной частоты; источник постоянного тока с плавной регулировкой от нуля до 10 А. Выходное напряжение 12 В. Измеренная

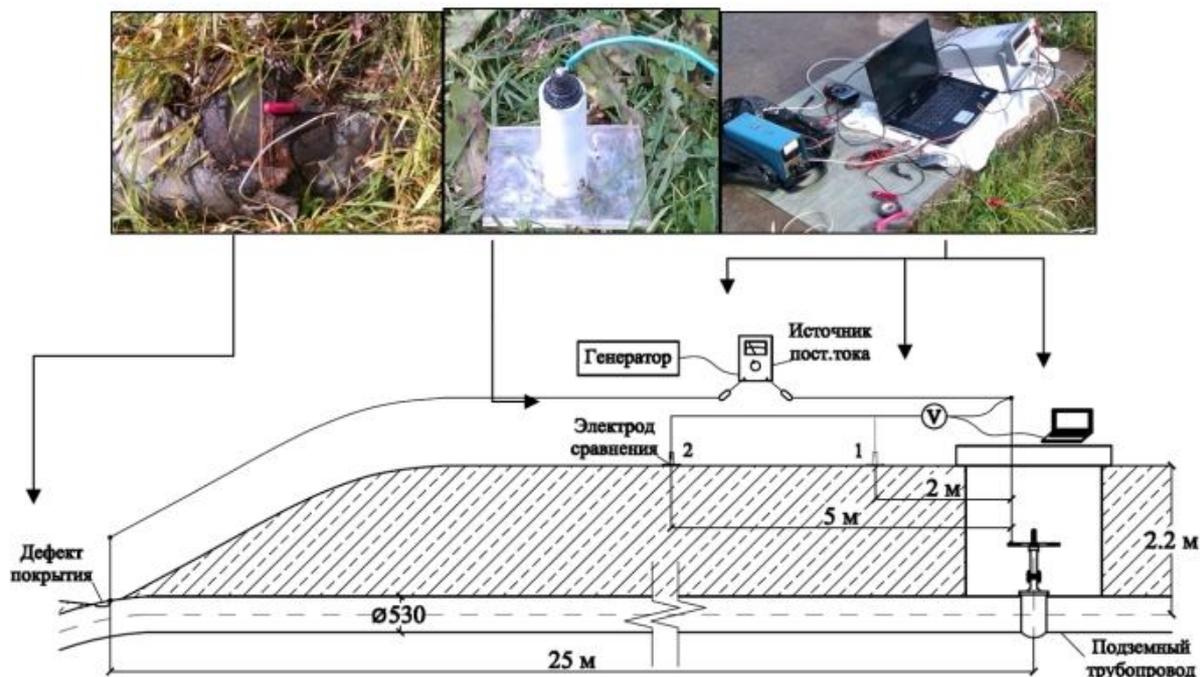


Рис. 1. Эскиз стенда.

величина переменных пульсаций напряжения – не более 300 мВ; для измерения удельного электрического сопротивления грунта использовали омметр М416 с пределом измерений 0,1...1000 Ом.

Элементы стенда собирались в электрическую цепь (см. рис. 2).

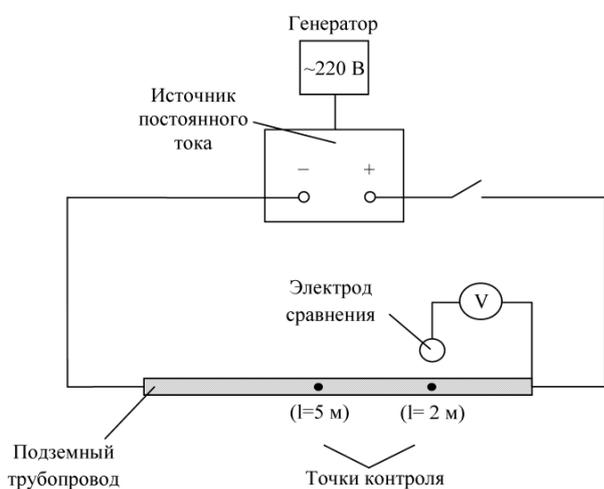


Рис. 2. Электрическая схема стенда.

Электрические проводники, выполненные из медного изолированного провода сечением  $2,5 \text{ мм}^2$ , соединялись с задвижкой на одном конце участка трубопровода и с металлом трубы в месте выхода трубопровода на дневную поверхность (см. рис. 1).

Для измерения потенциала были назначены 25 точек контроля, расположенные над осью трубопровода с интервалом 1 м. Испытания проводились в следующей последовательности. Предварительно выполнялось регулирование значения силы тока

на выходе источника тока, определяя последовательно значения 3, 5,6 и 7 А. Медносульфатный электрод сравнения пошагово устанавливали в грунт над трубопроводом в первой контрольной точке. Вольтметр настраивали на выполнение 100 измерений со скоростью 27 измерений в секунду.

На 60-м измерении цепь замыкалась ключом, обеспечивая протекание постоянного тока через трубопровод. По окончании измерений цепь снова замыкалась.

Переставляли электрод сравнения в следующую контрольную точку, повторяя процесс измерения. Измерения выполнялись при различном значении силы тока, а также при обратной полярности источника тока.

### Результаты исследований

На рисунках 3 и 4 представлены графики изменения потенциала «труба–земля» для различных величин силы тока и его полярности для второй ( $l=2 \text{ м}$ ) и пятой ( $l=5 \text{ м}$ ) точек контроля потенциала соответственно. После стабилизации потенциал в условиях протекания тока представлял собой во времени относительно постоянную величину. После размыкания цепи весь наложенный потенциал мгновенно обращался в нуль.

Протекающий по подземному участку постоянный электрический ток оказывал существенное влияние на потенциал трубопровода относительно грунта: при значениях силы тока от 5 А и выше потенциал значительно смещался в положительную область значений (смещение потенциала около 1,3 В) до значений  $U_{т-з} +0,7...0,8 \text{ В}$ . Смещение в отрицательную область происходило не столь интенсивно: около 0,6 В вплоть до значения потенциала минус 1,2 В.

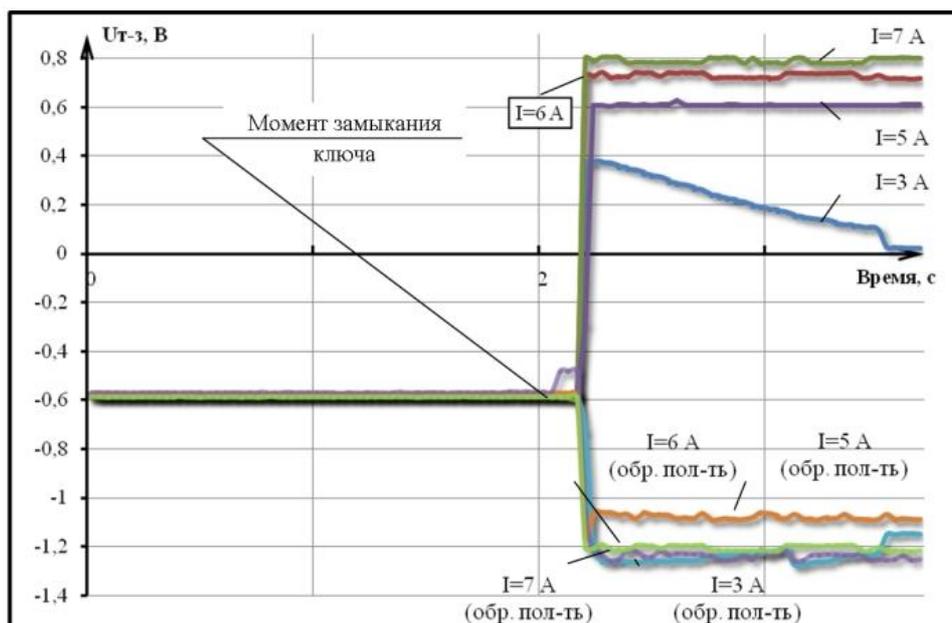


Рис. 3. Графики изменения потенциала «труба–земля» для различных величин силы тока и его полярности для второй точки контроля ( $l=2$  м).

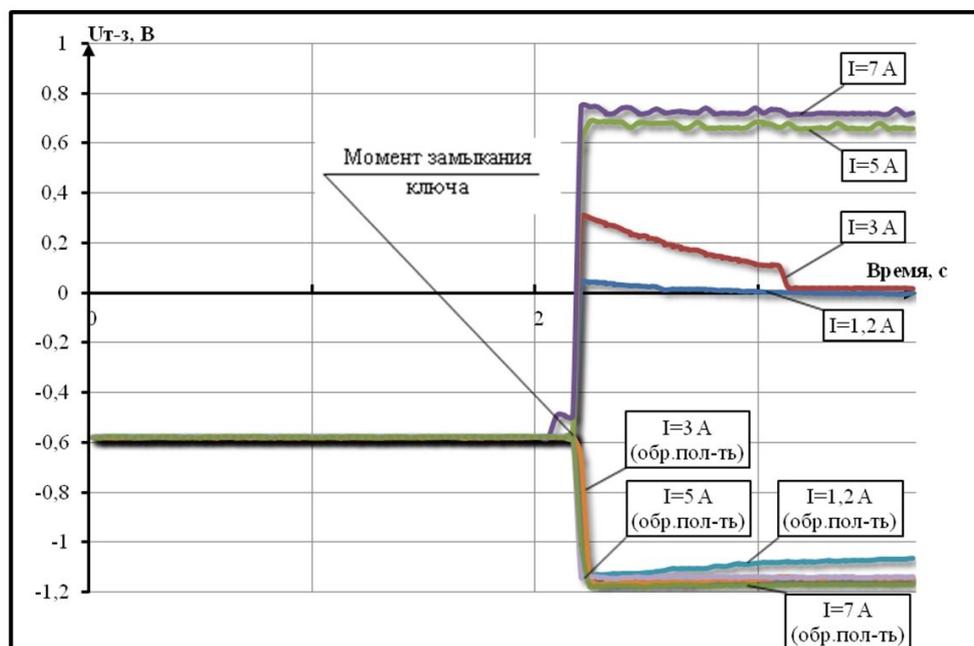


Рис. 4. Графики изменения потенциала «труба–земля» для различных величин силы тока и его полярности для пятой точки контроля ( $l=5$  м).

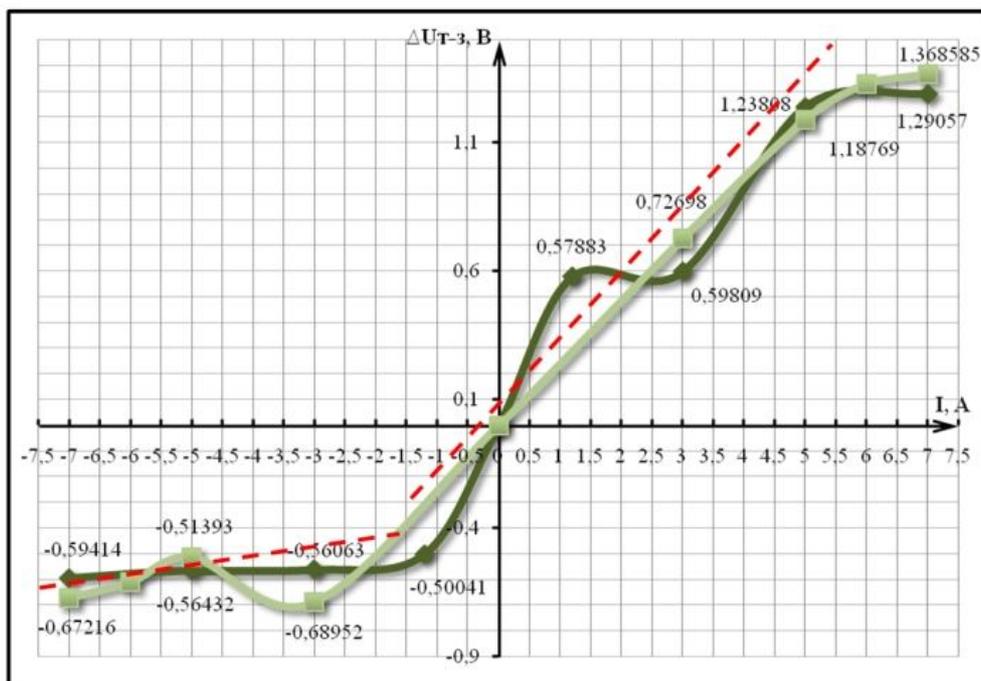


Рис. 5. Изменение величины отклонения потенциала «труба–земля» от стационарного потенциала в зависимости от силы протекающего тока и его полярности для второй ( $l=2$  м) и пятой ( $l=5$  м) точек контроля.

На рис. 5 представлены графики изменения потенциала «труба–земля» в зависимости от силы протекающего тока и его полярности для обеих точек контроля. График светло-зеленого цвета соответствует точке контроля с расположением на расстоянии 2 м от места подключения к трубопроводу. График темно-зеленого цвета соответствует (см. рис. 2) пятой точке контроля. Наиболее точно аппроксимировать полученные результаты можно двумя линейными моделями для различных значений силы тока: первая – для диапазона силы тока  $-7 \dots -1$  А; вторая – для диапазона силы тока  $-1 \dots 7$  А:

$$\begin{cases} \Delta U_{т-з} = 0,231, \text{ при } I \in (-1; 7) \text{ А;} \\ \Delta U_{т-з} = 0,033(I+1) - 0,4, \text{ при } I \in (-1; -7) \text{ А.} \end{cases}$$

Данная математическая модель удовлетворительно описывает изменение потенциала во всех точках контроля (достоверность аппроксимации не менее 0,9). Полученные результаты не в полной мере согласуются с результатами лабораторных испытаний, где была установлена единая зависимость для положительного и отрицательного смещения:  $\Delta U_{т-з} = 0,012I$ , т.е. в реальном трубопроводе при одинаковом значении силы тока смещение порядка в 20 раз выше. При электроизмерениях на трубопроводах, по которым может протекать электрический ток, эти зависимости необходимо учиты-

вать, измеряя значение силы электрического тока, и исключая смещение потенциала, обусловленное таким током.

### Выводы

1. Установлены линейные зависимости, описывающие для трубопровода диаметром 530 мм изменение потенциала под воздействием протекающего тока.
2. Показано, что для трубопровода этого диаметра коэффициент влияния силы тока на смещение потенциала почти в 20 раз выше, чем для лабораторной модели масштаба 1:50.
3. При одинаковом значении силы тока смещение потенциала в положительную область происходит более интенсивно, чем в отрицательную.

### Литература

1. Фуркин А.В., Третьякова М.В., Агинец Р.В. Лабораторные исследования влияния протекающего по трубопроводу электрического тока на значения потенциала «труба–земля» // Трубопроводный транспорт [теория и практика]. 2011. №3 (25). С. 24–27.
2. Агинец Р.В., Фуркин А.В. Опыт исследования неклассического источника блуждающих токов, воздействующего на многониточную систему подземных газопроводов // Естественные и технические науки. 2008. №5. С. 174–179.

Статья поступила в редакцию 24.11.2012

УДК 550.831

## АЛГОРИТМ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ ВМЕЩАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ИНВЕРСИИ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

А.И. КОБРУНОВ, М.И. БАРАБАНОВ

*Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта*  
[mbarabanov@ugtu.net](mailto:mbarabanov@ugtu.net)

Показано, что проблема не может быть решена в схемах инверсии для локальных объектов. В работе приведён реализованный и опробованный алгоритм учёта влияния внешних факторов не вполне изученной региональной модели при инверсии гравиметрических данных в локальных областях. Алгоритм основан на итерационном уточнении влияния фоновых истокообразных и полиномиальных компонент, включённых в итерационную схему инверсии гравиметрических данных.

**Ключевые слова:** гравиметрия, прямая и обратная задачи, внешние факторы

### A.I. KOBRUNOV, M.I. BARABANOV. THE ALGORITHM OF CONSIDERING THE EFFECTS OF THE CONTAINING ENVIRONMENT AT GRAVITY DATA INVERSION

It is shown that the problem cannot be solved using local facilities inversion schemes and requires special tools. The implemented and tested algorithm for considering the influence of external factors of not quite studied regional model at inversion of gravity data in local areas is given. The algorithm is based on iterative refinement of influence of the background sourcewise and polynomial components included in the iterative scheme of gravity data inversion.

**Key words:** gravimetry, the direct problem, inverse problem, the external factors

---

На первый взгляд в работе рассматривается чисто технический вопрос об учёте влияния масс, расположенных вне заданной выделенной области при решении для этой области обратной задачи гравиметрии. Тем не менее, важность этого вопроса исключительно высока для геологического осмысления результата решения.

Суть проблемы состоит в следующем. При инверсии гравиметрических данных инверсии подвергается поле, выделенное для изучаемой локальной области. Технологий реализации этой процедуры разделения полей достаточно много. И следует признать, что универсальной технологии не существует, в силу недоопределённости самой задачи. И тем не менее, в каждом конкретном случае при геологическом истолковании гравитационных аномалий она тем или иным способом решается, причем адекватным геологической модели. Возникает разделение полного поля на локальную и региональную компоненты, которые, в свою очередь, также многокомпонентны. Важно, что это разделение основывается на априорных представлениях об изучаемой модели. Далее для локальной компоненты выполняется инверсия. Получается новая локальная модель, отличная от первоначальной. И в итоге те предпосылки согласованности, которые были положены в основу

выделения локальной аномалии и формировании компонент региональной модели, нарушаются. Если не принять специальных мер, то при геологической интерпретации результатов инверсии это ведет к существенным погрешностям. В этой связи при конструировании автоматизированных систем интерпретации гравитационных полей целесообразно включить схему итеративной инверсии. Одновременно с инверсией в локальной области инверсии в нее подвергаются и параметры региональной модели или ее существенной части. Именно этой проблеме посвящена настоящая работа.

Описываемый далее алгоритм был реализован одним из авторов [1] в получившей дальнейшее развитие автоматизированной системе интерпретации гравиметрических данных. Тем не менее, попытка его воспроизвести в новых технологических условиях столкнулась с рядом трудностей: во-первых, с необходимостью переывода достаточно громоздких формул, а во-вторых, – массовым конкурентным использованием весьма сомнительных для задачи инверсии приёмов периода господства методов интерпретации изолированной гравитационной аномалии. Эти обстоятельства побудили авторов при решении обратных задач привести постановку вопроса учёта влияния сторонних факторов.

**Суть решения обратных задач**

1. Традиционным для рассмотрения вопроса об интерпретации гравитационного поля, обусловленного некоторым распределением масс с плотностью  $\sigma = \sigma(v), v = \{x, y, z\} \in V$  в области  $V$  нижнего полупространства, является предположение о том, что эти массы (с носителем  $V$ ) погружены в некоторую вмещающую среду  $\sigma^{out} = \sigma^{out}(v)$ . Помимо самой области  $V$  вмещающая среда содержит дополнение этой области до всего нижнего полупространства  $E_-$ , либо выделенную часть этой области. Эта внешняя часть обозначается  $V_-$ . Например, в качестве  $V_-$  может выступать  $E_-/V$ , минус область, расположенная ниже некоторого уровня  $H$  (выше некоторого уровня  $h$ ). В любом случае  $V_-$  должна быть сформулирована. Подлежащее интерпретации поле наблюдаемой  $u(s)$  в точках  $s$  рассматривается как сумма полей  $u^{int}(s)$  от плотностной модели  $\Delta\sigma(v) = \sigma(v) - \sigma^{out}(v)$  в  $V$  и  $u^{out}(s)$  от  $\sigma^{out}(v)$ , называемым фоном для  $u^{int}(s)$ . Важно отметить, что  $\sigma^{out}(v)$  имеет часть с носителем в  $V$ , обозначаемую  $\sigma_V^{out}(v)$  и часть

$\sigma_{V_-}^{out}(v)$  с носителем вне  $V$  – во внешней части. Например, такой вмещающей средой может служить однородный бесконечный пласт, включающий в себя и  $V$  с заданной постоянной плотностью  $\sigma^{out}$ . Поэтому  $u^{out}(s)$  – это поле от всей области  $V \cup V_-$  с плотностью  $\sigma^{out}(v)$ . Можно считать, например, что  $V$  – прямоугольная призма, вырезанная из пласта (рис. 1).

Поскольку поле от однородного пласта есть постоянная  $C = 0.0419\sigma^{out}H$ , где  $H$  – мощность пласта, то эта плотность легко находится по асимптотическому поведению  $u(s)$  и далее вычитается из  $\sigma(v)$ . Если делается так, то далее интерпретация осуществляется в терминах избыточной плотности  $\Delta\sigma(v) = \sigma(v) - \sigma^{out}$  и проблемы учёта влияния внешних факторов, казалось бы, не существует. Но это редкие ситуации. Чаще всего ограничиться простым уровнем фона не удаётся, и типичным симптомом этому служит получение в результате решения обратной задачи на границе области  $V$  ненулевых значений избыточной плотности. Действительно, если на границе области  $V$   $\Delta\sigma(v) \neq 0$ , то это означает, что в этих точках  $\Delta\sigma(v) \neq \sigma^{out}$ , и, следовательно,  $\sigma^{out}$  не является

фоновым значением, что противоречит исходным посылкам.

Модель фона, приведённого на рис. 2, может быть усложнена без изменения сущности, если вместо постоянного уровня  $C$  используется некоторое более сложное образование, заданное источнообразно в виде поля  $u^{is}(s)$  плотностной модели  $\sigma^{out}(v)$ , и некоторой аппроксимационной конструкции  $u^f(s)$  – полинома заданной степени или иной функции, определяемой в результате решения вспомогательной задачи. Суммарное поле, рассматриваемое как фон, в этом случае есть  $u^{is}(s) = u^{is}(s) + u^f(s)$ . От введённого ранее оно отличается на компоненту  $u^f(s)$ , которая вводится для учёта не представимых источнообразно компонент внешнего влияния. Интерпретируемая компонента поля

$\Delta u(s) = u(s) - u^{out}(s)$ , кото-

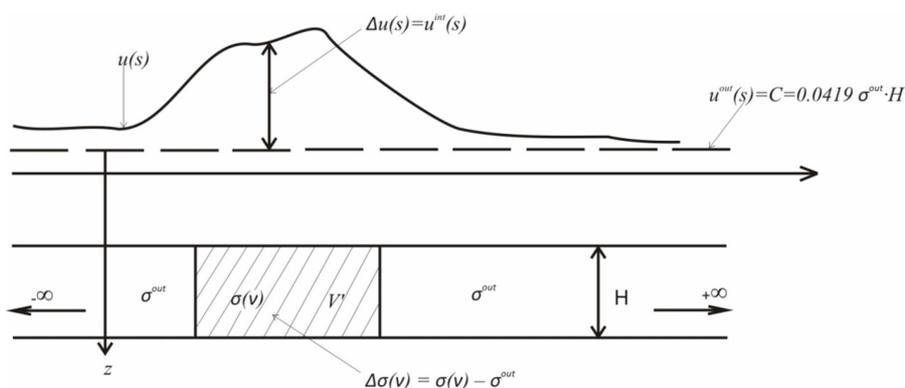


Рис. 1. Простейшая модель вмещающей среды.

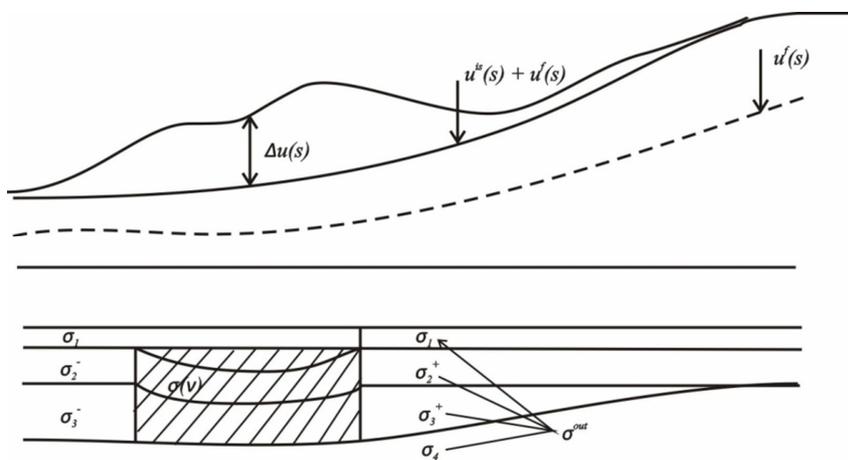


Рис. 2. Усложнённая модель фона.

рая при условии правильного выделения  $u^{out}(s) = u^{is}(s) + u^f(s)$  равна  $u^{int}(s)$ . Фактически  $\Delta u(s)$  – это гипотеза относительно значений  $u^{int}(s)$ . Их изначальное отождествление недопустимо, во-первых, из-за члена  $u^f(s)$ , а во-вторых, и это самое главное, из-за того, что некоторые параметры модели  $\sigma^{out}(v)$  должны быть согласованы с искомым распределением внутри  $V$  и потому на этапе выделения полезной компоненты поля неизвестны. Они должны уточняться и находиться в процессе нахождения решения  $\Delta\sigma(v)$ . Например, в случае, схематично изображённом на рис. 2, плотность  $\sigma(v)$  и геометрия структур должны быть согласованы или даже равны плотностям и глубинам залегания примыкающих пластов. Здесь достаточно большое поле деятельности для выработки конкретных методических рекомендаций при решении конкретных же геологических задач. Тем не менее, некоторые общие алгоритмические приёмы могут быть сформулированы.

При инверсии гравиметрических данных для ограниченных областей фоновая компонента поля  $u^{out}(s)$  должна уточняться в процессе инверсии наряду с самой искомой плотностной моделью  $\Delta\sigma(v)$ .

Уточнение включает в себя:

– уточнение  $u^{is}(s)$  за счёт изменения параметров  $\sigma^{out}(v)$  в процессе нахождения  $\Delta\sigma(v)$ ;

– уточнение  $u^f(s)$  за счёт сравнения  $u(s), u^{is}(s), u^{int}(s)$  ( $u^{int}(s) = A_V[\Delta\sigma(v)]$ ).

Следовательно, в процессе подбора модели среды наряду с моделью должен уточняться фон интерпретируемого поля.

2. Теоретически допустима постановка обратной задачи для уравнения:

$A_{V \cup V_-}[\sigma(v)] = u(s) - u^f(s)$  с предварительной априорной оценкой для  $u^f(s)$ . Однако, фактически всегда реализуется постановка обратной задачи для ограниченной области:

$A_V[\Delta\sigma(v)] = \Delta u(s)$ , требующая последующего продолжения модели во внешность для  $V_-$ , в которой требуется найти плотностную модель  $\Delta\sigma(v)$  в области  $V$  по заданному аномальному полю  $\Delta u(s)$ . Пусть алгоритм  $\Theta[\Delta u(s), \Xi]$  реализует приближенное устойчивое решение этой задачи. Здесь  $\Xi$  – параметры, управляющие свойствами получаемого решения, – выбор представителя из класса эквивалентных решений. Граничные значе-

ния найденного решения  $[\Delta\sigma(v) + \sigma^{out}(v)]|_{\partial V}$  могут быть продолжены во внешнюю для  $V$  область  $V_-$  до новой модели

$[\sigma^{out}(v)]^1 = G[\Delta\sigma(v) + \sigma^{out}(v)]$  так, что новая, уточнённая результатом решения обратной задачи для  $V$ , модель внешней среды есть  $[\sigma^{out}(v)]^1$ .

Это новое приближение к внешней модели среды, и интерпретируемая компонента поля должна быть приведена с ней в соответствие. Внутри  $V$ :  $[\sigma^{out}(v)]^1 = \Delta\sigma(v) + \sigma^{out}(v)$ . Это один шаг итерационного процесса, за которым после уточнения  $\Delta u(s)$  следуют другие, приводящие к  $[\sigma^{out}(v)]^i, i=1, \dots$ . Оператор продолжения  $G$  может быть реализован многими разными способами. Вот некоторые из них.

**Метод Витвицкого [2].** Величина  $\sigma^{out}(v)$  во внешней области  $V_-$  по значениям  $[\sigma^{out}(v)]|_{\partial V}$  на

границе представляется как совокупность полубесконечных лучей, исходящих из вертикальной оси в центре области  $V$  и пересекающих  $\partial V$ . Плотность в точке пересечения присваивается всему лучу, выходящему из этой точки в бесконечность. Гравитационное влияние такого луча считается достаточно просто. А их сумма, образующая систему телесных углов, по мнению О. В. Витвицкого [2], позволяет достаточно эффективно рассчитать гравитационное влияние всей зоны  $V_-$ . В этом подходе остаётся открытым вопрос о плотности упаковки всего пространства  $V_-$  такого рода конструкцией.

Если в континуальных случаях точки на  $\partial V$  можно брать бесконечно близко друг к другу, чтобы обеспечить плотную упаковку, то в реальном счёте – это дело невозможное.

**Призматическая аппроксимация.** Другой способ продолжения, реализованный в упомянутой системе [1], состоит в продолжении во внешность прямоугольной призмы значений плотности на границах за пределы области в виде полубесконечных горизонтальных призм или стержней с плотностью, равной плотности избыточных масс на границе в точке, с которой начинается продолжение на полубесконечность.

В основании этого стержня лежат квадрат или круг, для задач нахождения распределений плотности в области  $V$ , и прямоугольник, образованный аппроксимациями проекции на грань примыкающего пласта (левая часть рис. 3) для случая нахождения системы плотностных границ. Особо следует оговорить влияние угловых зон. Заштрихованные зоны (верхняя правая часть рис. 3) учитываются как сумма по вертикали бесконечных горизонтальных угловых секций мощностью, равной

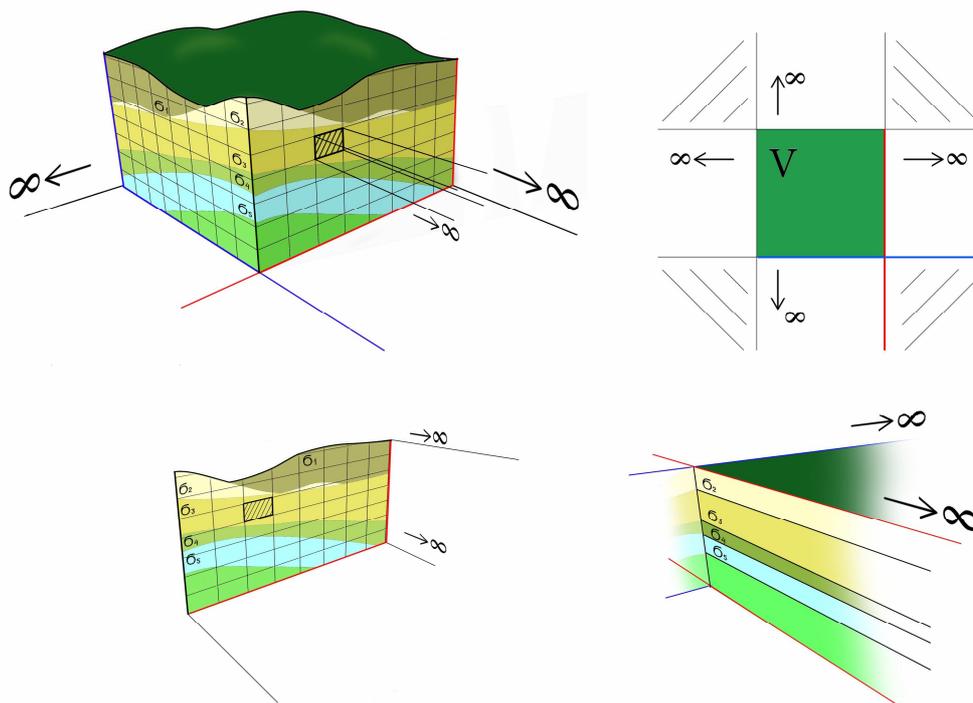


Рис. 3. Элементы геометрии призматической аппроксимации для  $V$ . Грани (слева), угловые сечения (справа).

мощности прилегающих оснований полубесконечных призм (нижняя правая часть рис. 3). Плотность такой сечки равна плотности прилегающих ячеек сетки, на которых как на основании построены полубесконечные призмы.

Краевые значения плотности в модели  $\Delta\sigma(x, y, z)$  на одной и той же глубине  $z$  справа и слева в общем случае не равны друг другу. Гравитационное влияние  $\delta u(x_0, y_0, z_0)$  от такой элементарной сечки для случая левой грани, ортогональной оси  $OY$ , вычисляется в явном виде по формуле:

$$\begin{aligned} \frac{\delta u_1(x_0, y_0, z_0)}{\sigma\gamma} &= \int_{x_1=-\infty}^{x_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{z_1}^{z_2} \frac{Z}{(X^2 + Y^2 + Z^2)} dXdYdZ = \\ &= Z_1 \left( \operatorname{atg} \left( \frac{X_2}{Z_1} \right) - \operatorname{atg} \left( \frac{X_1}{Z_1} \right) \right) + Z_2 \left( \operatorname{atg} \left( \frac{X_1}{Z_2} \right) - \operatorname{atg} \left( \frac{X_2}{Z_2} \right) \right) + \\ &+ Z_1 \operatorname{atg} \left( \frac{X_1 Y_1}{Z_1 \sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2}} \right) - Z_1 \operatorname{atg} \left( \frac{X_2 Y_1}{Z_1 \sqrt{X_2^2 + Y_1^2 + Z_1^2}} \right) + \\ &+ Z_2 \operatorname{atg} \left( \frac{X_2 Y_1}{Z_2 \sqrt{X_2^2 + Y_1^2 + Z_2^2}} \right) - Z_2 \operatorname{atg} \left( \frac{X_1 Y_1}{Z_2 \sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_2^2}} \right) + \\ &+ Y_1 \ln \left( \frac{X_2 + \sqrt{X_2^2 + Y_1^2 + Z_2^2}}{X_2 + \sqrt{X_2^2 + Y_1^2 + Z_1^2}} \right) - Y_1 \ln \left( \frac{X_1 + \sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_2^2}}{X_1 + \sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2}} \right) + \\ &+ X_2 \ln \left( \frac{Y_1 + \sqrt{X_2^2 + Y_1^2 + Z_2^2}}{Y_1 + \sqrt{X_2^2 + Y_1^2 + Z_1^2}} \right) + X_1 \ln \left( \frac{Y_1 + \sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_2^2}}{Y_1 + \sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2}} \right) \end{aligned}$$

где  $\sigma, \gamma$  – плотность сечки и гравитационная постоянная;

$$X_i = (x_i - x_0); Y_i = (y_i - y_0); Z_i = (z_i - z_0), i = 1, 2.$$

$(x_1, x_2), (z_1, z_2)$  – координаты прямоугольника, служащего основанием этой сечки.

Для угловой сечки соответствующее выражение имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{\delta_2 u(x_0, y_0, z_0)}{\sigma\gamma} &= Z_1 \left( \operatorname{arctg} \left( \frac{X_1}{Z_1} \right) - \operatorname{arctg} \left( \frac{X_1 Y_1}{Z_1 \sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2}} \right) \right) - \\ &- Z_2 \left( \operatorname{arctg} \left( \frac{X_1}{Z_2} \right) - \operatorname{arctg} \left( \frac{X_1 Y_1}{Z_2 \sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_2^2}} \right) \right) + \\ &+ X_1 \ln \left( \frac{Y_1 + \sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2}}{Y_1 + \sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_2^2}} \right) + Y_1 \ln \left( \frac{X_1 + \sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2}}{X_1 + \sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_2^2}} \right) + \\ &+ \frac{\pi}{4} (Z_2 - Z_1). \end{aligned}$$

Здесь  $x_1, y_1$  – координаты угловой точки,  $z_1, z_2$  – координаты сечки, определяющие её толщину. Гравитационное влияние продолженного элемента без учёта угловых сечки и отдельно угловой сечки приведены на рис. 4 соответственно слева и справа.

Видно, что если не учитывать эти искажающие интерпретируемое поле эффекты, то это чревато существенными ошибками в поле.

3. Учёт влияния внешних факторов с использованием построенного оператора продолже-

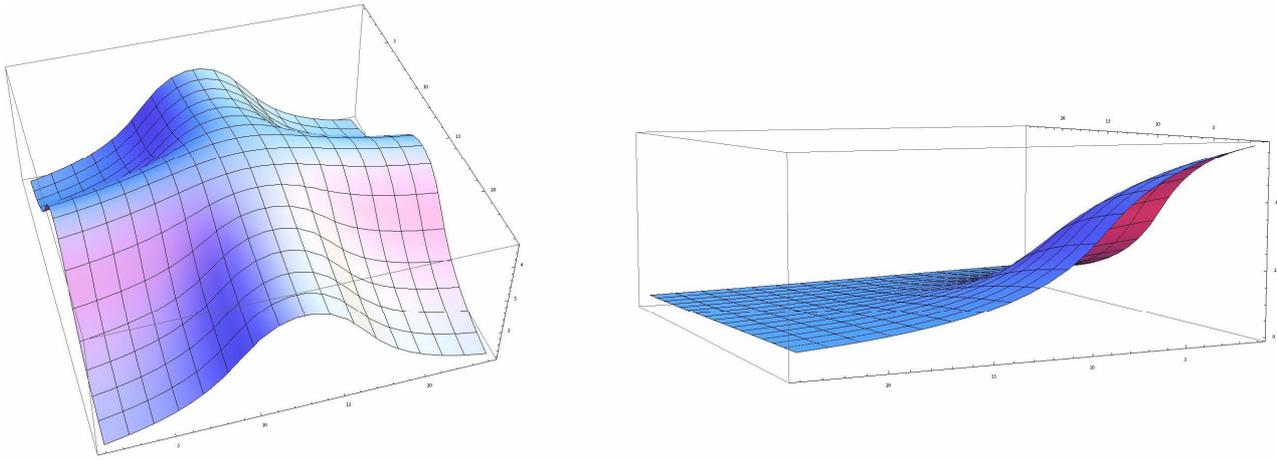


Рис. 4. Гравитационное влияние продолженных граней (слева) и угловой секции (справа).

ния  $G[\Delta\sigma(v)]$  при решении обратной задачи для операторного уравнения

$$A_v[\Delta\sigma(v)] = \Delta u(s)$$

реализуется на основе включения этого учёта в алгоритм решения обратной задачи. Делается это следующим образом. Реализация оператора  $\Delta\sigma(v) = \Theta[\Delta u(s), \Xi]$  выполнена в виде итерационного алгоритма

$$\Delta\sigma^{n+1}(v) = \Delta L[\Delta\sigma^n(v), \Delta^n u(s), \Xi^n],$$

где:  $\Delta^n u(s) = \Delta u(s) - A_v[\Delta\sigma^n(v)]$ ,

начинаемого с некоторого нулевого приближения  $\Delta\sigma^0(v)$ ,  $\Xi^n$  – система параметров, управляющая отбором единственного решения из класса эквивалентных на каждом шаге процесса и обеспечивающая его сходимость.

Этот алгоритм достаточно подробно описан в работе [1]. Его модификация с учётом влияния внешних факторов состоит в изменении расчёта невязки:

$$\begin{aligned} \Delta^{n+1}u(s) &= u(s) - A_v[\Delta\sigma^n(v)] - \\ &- A_{v_{UV}} \left[ [\sigma^{out}(v)]^n + G \left[ [\sigma^{out}(v)]^n \right] \right] - [u^f(s)]^n; \\ [\sigma^{out}(v)]^n &= G \left[ [\sigma^{out}(v)]^{n-1} + \Delta\sigma^n(v) \right]. \end{aligned}$$

где  $[u^f(s)]^n$  – уточнённая аппроксимационная конструкция для  $u^f(s)$  на очередном шаге итерационного процесса. Например, это полином заданной степени (на практике – не более второй), обеспечивающий минимум величины нормы невязки в заданном классе норм пространств  $X$ :

$$\begin{aligned} &\|u(s) - A_v[\Delta\sigma^n(v)] - \\ &- A_{v_{UV}} \left[ [\sigma^{out}(v)]^n + G \left[ [\sigma^{out}(v)]^n \right] \right] - [u^f(s)]^n \|_X. \end{aligned}$$

Сходимость процесса обеспечивается выбором параметров и в качестве решения рассматривается  $u^f(s)$ . Процесс сходится, и это свидетельствует о согласованности полученного результата  $\lim \Delta\sigma^{n+1}(v) = \Delta\bar{\sigma}(v)$  со своим продолжением  $G[\Delta\bar{\sigma}(v)]$  и подобранным аппроксимационным фоном  $[u^f(s)]^n$ .

Использование вышеописанного метода учёта влияния внешних факторов при решении обратной задачи позволяет на каждой итерации учитывать изменения гравитационного поля не только самой модели, но и вмещающей среды, что позволяет говорить о повышении точности решения обратной задачи в целом.

#### Литература

1. *Кобрунов А.И.* Теория и методы автоматизированной интерпретации гравиметрических данных для сложнопостроенных сред // Разведочная геофизика: Обзор. М.: "Геоинформарк", 1993. 51 с.
2. *Витвицкий О.В.* Оптимальная экстраполяция границ в структурной гравиметрии // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 28-й сессии Международного семинара им. Д. Г. Успенского. Киев, 29 января – 2 февраля 2001 г. / Под ред. акад. В.Н. Страхова. М.: ОИФЗ РАН, 2001.

Статья поступила в редакцию 27.09.2012

УДК 630.383

**ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ И РАЗРУШЕНИЙ НА ПОКРЫТИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

А.М. БУРГОНУТДИНОВ, Б.С. ЮШКОВ, О.Н. БУРМИСТРОВА, М.А. ВОРОНИНА

*Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта*  
[Oburmistrova@ugtu.net/](mailto:Oburmistrova@ugtu.net/)

В статье рассматриваются причины неравномерного износа покрытия по ширине полосы движения. Ведущие колеса автомобилей контактируют с поверхностью прочного покрытия с деформацией, вызывающей скольжение. В связи с этим происходит износ асфальтобетонного покрытия в результате проявления трения скольжения. Показаны составляющие суммарного сопротивления движению колеса по покрытию дороги.

**Ключевые слова:** износ, деформация, скольжение, качение

A.M. BURGONUTDINOV, B.S. YUSHKOV, O.N. BURMISTROVA, M.A. VORONINA. REASONS FOR FORMATION OF DEFORMATIONS AND DESTRUCTIONS ON THE COVERING OF HIGHWAYS

The reasons of non-uniform deterioration of the covering along the width of traffic lane are considered. Driving wheels of cars contact with the surface of durable covering with deformation causing sliding. This causes deterioration of asphalt-concrete covering as a result of sliding friction. Components of total resistance to wheel movement along the road covering are shown.

**Key words:** deterioration, deformation, sliding, rolling

Дорога представляет собой единый инженерный комплекс, все элементы которого работают в тесной взаимосвязи. Земляное полотно должно служить надежным фундаментом дорожной одежды, обеспечивать ее прочность и долговечность независимо от местных грунтовых, климатических, гидрологических и других факторов [1]. Оно возводится на грунтовом слое, изменяющем в разные периоды года свои свойства от воздействия природных факторов и, в первую очередь, от температуры воздуха и влажности грунта. Из этого следует, что срок службы дорожной конструкции зависит главным образом от состояния грунта, расположенного в основании дороги, его вида и влажности [2]. Ежегодное увеличение интенсивности движения транспортных средств и изменение ее колесной нагрузки приводит к отклонению сложившейся структуры дорожной конструкции, влияющей на потребительские свойства автомобильных дорог [3].

После ввода автомобильной дороги в эксплуатацию уже в первый год на поверхности покрытия наблюдаются поперечные трещины (морозобойные), располагающиеся с шагом через 40...60 м, после двух лет – 10...30 м и при этом без признаков износа и образования колеи. В последнее время на автомобильных дорогах и магистральных улицах уже через год их эксплуатации наблюдается колейность на покрытии.

В работе [4] колеобразование считается местным износом, преимущественно образующимся в полосе наката. Среднюю величину износа по всей

ширине проезжей части рекомендуется определять по формуле:

$$h_{\text{cp}} = K \cdot h_n, \quad (1)$$

где  $K$  – коэффициент неравномерности износа, принимается в среднем 0,6...0,7;

$h_n$  – измеренная величина износа в полосе наката, мм.

Для определения величины износа рекомендована формула [4]:

$$h_T = a \cdot T + \delta \cdot n \cdot \beta \cdot N_T, \quad (2)$$

где  $h_T$  – износ покрытия за период эксплуатации ( $T$ , лет);

$a$  – величина износа в год под действием природных факторов;

$\delta$  – коэффициент, зависящий от типа и прочности покрытия для асфальтобетонных покрытий ( $\delta = 0,25...0,55$ );

$n$  – безразмерный коэффициент ( $n \approx 0,001$ );

$\beta$  – отношение предстоящей нагрузки ( $p_n \cdot D_n$ ) к проектной ( $p \cdot D$ ), т.е.:

$$\beta = \frac{p_n \cdot D_n}{p \cdot D};$$

$N_T$  – интенсивность движения за  $T$  лет,  
 $N_T = \sum N_i \cdot q^{T-1}$ , где  $N_i$  – интенсивность движения в  $i$ -м году;  $q$  – знаменатель геометрической

прогрессии роста интенсивности движения по годам.

Мониторинг состояния асфальтобетонного покрытия по фактору «износ» осуществляется закладкой в тело дорожной конструкции реперов различной формы. Творческий коллектив под руководством проф. А.П. Васильева [5] в основу прогнозирования интенсивности образования колеиности положил предположение образования колеи в результате проявления остаточной деформации грунтов земляного полотна в зависимости от интенсивности движения транспортных средств по дороге. Образование колеи, вероятно, может происходить в результате комплексного процесса воздействия колёс транспортных средств, вызывающих как остаточную деформацию грунтов земляного полотна, так и износа покрытия.

Следует отметить, что на различных участках одной и той же автомобильной дороги интенсивность образования колеи существенно отличается. Хотя конструкция дорожной одежды [6], использованные дорожно-строительные материалы и технологии производства работ очень сходны, так как строительство или реконструкция дорог осуществляются одной подрядной организацией.

Глубину образования колеи в общем виде можно записать по формуле:

$$H_k = H_{\text{оз}} + H_{\text{изн}}, \quad (3)$$

где  $H_k$  – глубина колеи, мм;

$H_{\text{оз}}$  – составляющая глубины колеи, образующейся в результате остаточной деформации грунта земляного полотна в полосе наката колёс транспортных средств, мм;

$H_{\text{изн}}$  – составляющая глубины колеи, образующейся в результате износа асфальтобетонного покрытия в процессе взаимодействия колеса автомобиля с покрытием, мм.

Износ верхнего слоя покрытия дороги происходит в процессе воздействия колёс транспортных средств. Износ представляет собой совокупность механических и молекулярных составляющих. Взаимодействие колеса автомобиля с покрытием рассматривается в отдельности: «ведущее колесо – покрытие» и «ведомое колесо – покрытие» [7].

Ниже приведены схемы качения ведущего колеса по прочной основе – покрытию автомобильных дорог (рис. 1) [7], моменты и силы, действующие на колесо транспортного средства (рис. 2) [8].

Ведущее колесо под воздействием крутящего момента  $M_k$  катится по покрытию дороги. Крутящее колесо передает на раму автомобиля усилие  $F_T$ , которое называется силой тяги колеса [9]. Справедливо записать:

$$F_T = R_X = -F_X. \quad (4)$$

Уравнение движения ведущего колеса записывается:

$$F_K = F_T + F_f + F_{KJ} + F_B \quad (5)$$

или

$$F_T = F_K - F_f - F_{KJ} - F_B. \quad (6)$$

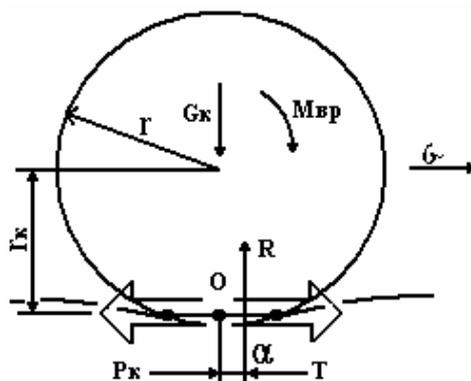


Рис. 1. Схема взаимодействия ведущего колеса с покрытием.

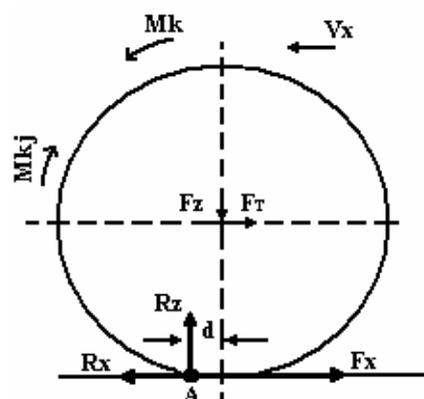


Рис. 2. Схема сил и моментов, действующих на ведущее эластичное колесо, движущееся со скоростью  $V$ .

Из теории движения автомобиля [8] известно, что условие качения колеса транспортного средства описывается уравнением:

$$F_X = F_f \leq \varphi \cdot R_z \text{ или } f \leq \varphi. \quad (7)$$

Учитывая, что

$$\left. \begin{aligned} F_K &= \frac{M_k}{r_0} \\ f &= \frac{a}{r_0} \\ F_f &= f \cdot R_z \\ R_{X \max} &= \varphi \cdot R_z \\ \omega_k &= \frac{V_X}{r_k} \end{aligned} \right\}. \quad (8)$$

Уравнение (5) возможно представить в виде:

$$M_{k \max} = (\varphi + f) \cdot R_z \cdot Z_0 + J_k \cdot \frac{\partial \omega_n}{\partial \tau} + K_B \cdot A_B \cdot V_{\text{отн}}^2, \quad (9)$$

$$M_{k \max} = (j + f) \cdot R_z \cdot Z_0 + \frac{J_k}{Z_k} \cdot \frac{\partial V_k}{\partial \tau} + K_B \cdot A_B \cdot V_{\text{отн}}^2, \quad (10)$$

$$\frac{M_{k \max}}{Z_0} = \frac{(\varphi + f) \cdot R_z \cdot Z_0}{Z_0} + J_k \frac{Z_0}{Z_k} \cdot \frac{\partial V_x}{\partial \tau} + K_B \cdot A_B \cdot V_{\text{отн}}^2 \quad (11)$$

$$F_{k \max} = (\varphi + f) \cdot R_z + J_k \frac{Z_0}{Z_k} \cdot \frac{\partial V_x}{\partial \tau} + K_B \cdot A_B \cdot V_{\text{отн}}^2 \quad (12)$$

где  $F_k$  – окружная сила колеса;

$F_f$  – сила сопротивления качения колеса;

$F_{KJ}$  – сила сопротивления разгону колеса;

$F_T$  – сила тяги колеса;

$F_B$  – сила сопротивления воздуха;

$\varphi$  – коэффициент сцепления колеса с покрытием дорожной одежды;

$f$  – осредненный коэффициент сопротивления качению (вычисляется экспериментально для определенных дорожных условий, зависит от скорости движения транспортного средства). Можно определить по формуле (13), приведенной в учебнике А. И. Гришкевича [8]:

$$f = 0,01 \cdot \left( 1 + \frac{V_a}{160} \right), \quad (13)$$

где  $V_a$  – скорость движения автомобиля;

$V_{\text{отн}}$  – относительная скорость ветрового потока с учётом скорости движения автомобиля;

$R_z$  – реакция покрытия, ( $R_z \cong F_z$ );

$Z_0$  – радиус качения колеса без скольжения;

$J_k$  – момент инерции колеса;

$\omega_k$  – угловая скорость вращения колеса;

$T$  – продолжительность времени;

$V_x$  – поступательная скорость оси колеса автомобиля;

$K_B$  – коэффициент сопротивления воздуха,

$$K_B = 0,13 \dots 0,95;$$

$A_B$  – лобовая площадь автомобиля.

Из уравнения (12) видно, что определяющими факторами интенсивности изнашиваемости покрытия автомобильных дорог с усовершенствованными типами покрытий являются: нагрузка, передаваемая колесом автомобиля; момент инерции колеса; ускорение при разгоне колес; отношение радиуса качения колеса без скольжения к радиусу качения колеса ( $Z_k$ ).

Экспериментально радиус качения определяется по формуле

$$Z_k = \frac{L}{2\pi \cdot N}, \quad (14)$$

где  $L$  – экспериментальный отрезок пути;

$N$  – число оборотов колеса автомобиля при заданном режиме движения.

Отношение значений радиусов колеса  $Z_0$  и  $Z_k$  определяет вид взаимодействия с покрытием и условия изнашивания. Если  $\frac{Z_0}{Z_k} = 1$ , то качение колеса осуществляется без скольжения, а при  $\frac{Z_0}{Z_k} > 1$  – со скольжением по покрытию. Причем, ско-

рость скольжения отрицательная и направлена в сторону, противоположную вектору поступательной скорости центра колес. При  $\frac{Z_0}{Z_k} < 1$  – скорость

скольжения положительная и ее направление совпадает с направлением поступательной скорости, т.е. колеса транспортного средства движутся юзом.

Реальная скорость движения оси колеса определяется [8]:

$$V_x = V_{x0} \pm V_s, \quad (15)$$

где  $V_s$  – скорость скольжения колеса.

Знак (–) принимается для ведущего колеса, (+) – ведомого.

Степень скольжения колеса в процессе вращения принято оценивать коэффициентом скольжения ( $S_B$ ), определяемым для ведущего колеса и коэффициентом торможения ( $S_T$ ):

$$\left. \begin{aligned} S_B &= \frac{V_s}{V_{x0}} = \frac{Z_0 - Z_k}{Z_0} \\ S_T &= \frac{Z_k - Z_0}{Z_k} \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Принимая во времени, что

$$V_s = S_B - V_{x0}, \quad (17)$$

формула (15) примет следующий вид:

$$V_x = V_{x0} \pm (S_B - V_{x0}) = V_{x0} \cdot (1 \pm S_B). \quad (18)$$

Скорость поступательного движения ведущего колеса автомобиля по прочному жёсткому покрытию определяется произведением окружной скорости колеса и коэффициентами его скольжения.

Подставив в уравнение (18) из формулы (16) для ведущего колеса, получим следующее:

$$V_x = V_{x0} \cdot \left( 1 - \frac{Z_0 - Z_k}{Z_0} \right). \quad (19)$$

Для ведомого колеса:

$$V_x = V_{x0} \cdot \left( 1 - \frac{Z_k - Z_0}{Z_k} \right). \quad (20)$$

При криволинейном движении автомобиля возникают дополнительные силы – сопротивление движению, инерционные силы, реакция дороги и значения окружных сил на ведущих колёсах.

Движение автомобиля по кривой происходит при разных значениях окружных сил движения наружного и внутреннего колёс за счёт наличия тре-

ния в дифференциале [8] и определяется по формулам:

$$F_K^H = (1 - K_g) \cdot F_K. \quad (21)$$

$$F_K^B = K_g \cdot F_K, \quad (22)$$

где  $F_K^H$  и  $F_K^B$  – окружные силы на наружном и внутреннем колесах ведущего моста автомобиля;

$K_g$  – коэффициент распределения окружной силы по ведущим колесам. Зависит от конструкции дифференциала: для шестеренчатого дифференциала с малым трением  $K_g = 0,5$ , с муфтой свободного хода –  $K_g = 1$ .

Автомобиль при движении по кривой преодолевает возникающий из-за трения в дифференциале момент сопротивления

$$M_c = (F_K^B - F_K^H) \cdot B, \quad (23)$$

где  $B$  – колея ведущего моста.

Подставив в уравнение (23) значения окружных сил ведущих колес (21) и (22), получим:

$$M_c = F_K (2K_g - 1) \cdot B.$$

Тогда окружная сила колеса определяется следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} F_K^H &= F_K \cdot (1 - K_g) + F_K \cdot (2 \cdot K_g - 1) \cdot B = \\ &= F_K \cdot (1 - K_g + 2 \times K_g \times B - B) \\ F_K^B &= F_K \cdot K_g + F_K \cdot (2 \cdot K_g - 1) \cdot B = \\ &= F_K \cdot (K_g + 2K_g \cdot B - B) \end{aligned} \right\}. \quad (24)$$

Сила сопротивления качению колеса при движении автомобиля по кривой зависит также и от величины увода мостов.

Для установившегося движения влияние увода можно учитывать привязкой траектории:

$$K = \frac{\omega}{V_a}. \quad (25)$$

Используя данную формулу (25), возможно выразить силу сопротивления качения ведущего колеса на криволинейном участке уравнением

$$F_f = f \cdot R_z \cdot K. \quad (26)$$

Инерционные силы движения автомобиля при движении по кривой зависят от ускорения и соответствуют [8]:

– продольной составляющей  $F_x = \delta \cdot m_a \cdot a_x;$  (27)

– поперечной составляющей  $F_y = m_a \cdot a_y;$  (28)

– моменту инерции  $M_j = J \cdot \varepsilon,$  (29)

где  $\delta$  – величина угла мгновенного поворота автомобиля на кривой;  $m_a$  – масса автомобиля;  $a_x$ ,  $a_y$  и  $\varepsilon$  – продольное, поперечное и угловое ускорения.

Равнодействующая инерционная сила продольного и поперечного перемещения определяется по формуле:

$$F_z^2 = F_x^2 + F_y^2 + 2F_x \cdot F_y \cdot \cos(\vec{F}_x \cdot \vec{F}_y). \quad (30)$$

Так как выражение  $\cos(\vec{F}_x \cdot \vec{F}_y) = 90^\circ$ , а значение  $\cos 90^\circ = 0$ , то:

$$F_z^2 = F_x^2 + F_y^2. \quad (31)$$

Подставив в данную формулу (31) значения  $F_x + F_y$  из уравнений (27) и (28), получим:

$$F_z = m_a \cdot (\delta^2 \cdot a_x^2 + a_y^2)^{0,5}. \quad (32)$$

С учётом уравнения (29) и преобразований находим  $F_{Kj}$  по формуле:

$$F_{Kj} = J_z \cdot \varepsilon. \quad (33)$$

При движении по кривой общая величина инерционных сил составляет:

$$F_R = F_z + F_{Kj} = m_a \cdot (\delta^2 \cdot a_x^2 + a_y^2)^{0,5} + J_z \cdot \varepsilon, \quad (34)$$

$$\left. \begin{aligned} a_x &= \frac{\partial V_x}{\partial \tau} - V_y \frac{\partial \gamma}{\partial \tau} \\ a_y &= V_x \frac{\partial \gamma}{\partial \tau} + \frac{\partial V_E}{\partial \tau} \\ \omega_y &= \frac{\partial \gamma}{\partial \tau} \end{aligned} \right\} \quad (35)$$

где по [8]:

Боковая реакция дороги, которая действует на мосты автомобиля: передний ( $R_{y1}$ ), задний ( $R_{y2}$ ) записывается в виде:

$$R_{y1} = \frac{1}{L \cdot \cos \Theta} \cdot (F_y \cdot b + M_j). \quad (36)$$

$$R_{y2} = \frac{1}{L} \cdot (F_y \cdot a - M_j), \quad (37)$$

где  $L$  – расстояние между задним и передним осями автомобиля;

$\Theta$  – угол поворота передних колес автомобиля,  $b$  – расстояние от задней оси автомобиля до центра тяжести;

$a$  – расстояние от вертикальной оси колеса до точки реакции дороги.

Величина реакции дороги при движении автомобиля на участке кривой определяется как суммарное значение вертикальной и боковой составляющих:

для передних колёс неприводного моста:

$$R_1 = \frac{1}{L \cdot \cos \Theta} \cdot [R_z^2 \cdot a^2 \cdot L^2 \cdot \cos^2 \Theta + (F_y \cdot b + M_j)^2]^{0,5} \quad (38)$$

для колёс заднего приводного моста:

$$R_2 = \frac{1}{2} \cdot [a^2 \cdot (R_z^2 \cdot L^2 + F_y^2) - M_j \cdot (2F_y \cdot a + M_j)]^{0,5} \quad (38)$$

При расчете величин силы сопротивления воздуха принимается формула

$$F_B = K_B \cdot A_B \cdot V_{\text{отн}}^2, \quad (39)$$

где  $K_B$  – коэффициент сопротивления воздуха, принимается для автомобилей: легковых – 0,13...0,15; грузовых – 0,5...0,7; автопоездов – 0,55...0,95; автобусов – 0,25...0,4;

$A_B$  – лобовая площадь наибольшего поперечного сечения машины;

$V_{\text{отн}}^2$  – относительная скорость ветрового потока, которая определяется по формуле  $V_{\text{отн}} = V_a \pm V_e \cdot \cos \alpha$ . Знак (+) принимается в том случае, когда направление ветра противоположно движению автомобиля; (–) – направление движения автомобиля и ветра совпадают;  $V_e$  – скорость ветра;  $\alpha$  – угол, образуемый направлениями движения автомобиля и ветра.

Суммарная величина окружной силы колес автомобиля при движении по криволинейному участку пути с учетом формул (24) определяется:

для наружного ведущего колеса:

$$F_K^H = F_K \cdot (1 - K_\delta + 2 \cdot K_\delta \cdot B - B) + R_z + F_B, \quad (40)$$

для внутреннего ведущего колеса:

$$F_K^B = F_K \cdot (K_\delta + 2 \cdot K_\delta \cdot B - B) + R_z + F_B \quad (41)$$

Качение ведомого колеса обеспечивается при соблюдении условия – продольная сила  $F_X$  меньше продольной составляющей реакции дороги и для:

наружного ведомого колеса:

$$F_X^H = F_f + F_{Kj} + R_1 + F_B.$$

внутреннего ведомого колеса:

$$F_X^B = F_f + F_{Kj} + R_1 + F_B.$$

Вертикальная нагрузка от колеса автомобиля передается на дорожное покрытие посредством удара в начальной части зоны контакта, сила которого пропорциональна квадрату скорости качения колеса [9]. Данная схема передачи колесной нагрузки на дорожную конструкцию справедлива для ровных участков покрытия. Наличие на покрытии дефектов (трещин, впадин, уступов) усиливает силу удара за счет появления значительной по величине поперечной составляющей этих сил.

### Выводы

1. Взаимодействие колес транспортных средств с покрытием дорог происходит по следу наката отдельно для внутренних и внешних сторон, что приводит к неравномерному износу по ширине полосы движения.

2. Ведущие колеса автомобилей контактируют с поверхностью прочного покрытия с деформацией, вызывающей скольжение. В итоге налицо износ асфальтобетонного покрытия в результате проявления трения скольжения.

3. Качение ведомого колеса есть результат наличия сил трения и силы сцепления с покрытием. При движении автомобиля по круговой кривой происходит качение и скольжение.

4. Суммарное сопротивление движению колеса по покрытию дороги складывается из силы сопротивления качению, разгону, тяги, сопротивления воздуха, движения по круговой кривой, преодоления продольного и поперечного уклонов и сопротивления прицепа для автопоездов.

### Литература

1. Дубина М.М., Агейкин В.Н. и др. Особенности постановки задач прогноза температурного режима сооружений в условиях сурового климата. Тюмень: ТюмГАСА, 1998.
2. Бабков В.Ф. Механика грунтов. М.: Транспорт, 1968.
3. Смирнов А.В., Александров А.С., Илиополов С.К. Динамическая устойчивость и расчет дорожных конструкций: Учебное пособие/ под ред. А.В. Смирнова. Омск: Изд-во СибАДИ, 2003.
4. Некрасов В.П., Алиев Р.М. Эксплуатация автомобильных дорог. Учебник для автодорожных вузов. 2 изд., перераб. М.: Высшая школа, 1983.
5. Васильев А.П. и др. Рекомендации по прогнозированию интенсивности образования колеи на автомобильных покрытиях. М.: Росавтодор, 2002.
6. Бурмистрова О.Н., Пластинина Е.В., Воронина М.А. Математическая модель проектирования лесовозных дорог с учетом климатических условий Северо-Западного региона// Известия Коми научного центра УрО РАН. 2011. Вып. 4(8). С. 79–84.
7. Сильянов В.В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1983.
8. Гришкевич А.И. Автомобиль: Теория: Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1986. 208 с.
9. Nemchinov M. V., Menshov A. S., Nemchinov D. M., Osinovskaya V. A. The environmental problems connected with highway construction and maintenance. Science Journal of Transportation, Moscow-Chengdu-Hanoi. 2009. № 1.

Статья поступила в редакцию 18.03.2013.

УДК 903:7.031(470.13)–10/0”

**ОРНИТОМОРФНЫЕ МОТИВЫ В ИСКУССТВЕ НАСЕЛЕНИЯ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА В I ТЫС. ДО Н.Э. – I ТЫС.Н.Э.**

**Т.Ю. ТУРКИНА**

*Институт языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар  
[turkina.tania@yandex.ru](mailto:turkina.tania@yandex.ru)*

В статье обобщены сведения об изделиях культовой металлической пластики, в изображениях которых присутствуют орнитоморфные мотивы. На основе принципа иконографии образа предложена классификация изображений данной категории, прослежены основные сюжетные линии и характерные особенности применения орнитоморфного элемента в изобразительном искусстве.

**Ключевые слова:** культовая пластика, «звериный стиль», древнее искусство, Европейский Северо-Восток, эпоха железа

**T.YU. TURKINA. ORNITHOMORPHIC MOTIVES IN THE ART OF THE POPULATION OF THE EUROPEAN NORTHEAST (I MILLENNIUM B.C. - I MILLENNIUM A.D.)**

Data on articles of cult metal plastic art with ornithomorphic motives are generalized. On the basis of the iconography principle of an image the classification of images of the given category is proposed, the basic subject lines and characteristic features of ornithomorphic element application in the visual arts are traced.

**Key words:** cult plastic art, "animal style", ancient art of the European North-east, Iron Age

Вопросам типологии и обзору исследований семантики орнитоморфных изображений посвящено немало исследований. Однако вопросы датировки некоторых изделий и их культурной принадлежности до настоящего времени остаются дискуссионными.

Одним из ярких и наиболее распространенных образов в «зверином стиле» Европейского Северо-Востока (далее ЕСВ) является образ птицы. Самые ранние изображения этого вида на территории ЕСВ относятся к эпохе энеолита-бронзы. Это каменные стилизованные фигурки водоплавающих птиц, найденные на пос. Вис I, II и пос. Вомыньяг, изображения идущих в ряд уток на глиняных сосудах на поселении лебязской культуры Смолокурный VI, рисунок в виде ушастой птицы с распахнутыми крыльями на стенке глиняного сосуда из пос. Борганъель I.

Д.Н. Анучин [1, с. 92] даёт общую характеристику и подробный анализ птицевидных изображений (от простейших к сложным). В частности, фигурки птиц с р. Сопляс он относит к категории «простейших», основными критериями которой являются «невыделанная отливка», не выраженное изображение головы, ластообразные крылья. Автор

выдвигает гипотезу о том, что на орнитоморфные образы Приуралья оказал влияние образ индийской мифической птицы Гаруды. По его мнению, влияние Индии доходило «через посредство промежуточных народностей, и притом с ними соперничали другие влияния, шедшие особенно из Передней Азии, из стран, прилегающих к Чёрному и Каспийскому морям» [1, с. 153].

А.В. Шмидт различает две группы птицевидных изображений. Основными признаками для I группы являются: украшение крыльев и туловища птицы головами различных животных, главным образом, лосей, изображение человеческого лица на груди птицы, орнаментация в виде рядов точек, основной сюжет блях этой группы – орлы и филины. Для II группы, по А.В. Шмидту, характерно отсутствие звериных голов на тулове птицы, присутствие цельных человеческих фигур, орнамент в виде мелкой насечки, также нет среди птиц изображения филина. Главный отличительный признак II группы – схематизм изображений [2, с.136–137]. I группу автор датирует ломоватовским временем (VI–VIII вв. н.э.), II-ю – X–XIV вв. [2, с.142]. Все известные на тот момент изделия, происходящие с территории ЕСВ (Уньинский, Соплясский и Ухтин-

ский клад), А.В. Шмидт включил в I группу изображений. Самыми ранними, по мнению автора, являются фигурки птиц с р. Уньи, следующими идут изделия из Соплясского клада. Автор указывает на их стилистическую близость вещам Гляденовского кострища [2, с.147].

А.П. Смирнов [3, с. 254] выделяет несколько периодов в эволюции орнитоморфных образов. Для ананьинской эпохи, по его мнению, характерны грубо отлитые фигурки летящих птиц – соколов или орлов – с распростёртыми крыльями и поджатыми лапами. В пьяноборскую эпоху начинается антропоморфизация птиц. В конце пьяноборской эпохи в IV–V вв. н.э. исполнение птицевидных изображений становится ещё разнообразнее и совершеннее. К ломоватовской эпохе автор относит фигурки птиц с одной, двумя и тремя головами, иногда с изображением человеческого лица на груди. По его мнению, в X–XI вв. наблюдается упадок, вырождение ритуальных фигур птиц. Из Подчеремского клада фигурки птиц он относит к IV–V вв. н.э., изделия Ухтинского клада датирует VI–IX вв. н.э. [3, с.259 табл. LXVIII, с.260 табл. LXIX, с. 261 табл. LXX]. Кроме того, А.П. Смирнов отмечает, что фигурки птиц бытовали в Приуралье со времени ананьинской культуры до XII–XIII вв. н.э. [3, с.260–261].

Н.Н. Балина (Чеснокова) при систематизации изделий «звериного стиля» на территории ЕСВ подразделила птицевидные образы на группы по форме: изображения с абрисом птицы в фас и птицы в профиль. Среди изображений в фас исследователь выделяет фигуры, отлитые с объемной головой, обращает внимание на оформление туловища, крыльев и хвоста этих изображений, на наличие личины на тулове, когтистых лап и отверстий для подвешивания. Среди профильных изображений отмечает водоплавающих птиц и фигурки на отдельных пластинах, которые сближает общий контур, различает их разворот и декор [4, с.24]. Хронологию этой категории изделий автор дает в контексте анализа классификации всех рассмотренных ею изделий «звериного стиля» ЕСВ и датирует их в рамках второй половины I тыс. н.э.

Г.М. Буров при анализе искусства гляденовско-ванвиздинского времени крайнего Северо-Востока Европы выделяет Пермский, Печорский и Западносибирский стили. Наличие фигурок птиц он характеризует, как важный фактор определения возраста «плакеточных комплексов» [5, с.58]. Отмечается, что они господствуют в ранних памятниках и немногочисленны в поздних. Характерной чертой для «печорского звериного стиля» он считает фигуру хищной птицы с полураспущенными крыльями (часто с человеческим лицом на груди), у которой голова повернута в сторону. По верхнему краю крыльев намечены звериные головы или туловище имеет два или три овальных отверстия. Эталонным памятником для выделения печорского стиля Г.М. Буров считает Уньинский клад, и относит его к ранним печорским изделиям (III–IV вв. н.э.), которые могут происходить от архаичных плакеток западносибирского облика [5, с. 52, 57, 58]. С точ-

кой зрения автора о западносибирском происхождении ряда предметов на Печоре согласна В.Д. Викторова [6, с.86]. По ее мнению, «в двух регионах – на Северном Урале и в Западной Сибири – во II в. до н.э. – IV в. н.э. в металлической пластике складываются близкие по содержанию, но различающиеся по иконографии сочетания образа хищной птицы и антропоморфной фигуры. При этом отмечаются два обстоятельства. Первое – личины на груди птиц – это особенность западносибирской пластики. Второе – наибольшее сходство образов пластики двух регионов просматривается в верховьях рек Вишеры – Печоры – Лозьвы – Северной Сосьвы, соединяющих путь культурных и торговых связей народов Приуралья и Западной Сибири».

В коллективной монографии А.М. Белавина, В.А. Иванова, И.Б. Крыласовой рассматриваются подвески с изображением птиц с распахнутыми крыльями и антропоморфными изображениями на груди, найденные на обширных пространствах Предуралья. Основываясь на данных мифологии и этнографии, авторы связывают этот сюжет с угорскими влияниями на древние культуры региона [7, 216–219, рис. 73–74].

Одна из последних сводных работ по данной тематике посвящена металлическим орнитоморфным изображениям эпохи раннего железа лесной полосы Восточной Европы и Урала [8]. Авторы сравнивают орнитоморфы из различных регионов северной Евразии и приходят к выводу о практически одновременном появлении этих образов в металлопластике Волго-Камья, Урала и Западной Сибири (не позднее VI–V вв. до н.э.). Территорией наибольшего распространения птицевидных идолов в первой половине железного века называется при этом горно-лесной Урал, как ареал распространения иткульской культуры, а доминирующим сюжетом – «геральдическая поза с головой анфас или в профиль», без личин на груди [8, с.216–237].

### Результаты исследований

На основе принципа иконографии образа и его сочетаемости с другими сюжетами изделия нами поделены на две группы: I группа – простые изображения; II группа – сложные изображения.

Внутри групп выделены три подгруппы по принципу расположения в композиции центральной фигуры, с учётом особенностей технологии изготовления:

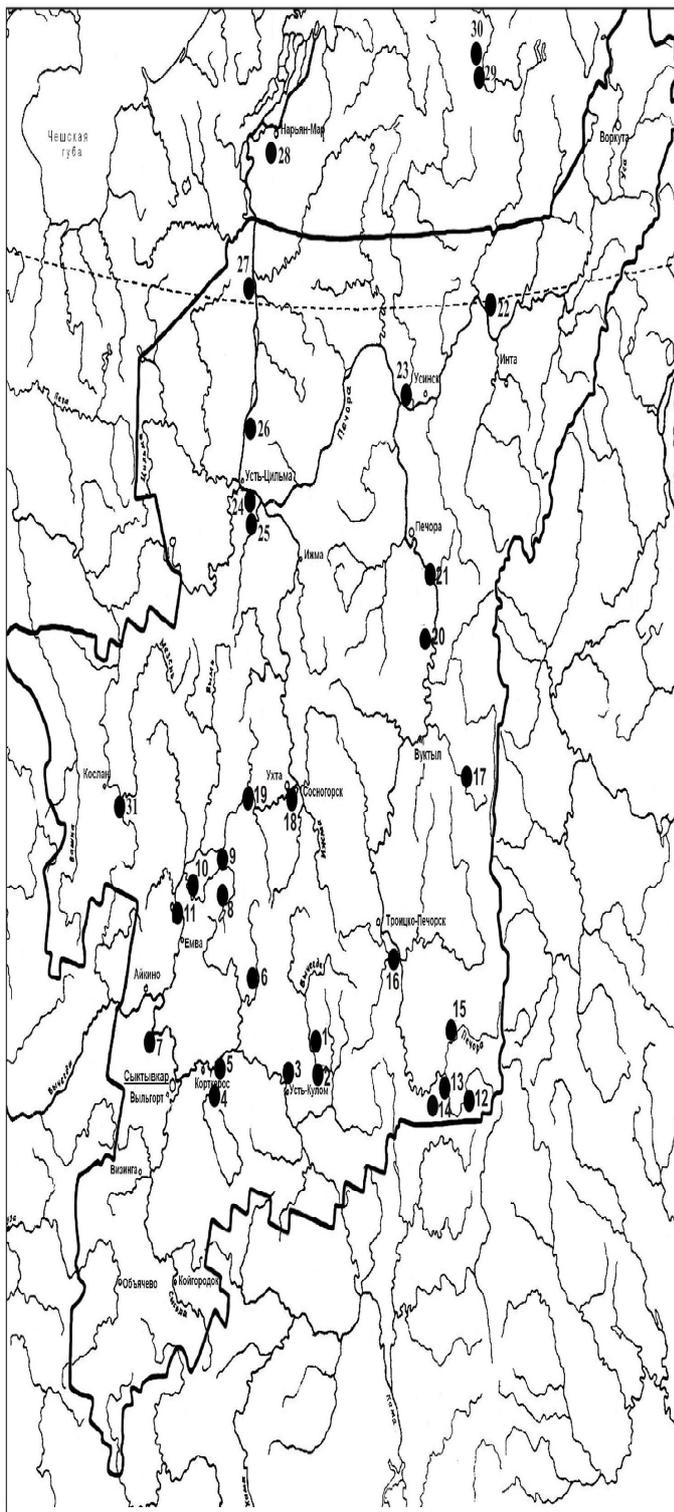
I подгруппа: плоские изображения в анфас; II подгруппа: плоские изображения в профиль; III подгруппа: объемные фигуры.

Во II группе выделены три типа изображений по сочетаемости орнитоморфного элемента с зоо- и антропоморфными элементами в сюжете:

1 тип: орнито-зооморфные; 2 тип: орнито-антропоморфные; 3 тип: орнито-зоо-антропоморфные.

Изделия 2 и 3 типов изображений подразделяются на виды:

Вид А – передача антропоморфной составляющей – личиной; Вид Б – антропоморфной фигурой.



БАССЕЙН р. ВЫЧЕГДА:

1. пос. Пожегдин II
2. пос.-свят. Мыёдино
3. пос. Пасашор
4. пос. Джуджыдыяг
5. пос. Угдым III
6. мог. Борганьель
7. м/н д. Слудка
8. пос. Вис I
9. м/н р. Чиньяворык
10. мог. I Веслянский
11. м/н д. Онежье

БАССЕЙН р. ПЕЧОРА

12. Уньинская пещера
13. Уньинский клад
14. м/н р. Андога
15. Канинская пещера
16. пос. Мылва
17. Подчеремский клад
18. Ухтинский клад
19. м/н д. Ухтинский волок
20. Сопляский клад
21. м/н д. Аранец
22. Адакская пещера
23. м/н р. Уса
24. Шиховской мог.
25. Нерицкий мог.
26. м/н Хабариха
27. мог. Новый Бор I
28. Кайновожский клад

БАССЕЙН р. МОРЕ-Ю

29. пос. Море-Ю
30. Хейбида-Пэдарское ж.м.

БАССЕЙН р. МЕЗЕНЬ

31. пос. Усогорск III/A

*Карта расположения изделий «звериного стиля» с орнитоморфными мотивами на территории Европейского Северо-Востока.*

Группа I (38 экз.). Подгруппа I (13 экз.): Самое раннее изделие подгруппы происходит из погребения VI–III вв. до н.э. Шиховского могильника. Это орнитоморфная фигура, предположительно ласточки (табл. I-1). В данную подгруппу вошли три фигурки птиц гляденовского времени – ушастые птицы из пос. Мылва III–IV вв. н.э. [9, с. 502], (табл. I-2), Сопляского клада (табл. I-3) и д. Аранец (табл. I-4). Девять изделий подгруппы относятся ко второй половине I тыс. н.э. Все они представляют собой фигурки хищных птиц со сложенными или распахнутыми крыльями. Подвеска в виде фигуры орла, найденная в пос. Усогорск III/A (табл. I-5) VII–VIII вв. н.э. [4, с.66]; изображение птицы с массивными вертикально опущенными крыльями из пос. Море-Ю (табл. I-6) VI–VII вв. н.э. [9, с.538]. Четыре фигурки маленьких птиц из Хэйбидя-Пэдарского жертвенного места (табл. I-7-10), культовое литьё которого датируется VI–VII вв. н.э. [10, с. 25]; подвеска в виде фигуры хищной птицы с маленькой круглой головкой и широко распахнутыми массивными крыльями из поселения ванвиздинского времени Джуджыдъяг (табл. I-11), вероятная её датировка VI–VII вв. н.э.; литая пластина прямоугольной формы – на лицевой стороне изображены головы совы (табл. I-12), найденная при раскопках Уньинского пещерного святилища в средневековом слое [11]. Последнее изделие этого периода, входящее в состав данной подгруппы, происходит из Ухтинского клада (табл. I-13) и датируется VIII–IX вв. [12, с.66, ил.21]. Существенным отличием этой фигуры ушастой птицы (филина?) является ее выполнение в технике ажурного литья и голова не выступает над всей плоскостью изображения, как у других фигурок данной подгруппы.

Подгруппа II (11 экз.). К ананьинскому времени относится одно изделие – профильное изображение хищной птицы с массивным изогнутым клювом и когтистыми лапами, поджатыми к туловищу из погребения VI–III вв. до н.э. Шиховского могильника [13] (табл. I-14). Признаками подгруппы II обладают четыре фигурки гляденовского времени. Это три плакетки Уньинского клада (табл. I-15-17), датированные II–IV вв. н.э. [5, с.57], и птица с р. Уса (табл. I-18), которую по аналогии с Уньинскими фигурками можно отнести к этому же периоду.

К раннему средневековью относятся шесть изделий этой подгруппы: четыре идентичных дисково – птичьих подвески Подчеремского клада (табл. I-19) VII–VIII вв. н.э. [14]. По-видимому, этим же периодом датируется плоская двусторонне литая подвеска в виде водоплавающей птицы из Хэйбидя-Пэдарского жертвенного места (табл. I-20). Самое позднее изделие в подгруппе датируется IX–XI вв. н.э. [15]: это круглая накладка с рельефным изображением птицы с распахнутыми крыльями из Канинского пещерного святилища (табл. I-21).

Подгруппа III (14 экз.). Восемь предметов датируется ананьинским временем. Три изделия происходят из погребений VI–III вв. до н.э. Шиховского могильника: украшение ремня и навершие ножен в виде голов хищных птиц (табл. I-22, 23), объёмная фигурка утки с длинной вытянутой шеей и лапами, поджатыми к брюшку (табл. I-24).

Три изображения найдены случайно и представляют собой головы мифических птиц с массивными загнутыми клювами. Все они расположены на предметах вооружения. Бронзовый чекан позднеананьинского времени со скульптурным изображением головы орла над втулкой с р. Уса (табл. I-25) из коллекции А.В. Журавского. По мнению В.И. Канивца, «такие изображения выражали не только общий дух искусства того времени, эпохи расцвета “звериного стиля”, но и местные традиции. Так, крупные головки хищной птицы (“орла”) над втулкой являлись отличительной особенностью ряда предметов северных областей Приуралья» [15, с. 97]. А.В. Збруева высказала мнение, что клевцы типичны для тагарских погребений и эти орудия следует считать заимствованными ананьинцами у восточных соседей, где они известны с карасукского времени. Подобное оружие автор датировала VI–V вв. до н.э. [16, с. 106–107]. Бронзовая секира, найденная близ д. Слудка у р. Пожог с изображением головы хищной птицы (орла) над втулкой и обухом в виде головы грифона (табл. I-26), датирована VI–V вв. до н.э. [17, с.27]. Подобные секиры относятся к топорам так называемого «пинезского» типа. На сегодняшний день известно шесть подобных изделий, найденных на территориях современной Архангельской области, Пермского края, Коми и Удмуртской республик [18, с.150-161, табл.1.]. На р. Цильма найдено навершие кинжала или ножа в виде головы ушастой хищной птицы (грифона?) в комплекте с ножнами, нижний конец которых украшен головой орла (табл. I-27). В.Н. Чернецов отнёс его к ярсалинскому (после устьеполуйскому) этапу, т.е. II–III вв. н.э. [19, с.158]. Современные датировки боевого «статусного» оружия позволяют датировать это изделие в рамках VI–III вв. до н.э.

К ванвиздинскому времени (вторая половина I тыс. н.э.) в этой подгруппе относятся восемь фигурок птиц. Четыре бронзовые фигурки водоплавающих птиц (три подвески и одна пронизка) из I Веслянского могильника VI–нач.VIII вв. н.э. [20] (табл. I-28-31), у трёх фигурок имеются подвесные кольца, у одной из них сохранилась лапчатая подвеска; три объёмные бронзовые фигурки тетеревов [по: В.А. Городцову] из Подчеремского клада (табл. I-32-34). Место обнаружения восьмого изделия данной подгруппы точно неизвестно (табл. I-35). Предположительно бассейн р. Вычегды, но по способу изображения можно его отнести к третьей четверти I тыс. н.э.

Группа II (62 экз.). I подгруппа (21 экз.). Из них к 1 типу относится плакетка из Уньинского клада – ушастая птица лосиными головами в верхней части крыльев (табл. II-1). Тулово фигуры утрачено, однако полное изображение известно по работе А.А. Спицына, [21, С. 138, рис. 454], где в основании хвоста птицы изображена профильная голова (череп) медведя.

Тип 2 (16 экз.). Вид А (12 экз.). Основная масса из них представляет собой изображения хищных птиц с личиной на груди. К гляденовскому времени относится восемь изделий. Птица с полураспахнутыми крыльями, ушастой головой в фас из Уньин-

ского клада (табл. II-2); две фигурки птиц из Усть-Сопляского клада (табл. II-3,4). Реалистичностью исполнения основного образа отличаются фигурки птиц пос. Пожегдин II (табл. II-5) и Угдым III (табл. II-6). находка из пос. Пожегдин II датируется II–IV вв. н.э. [22], фигурка птицы из Угдыма III в пределах III–V вв. н.э. [23, с.17]. К гляденовскому времени, по мнению автора, относится и фигурка птицы из д. Аранец (табл. II-7). Учитывая схематичность личины на груди птицы, изображение орнамента крыльев и хвоста продольными рельефными линиями, что видно у большинства фигурок птиц с личинами на груди гляденовского времени, наиболее вероятная её датировка III–V вв.н.э. К этому же времени можно отнести и фигурку птицы из Кайновожского клада (табл. II-8), найденного в устье р. Кайновож на правом берегу р. Ортинки в низовьях Печоры (сбор А.Г. Едовина), датированное в рамках IV–VIII вв. н.э. [24, с.7].

Четыре изделия этого типа датируются ванвиздинским временем: изображение хищной птицы в анфас с широко распахнутыми массивными крыльями и личиной на груди VI–VII вв. н.э. [10, с. 25] (табл. II-9) из Хэйбидя-Пэдарского жертвенного места. Следующие три изделия, помимо расположения основной фигуры в анфас, объединяет и тип нанесённой на груди личины – она реалистично выполнена, овал лица имеет контур и сердцевидную форму. А.В. Шмидт [2, с.148–149] описывает эту деталь как характерную для периода расцвета «звериного стиля», а именно для VI–VIII вв. н.э. Это фигурки птиц из Ухтинского Волока (табл. II-10), пос. Вис I (табл. II-11) и Нерицкого могильника (табл. II-12). Нерицкий могильник датируется X–XI вв. н.э. [25, с.8], саму же фигурку птицы можно предположительно отнести к VI–VIII в. н.э. Об этом свидетельствует как сам тип изображения хищной птицы с личиной на груди, так и способ передачи личины, имеющей сердцевидный контур.

Вид Б (4 экз.): самое раннее изделие происходит из погребения конца III–II вв. до н.э. могильника Новый бор I [17, с.3]. Это антропоморфное изображение с головным убором в виде птичьей головы с распушенными крыльями (табл. II-13); фигурки крылатых людей с поселения-святилища Мыёлдино – I–IV вв.н.э. [17, с.23] (табл. II-14) и с р.Чиньяворек (табл. II-15), которое Г.М. Буров на основании аналогий с древностями Чусовского Прикамья и памятников бассейна р. Ветлуги относит к первой половине I тыс. н.э. [26, с. 145]. Последнее изделие этого вида входит в состав Ухтинского клада и отличается тем, что антропоморфная фигура расположена на тулове птицы (табл. II-16). Прямых аналогий ему неизвестно. Оно датировано исследователями VIII–IX вв. н.э. [12, с.55, илл. 3].

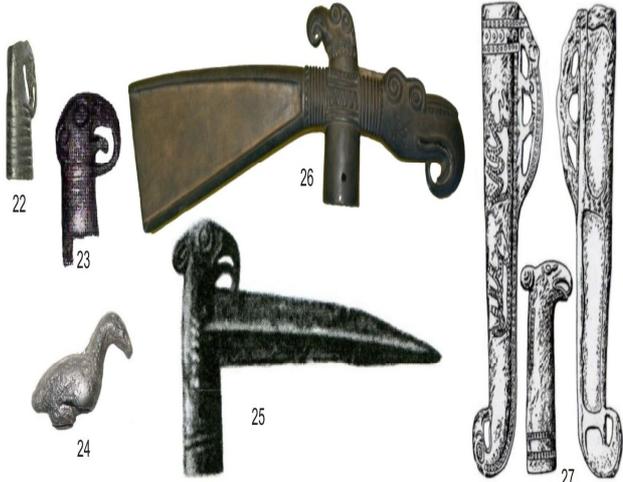
Тип 3 подгруппы I (5 экз.). Вид А (3 экз.): два изделия датируются гляденовским временем и происходят из поселения-святилища Мыёлдино. Первое представляет собой композицию в виде антропоморфной трёхрогой личины по обеим сторонам, от которой расположены птичья и звериная головы (табл. II-17). Второе – изображение трёхголовой птицы (средняя антропоморфная и две зоо-

морфные в профиль) с широко распахнутыми треугольными крыльями и тремя личинами на груди, стоящей на маленьком зверьке (табл. II-18). Последнее изделие этого вида – случайная находка из д. Хабариха (табл. II-19), которая представляет собой бляху-личину: от нижних скул личины в обе стороны отходят головы хищных птиц с крючкообразными клювами, овальными глазами, выполненными в низком рельефе. В верхней части личины имеются три «отростка» в виде зооморфных голов, предположительно лосей, завершение морды которых оформлено в идее голов хищных птиц с разомкнутыми клювами. Изделие выполнено в технике одностороннего литья, немного изогнуто, на оборотной стороне имеет два штырька и датируется VI–VII вв. н.э. [4, с.89].

Вид Б (2 экз.): первое изделие – фигура человека в статичной позе с птичьей головой на темени и ногами, оформленными в виде голов лосей из Кайновожского клада (табл. II-20); второе – плакетка VII–VIII вв. н.э. [12, с.120, илл.113.], найденная на р. Андюга (сборы А.Н. Береженцева в 1894 г.) со сложной композицией: антропоморфная фигура с головным убором в виде птицы, стоящая на ящере в окружении фигур лосей (табл. II-21).

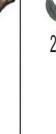
Подгруппа II (41 экз.). Тип 1 (7 экз.). Три фигурки относятся к гляденовскому времени. Это две плакетки из Уньинского клада. Первая представляет собой изображение хищной птицы с полураспахнутыми крыльями, ушастой головой, изображённой в профиль. В верхней части тулова имеется профильное изображение головы лося, расположенной мордой вниз, в средней части тулова – стилизованная голова медведя в анфас (табл. II-22). Хвост оформлен, как и у выше описанной фигурки человека из Кайновожского клада, в виде двух смыкающихся голов лося. Второе изделие – это фигура летящей птицы в профиль с направленным вверх, трёхперистым хвостом, крылом треугольной формы, тулово выполнено в виде головы лося, морда которого смыкается с шеей основного изображения (табл. II-23). Третье изделие найдено на поселении – святилище Мыёлдино. Это фигура мифической птицы с тремя зооморфными головами (табл. II-24). Оставшиеся четыре фигурки входят в состав Ухтинского клада. Первое представляет собой профильное изображение мифической птицы, стоящей на зооморфном существе, на спине птицы изображено двухголовое существо с орнитоморфной головой в передней части и зооморфной в задней (табл. II-25). находка датируется исследователями VIII–IX вв. н.э. [12, с.69, илл.24]. Второе – это ажурная бляха с летящими птицами и поднятыми вверх лосиными головами (табл. II-26), датированная более ранним временем – VI–VIII вв. н.э. [12, с.95, илл.73.]. Последние две бляшки вытянуты по вертикали, с многофигурной композицией из крылатого животного повёрнутого спиной к зрителю и двух рыбьих голов (табл. II-27,28). В одном случае в нижней части композиции (в хвосте животного) – лосиные головы. Датируются находки VIII–IX вв. н.э. [21, с. 116].

Таблица 1

		Группа I		
		Подгруппа I	Подгруппа II	Подгруппа III
Ванвиздинская ИКО	VIII-XI вв. н.э.			
	VI - нач. VIII вв. н.э.			
Гляденовская ИКО	II в. до н.э.-V в. н.э.			
Ананьинская ИКО	VI-III вв. до н.э.			

\*Изображения изделий представлены без масштаба

Таблица 2

Группа II											
Подгруппа I					Подгруппа II					Подгруппа III	
Тип 1	Тип 2		Тип 3		Тип 1	Тип 2	Тип 3			Тип 1	
	Вид А	Вид Б	Вид А	Вид Б		Вид А	Вид А	Вид Б			
Гляденовская ИКО II в. до н.э. - V в. н.э.		  	   	      		    	      	  	                   	           	
	Ванвиздинская ИКО VIII-XI вв. н.э.										
VI-нач. VIII вв. н.э.											

\* Изображения изделий представлены без масштаба

Тип 2 (1 экз.) представлен одной орнитоморфной фигуркой вида А со стилизованной личиной на тулове из Хейбидя-Пэдарского жертвенного места (табл. II-29).

Тип 3 (22 экз.). Вид А (2 экз.): фигуры птиц с ушастыми головами в профиль, зооморфными головами в верхней части крыльев, происходят из Уньинского клада (табл. II-30,31).

Вид Б (20 экз.): из них 17 плакеток из Ухтинского клада с фигурами крылатых людей, с лосиными головами на темени, стоящие на ящере (табл. II-32-48). В десяти случаях антропоморфная фигура имеет только одно крыло, датируются изделия в пределах VII–VIII вв. н.э. [12, с.160]. Сходны по сюжету ухтинским плакеткам изделия из пос. Паса-шор (табл. II-49) и м/н Андюга (табл. II-50). Отличается по иконографии плакетка Подчеремского клада (табл. II-51), датируемая VII–VIII вв. [14, с.113–150]. В данном случае композиция состоит из трёх профильных антропоморфных фигур, на темени центральной фигуры изображена голова птицы в профиль с массивным загнутым клювом, на головах боковых фигур – лосиные морды.

Подгруппа III сложных изображений представлена только изделиями типа А (11 экз.). Все они – украшения костюма и датируются VI–VIII вв. н.э. Две пронизки со сценой терзания хищной птицей зооморфного существа (табл. II-52,53), три пронизки в виде фигурок птиц с зооморфной головой. В литературе они также известны под названием «крылатый пёс» (табл. II-54-56), данные изделия относятся к материалам I Веслянского могильника VI–нач.VIII вв. н.э. [20] Аналогична веслянским пронизкам фигурка «крылатого пса» из местонахождения д. Онежье (табл. II-57). К этому же типу относятся три подвески в виде фигур водоплавающих птиц с лосиными головами (табл. II-58-60), найденные в погребениях могильника Борганьель VI–VII вв. н.э. [27]; две подвески с аналогичным сюжетом входят в состав Подчеремского клада (табл. II-61,62).

### Выводы

**Ананьинским временем** датируются восемь изделий. В большинстве своём они относятся к III подгруппе простых изображений и являются украшением предметов вооружения в виде голов мифических хищных птиц; украшения-подвески в виде фигурок водоплавающих птиц. Роль других типов композиций не существенна, так как предметы встречены в единичных случаях.

**Гляденовским временем** датируется 27 экземпляров. Число простых изображений незначительно (7 экз.), они обладают признаками I и II подгрупп. Все они найдены в бассейне р. Печора. Среди сложных изображений гляденовского времени самый распространённый сюжет – это хищная птица со стилизованной личиной или звериными головами на тулове. Профильные изображения представлены, в основном, разворотом только головы, большинство фигур птиц этой подгруппы имеет уши. Для гляденовского времени характерны также изображения людей с крыльями в анфас (2 экз.) и

птичьими головами на темени (2 экз.), географически данный вид сюжета не локализуется.

**Следующий период**, в котором можно выделить своеобразные элементы в передаче орнитоморфного образа, – это VI–VIII вв. н.э. К нему относятся 37 экз. Больше число из них составляют группу простых изображений (17 экз.), среди которых изделия I подгруппы (анфас) представлены фигурками хищных птиц с распахнутыми или опущенными крыльями. Фигурки II и III подгрупп – это изображения боровых и водоплавающих птиц, относящиеся по функциональному назначению преимущественно к категории украшений. Для этого периода также характерны изображения хищных птиц с личинами на груди, но они немногочисленны и представлены всего четырьмя экземплярами. От гляденовских их отличает более реалистичное выполнение личины на груди птицы.

Еще одна характерная для этого периода категория сложных орнитоморфных изображений – это пронизки и подвески со сценами терзания хищной птицей мелкого зверька, в виде фигур птиц со звериными головами. В литературе они известны как «крылатые псы», «утколоси», и характерны, как правило, для инвентаря погребений под насыпями бассейна р. Вычегда.

**К последнему этапу** (VIII–XI вв. н.э.) принадлежат 28 изделий. Среди них преобладают композиции, которые в описанной классификации отнесены к группе II типу 1 (4 экз.) и типу 3 виду Б (20 экз.). Это – пластины с классическими сюжетами, так называемого пермского звериного стиля: мифическая птица с зооморфной (в интерпретации некоторых исследователей – рыбьей) головой и стоящий на ящере человек с лосиной головой на темени и одним или двумя крыльями вместо рук. Географически все они относятся к бассейну р. Печора. Пластины данной категории представлены в основном в составе Ухтинского и Подчеремского кладов. Исключением является фигурка из раскопок поселения Пасашор, расположенного на средней Вычегде.

*Публикация подготовлена по Программе фундаментальных исследований Президиума РАН «Традиции и инновации в истории и культуре», направление 1 «Преемственность и трансформации в развитии древних и средневековых обществ по археологическим и антропологическим данным», проект № 12-П-6-1002 «Формирование и развитие археологических культур эпохи железа на территории Европейского Северо-Востока: традиции и инновации».*

### Литература

1. *Анучин Д.Н.* К истории искусства и верований у приуральской чуди. Чудские изображения летящих птиц и мифических крылатых существ// *Материалы по археологии восточных губерний, издаваемых Императорским московским археологическим обществом.* Т.3. М., 1899. С. 157–163.
2. *Шмидт А.В.* К вопросу о происхождении пермского звериного стиля// *Сборник музея*

- антропологии и этнографии. Вып. IV. Ленинград, 1927. С. 125–167.
3. *Смирнов А.П.* Очерки древней и средневековой истории народов Среднего Поволжья и Прикамья. (МИА Вып. 28). М., 1952. 274 с.
  4. *Чеснокова Н.Н.* Классификации и типологии в изучении археологических источников (на материале финно-угорского изобразительного искусства)/ Учебное пособие по спецкурсу. Сыктывкар, 1988. 67с.
  5. *Буров Г.М.* Бронзовые культовые плакетки I тыс. н.э. на крайнем Северо-Востоке Европы: Печорский местный «звериный стиль»// Проблемы финно-угорской археологии Урала Поволжья. Сыктывкар, 1992. С. 52–58.
  6. *Викторова В.Д.* Почему на птицевидных изображениях появились личины// Древние и средневековые культуры Урала в Евразийском культурном пространстве. Уральский исторический вестник. Вып. 8. Екатеринбург, 2002. С.74–92.
  7. *Белавин А.М., Иванов В.А., Крыласова Н.Б.* Угры Предуралья в древности и средние века: Монография. Уфа, 2009. 285 с.
  8. *Чемякин Ю.П., Кузьминых С.В.* Металлические орнитоморфные изображения эпохи раннего железного века Восточной Европы и Урала// У истоков археологии Волго-Камья (к 150-летию открытия Ананьинского могильника). Серия «Археология Евразийских степей». Вып. 8. Екатеринбург, 2009. С. 216–237.
  9. *Мурыгин А.М.* Памятники позднего железного века лесной и тундровой полосы Печорского Приуралья// Археология Республики Коми. М., 1997. С. 478–560.
  10. *Мурыгин А.М.* Хейбидя-Пэдарское жертвенное место. Сыктывкар, 1984. 50 с. (Серия препр. «Научные доклады»/ Коми филиал АН СССР; вып. 114).
  11. *Канивец В.И.* Первые результаты раскопок в Уньинской пещере// МАЕСВ: Вып. 1 Сыктывкар, 1962. С.103–154.
  12. *Оборин В.А., Чагин. Г.Н.* Искусство Прикамья: Чудские древности рифея. Пермь, 1988. 182 с.
  13. *Васкул И.О.* Шиховской могильник раннего железного века (первые результаты исследований). Сыктывкар, 2002. 52 с. (Серия общ. «Научные доклады» Коми НЦ УрО РАН; вып. 451).
  14. *Городцов В.А.* Подчеремский клад// Советская археология. 1937. № 2. С.113–150.
  15. *Канивец В.И.* Канинская пещера. М., 1964. 136 с.
  16. *Збруева А.В.* История населения Прикамья в ананьинскую эпоху // МИА. 1952. Т.V. №30. С. 106–107.
  17. *Васкул. И.О., Семенов. В.А.* Люди–звери–птицы северного Приуралья (эпоха раннего железа). Сыктывкар, 2004. 26 с.
  18. *Берлин А.В.* Ритуальные топоры раннего железного века из Приуралья // Археологическое наследие как отражение исторического опыта взаимодействия человека, природы, общества (XIII Бадеровские чтения): Материалы Всероссийской научной конференции. Ижевск, 2010. С.150–161.
  19. *Чернецов В.Н.* Нижнее Приобье в I тысячелетии нашей эры// Культура древних племён Приуралья и Западной Сибири // МИА. 1957. №58. 158 с.
  20. *Савельева Э.А.* Хронология погребальных комплексов Веслянского I могильника // Проблемы хронологии памятников Евразии в эпоху раннего Средневековья // КСИА. 1979. Вып. 158. С. 79–90.
  21. *Спицын А.А.* Шаманские изображения// Записки отделения русской и славянской археологии Императорского русского археологического общества. Т. VIII. Вып. 1. СПб., 1906. С. 29–145.
  22. *Васкул И.О.* Хронология и периодизация памятников пьяноборской эпохи на Европейском Северо-Востоке. Сыктывкар, 1992. 20 с. (Серия сообщ. «Научные доклады»/Коми НЦ УрО РАН; Вып. 287).
  23. *Королёв К.С.* Угдымский археологический комплекс на средней Вычегде. Сыктывкар, 2002. 108 с.
  24. *Хозяинов И.В.* Кайновожский клад. Нарьян-Мар, 2010.
  25. *Семенов В.А., Чудова Т.И.* Культовая пластика. Каталог выставки. Сыктывкар, 2003. 17 с.
  26. *Буров Г.М.* Вычегодский край: очерки древней истории. М., 1965. С. 145.
  27. *Ашихмина Л.И.* Погребальный обряд курганного могильника Боргангёль. Сыктывкар, 1988. 24 с. (Серия сообщ. «Научные доклады» / Коми НЦ УрО АН СССР; вып. 191).

Статья поступила в редакцию 08.11.2012

УДК 39:27-526.62

## СТАРООБРЯДЧЕСКАЯ ИКОНА НИЖНЕЙ ПЕЧОРЫ: ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИТОГИ ИЗУЧЕНИЯ

Т.И. ДРОНОВА\*, Н.Е. ПЛАКСИНА\*\*

*\*Институт языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар*

*\*\*Национальная галерея Республики Коми, г. Сыктывкар*  
[t\\_i\\_dronova@mail.ru](mailto:t_i_dronova@mail.ru), [nplaks@mail.ru](mailto:nplaks@mail.ru)

Дается общая характеристика наиболее крупных иконописных собраний на обследованной территории Усть-Цилемского района. Выделена группа живописных икон, обладающих признаками общей мастерской, а также группа резных деревянных икон, предположительно, связанных в своем происхождении с Великопоженским общежитием.

**Ключевые слова:** русские, старообрядцы-поморцы, живописная икона, медное художественное литье, деревянная резная пластика, бытование, Великопоженский скит

## T.I. DRONOVA, N.E. PLAKSINA. OLD BELIEVERS' ICON OF THE LOW PECHORA: PRELIMINARY RESULTS OF STUDYING

The general characteristic of the largest collections of icon painting in territory of the Ust-Tsilma region is given. A group of pictorial icons possessing signs of a common workshop, as well as a group of carved wooden icons, presumably related in their origin with Velikopozhesky monastery are singled out.

**Key words:** the Russians, Old Believers-Pomors, pictorial icon, copper art casting, wooden carved plastic art, existing, Velikopozhensky monastery

### Введение

Богатая духовная культура старообрядцев Нижней Печоры, её уникальная рукописно-книжная традиция, обрядность, художественное наследие нижнепечорских мастеров резьбы и росписи по дереву давно являются предметом исследований филологов, археологов, этнографов и искусствоведов. Вместе с тем, иконописные памятники Нижней Печоры до сих пор остаются мало изученными.

Первые документальные сведения об источниках поступления икон на Нижнюю Печору опубликовал В.И. Малышев [1], обнаруживший в ходе археографических изысканий письмо лексинца Семена Дорофеевича на Пижму 1824 г. с упоминанием заказа икон лексинским мастерам-иконописцам. В дальнейшем некоторые попытки в исследовании бытования икон на Нижней Печоре в 1960–1970-е гг. предпринимал этнограф-религиовед Ю.В. Гагарин, изучавший с позиции атеизма конфессиональные группы староверов [2]. Отдельные аспекты бытования иконы в свадебной и погребально-поминальной обрядности устьцилемов получили отражение в монографии Т.И. Дроновой уже в начале XXI в. [3]. Тогда же началось изучение нижнепечорской старообрядческой иконы как художественного явления. Отдельные произведения меднолитой пластики из Усть-Цильмы были описаны Е.Я. Зотовой [4] и Н.Е. Плаксиной [5], составлено описание живописных икон из

моленной старообрядческого наставника С.Н. Антонова [6], хранящихся в фондах Национального музея Республики Коми. Коллекционерами-исследователями Ю.И.Афанасьевым и А.В.Афанасьевым (Москва) были выявлены и описаны отличительные признаки группы памятников, происходящих из Усть-Цильмы, названной ими «великопоженской иконой» – по предполагаемому месту их создания Великопоженскому скиту [7, 8]. Осуществленный по их инициативе анализ образцов местных охр и красочных пигментов с группы «великопоженских икон», проведенный сотрудниками Российского НИИ культурного и природного наследия им. Д.С. Лихачева В.Н. Ярош и Л.О. Магазинной, выявил характерные для пород Тимано-Печорского кряжа примеси, прежде всего, никеля, который отсутствует в составе пигментов иконы выговского происхождения [9].

В 2012 г. состоялась первая комплексная экспедиция на Нижнюю Печору, в ее составе работали искусствоведы и этнограф, при участии консультанта Ю.И. Афанасьева как одного из авторов гипотезы о «великопоженской иконе». Этот совместный проект Национальной галереи Республики Коми и Института языка литературы и истории Коми НЦ УрО РАН ставит целью: изучение памятников иконописи и медного литья, бытующих в среде старообрядцев Нижней Печоры; визуальный осмотр, паспортизация, фотофиксация, запись семейных историй (легенды) собирания икон, а также

сбор этнографического материала по использованию икон в повседневной и обрядовой жизни.

В ходе экспедиции обследованы населенные пункты по рекам Цильма (с. Трусово и д. Филиппово), Пижма (с. Замежная, д. Скитская, д. Степановская) и Печора (с. Усть-Цильма и д. Гаревое). Посещено 39 частных домовладений и опрошено 48 информантов. Обследованы почти все наиболее значимые государственные, общественные и частные собрания Нижней Печоры, в том числе собрания Историко-мемориального музея А.В. Журавского (с. Усть-Цильма) и его филиала Пижемского историко-этнографического музея, молитвенных домов в с. Замежная и с. Усть-Цильма, часовни в д. Скитская и обетного амбарца на кладбище д. Скитская. Были обследованы кладбища в д. Степановская и д. Скитская. Кроме того, удалось посетить месторождение красной и желтой охры (в народе именуемое «краски») на горе Кокур возле д. Скитская и взяты пробы охры для дальнейших исследований.

### Бытование икон

История развития староверия на Нижней Печоре (Усть-Цилемская волость) связывается с приходом на реки Пижма и Цильма староверов из северо-западных районов России, образовавших по местам их поселений Великопоженский и Омелинский скиты. В исторических документах, свидетельствующих о деятельности Великопоженского скита, сообщается о прочных связях великопоженских насельников с Выголексинской обителью как крупнейшего поморского старообрядческого центра на Севере, окормлявшего все староверческие очаги на Русском Севере и в центре России. Скит развивался по подобию Выголексинского скита. При нем были открыты школы-граммотницы, мастерские по переписыванию и реставрации книг. Версия о существовании иконописания в духовном центре пижемского старообрядчества имеет давнее происхождение. Но достоверные сведения отсутствуют. К числу упоминаний об этом относится статья Т.Б. Парамоновой [10], в которой сообщается, что Великопоженский скит снабжал иконами своего изготовления окрестные скиты. К сожалению, источник не раскрывает характер этих памятников. Ю.В. Гагарин в своем исследовании отмечает, что в ските изготавливались резные иконы [2, с. 18–19]. Между тем, в Великопоженском ските живописная традиция существовала не только как переписывание и оформление книг, но и в виде искусства изготовления нравоучительного рисованного лубка [11, 12], которое, как правило, было тесно связано с иконописанием. Художественные импульсы, исходящие от Великопоженского скита, надолго сохранились в деревнях Нижней Печоры в искусстве пижемских ложечников и в традициях украшения бытовых предметов резьбой и росписью [13, 14]. Развитию живописной традиции на Пижме способствовали уникальные природные условия этой территории – наличие здесь месторождений природных охры и цветных глин, издавна использовавшихся местными жителями для украшения бытовых предметов

и окраски жилища. Все эти обстоятельства побуждали продолжить поиск доказательств существования иконописания на Нижней Печоре.

Данные этнографических исследований в 1990-х гг. в Усть-Цилемском районе свидетельствуют о том, что в начале XX в. древлеписьменные и литые памятники крестьяне привозили из Москвы и Санкт-Петербурга – старообрядческих центров, с которыми нижнепечорцы поддерживали прочные связи. Часть образов частных собраний была привезена из Архангельска, с Вашки, куда крестьяне выезжали на ярмарки. Иконы приобретали, это был особый предмет разговоров и интереса в крестьянском кругу, их дарили кровным и духовным детям, передавали по наследству из поколения в поколение.

В усть-цилемской локальной традиции иконам придавалось очень большое значение: дом без икон сравнивался с нежилым помещением. Трепетное к ним отношение и стремление приобрести связывалось, в первую очередь, с тем, что в староверческих поселениях дом представлял собой «малую церковь». Это была реакция на преследование со стороны властей, запрещавших возведение культовых строений. Известно, что в домах зажиточных крестьян устраивали частные моленные, в которых для сельчан [15] проводили праздничные и воскресные службы. По рассказам информантов, иконостасы в частных моленных были двух- и трехуровневые, центральную часть составляли *древенные* (деревянные) иконы: восьмиконечный крест, слева от него – образ Николая Чудотворца, справа – Богородицы. Семейные божницы составляли не менее 10 икон. В прошлом в каждом доме совершался суточный круг молитв.

Во вновь возведенный дом первой по обычаю было принято вносить икону с образом Николая Чудотворца – особо почитаемого святого по всему Русскому Северу. Ему служили молебны на благополучие жильцов. По местной традиции иконы расставляли во все жилые комнаты, а главный иконостас (*божница*) размещали в той комнате, где устраивали трапезу и поэтому считавшуюся главной.

После обнародования в 1905 г. Именного Высочайшего Указа «Об укреплении начал веротерпимости» положение старообрядцев в Усть-Цилемской волости значительно улучшилось. Примером тому было возведение часовен в с. Нерица и д. Черногорская (по р. Нерица), деревня Боровская и Скитская (по р. Пижма), действовавших до конца 1920-х гг. В волостном центре были обновлены моленные амбарцы в поклонном месте по р. Тобыш и на Ивановом кладбище. Часовни принадлежали крестьянским родам, которые и оснащали их богослужебной утварью: иконы находились в них стационарно, а книги служители приносили в день проведения служб. В годы советского строительства в Усть-Цилемском районе продолжали действовать только молитвенные амбарцы. Часовни по рекам Пижма и Нерица представлятелями местных властей были приспособлены для хозяйственных нужд. В 1977 г. по обету П.П. Чупровой был построен еще один молитвенный амбарец на кладбище в д. Скитская. В 1991 г. там же возведена часовня,

позднее перенесенная на место сгоревшего скита. Оба молитвенных помещения действуют и в настоящее время: в весенне-летний период староверы приходят по обету помолиться, совершают поминальные службы по сгоревшим скитникам.

Особое внимание в исследовании придавалось определению роли и значению икон в жизни усть-цилемских крестьян. Для верующего человека иконографический образ является важнейшим символом религиозной культуры. Иконы в понимании крестьянства составляли необходимую и важнейшую часть обихода: *«Жили богасьва никакого не было: книги да иконы. Молисе, гледишь на икону как с Богом разговаривашь. У новых (некоторых – Т.Д.) иконы были разны: надо было за своё здоровье помолитце, за скота помолитце, за боляшших, от скорбей...»* [Полевые материалы Т.И. Дроновой: записано в 2004 г. от А.М. Бабиковой, 1922 г.р. в д. Чукчино]; *«Икону в доме надо иметь. Одним моляще о здоровье, других святых просят за мёртвых... Человек умрёт без покаенья – Пауцию моляще. Быват скорби нападут – Всем скорбящим в радость Богородице моляще. За скота опять Властию да Медостию ... так и жили. Всё в люди не набегаеет, своё надо иметь, молице. Как о уж тут иконы богасьво – нужна (нужда – Т.Д.). Это нынче молице перестали, да стали у нас иконы закупать – богасьвом иконы стали, поставят в доме да курят – беда большой грех»* [Полевые материалы Т.И. Дроновой: записано в 2012 г. от И.И. Носовой, 1926 г.р. в с. Усть-Цильма].

Использование икон полно отражено в обрядовой культуре устьцилемов: Богородичным *древенным* образом благословляли жениха и невесту в свадебном обряде, икона была обязательной частью приданого невесты; литой образ устанавливали на теле усопшего в период его трёхдневного нахождения в доме, перед погребением его убирали и врезали в памятник усопшему. Небольшую икону устанавливали в бане на период родов с тем, чтобы на определенное время придать семантически «нечистому» месту обжитость. В этом случае предпочтение отдавалось Богородичным образам. Устраивали крестные ходы вокруг жилого дома, где проводили всенощную службу к праздникам Рождеству и Пасхе: деревянную икону или литые створы укладывали на полотенце и освящали ход. Больше всего почиталась украшенная эмалью белого цвета медная пластика. Иконы с её использованием назывались *иконы со свенистами*, их имели преимущественно богатые крестьяне. Особо почитались литые четырёх- и трёхстворчатые складни (*створы*), которые стремились приобрести все крестьяне. За культовыми предметами тщательно ухаживали: мыли не менее трёх раз в год с использованием природных компонентов и органических веществ (клюква, зола). Иконы в доме располагали на недоступной детям высоте. Существовали предписания в обращении с ними, например, с ним запрещалось прикасаться инославным, женщинам в дни регулов; взрослым следовало предварительно вымыть руки, женщинам повязать платок. Словом, крестьяне жили в глубокой вере и семейную жизнь

строили, памятуя о страхе Божиим; иконы же были им визуальным напоминанием об этом. Например, детям при непослушании говорили, указывая на образа – «Бог всё видит».

В особую группу памятников выделены представленные единично резные доски и кресты с изображением Голгофы. В отличие от севернорусской традиции бассейнов Мезени, Пинеги и Выга, где резные памятники такой тематики изготавливались для надгробных сооружений (столбов), на Нижней Печоре они выполняли иную (до конца не выясненную) функцию, которая не связывалась с их установкой на надгробных памятниках. В традиции устьцилемов в погребальный крест (столб) всегда врезали небольшую меднолитую икону: для женщин – Богородичной тематики, для мужчин – с образами прочих святых, или нательный крест. Нами не зафиксировано ни одного случая установки досок на кладбище. В настоящее время доски помещают на домашних божницах. Одна такая «икона» имеется и в собрании старообрядческой общины с. Усть-Цильма в новом храме. По ее подобию в 2011 г. оформлен резной аналой.

В Усть-Цилемской волости в реликтовых местах возводились массивные обетные резные кресты. Известны такие случаи: на месте Омелинского скита по р. Цильма, на кладбище в д. Скитская было установлено два одинаковых креста. Рядом с одним из них была пристроена домовина, где покоятся останки сгоревших скитников. В 2005 г. рядом с часовней в д. Скитская был установлен массивный деревянный восьмиконечный резной крест из лиственницы, выполненный пижемским мастером И. Штинниковым по образцу креста XIX в. (ныне сильно обветшавшего), на деревенском кладбище. Крест возведен на пожертвования пижемских и сыктывкарских староверов.

#### Иконописные памятники

Трудность изучения иконы Нижней Печоры на современном этапе усугублена тем, что иконописные памятники с этой территории оказались расщепленными по различным музейным и частным собраниям. Несмотря на постоянный интерес ученых и коллекционеров к культурному наследию жителей Усть-Цилемского района, особое отношение нижнепечорских старообрядцев к иконе способствовало ее сохранению в местах их первоначального бытования. Это оставляет для исследователей шанс ее изучения и возможные открытия.

Наиболее обширный комплекс памятников Нижней Печоры на территории Усть-Цилемского района представляет коллекция Усть-Цилемского историко-мемориального музея А.В. Журавского. Она включает несколько десятков живописных и меднолитых икон, а также одну резную деревянную доску. Коллекция собиралась со времени основания музея (начало 1960-х гг.). Источники поступлений памятников не всегда известны. Большинство икон переданы в музей местными жителями. Несколько икон приобретены из частной моленной известного старообрядческого наставника С.Н. Антонова, проживавшего в д. Скитская. Часть образов

была передана из моленного дома с. Усть-Цильма, как не соответствующая беспоповскому даниловскому согласию, часть икон передана из районного ОВД [16]. Наиболее ранний памятник в коллекции – икона XVI в. «Покров Пресвятой Богородицы» (КП 4349), восходит ко времени основания Усть-Цильмы. Единичными памятниками представлен XVII в. Основной комплекс памятников составляет старообрядческая икона XIX в. Иконы, поступившие из моленной С.Н. Антонова, происходят из Великопоженского скита. Две из них – «Пророк Иезекииль» (КП 5041) и «Праотец Иаков» (КП 5042) – имеют на оборотах красные сургучные печати помощника Пинежского окружного начальника Н.А.Пилюскина, представленные при опечатывании иконостаса часовни в д. Скитская в сер. XIX в. [13. С. 314–315]. Большой интерес представляет редкая по своей иконографии икона «Воскресение Христово – Сошествие во ад, с 32 клеймами Страстей Господних» (КП 5789).

Экспедиция совпала по времени с проведением юбилейных мероприятий, приуроченных к 470-летию с. Усть-Цильма. В рамках этих мероприятий в Историко-мемориальном музее А.В. Журавского была открыта выставка «Отблески былого Старорусья». Представленные на ней около 30 памятников иконописи и медного литья из фондов музея и частных собраний Усть-Цильмы, также были нами исследованы и описаны. Единичные образцы деревянной резной и меднолитой пластики представлены в собрании Пижемского историко-этнографического музея в с. Замежная. Особенно интересны резная деревянная икона «Голгофский крест» (КП 1524) и резной киот для меднолитых икон (КП 1523).

Другое представительное собрание, включающее в себя несколько десятков живописных и меднолитых икон, а также один деревянный резной крест принадлежит старообрядческой общине (зарегистрирована в 1990 г.). В 1992 г. община обрела молитвенный дом<sup>1</sup> в с. Усть-Цильма, действовавший с 1992 по 2011 г. Большая часть икон была передана общине местными жителями. По причине переезда в 2011 г. усть-цилемской староверческой общины в новое здание Храма и незавершенности внутренних работ по его обустройству, часть икон была возвращена на временное хранение местным жителям. В связи с этим нам не удалось познакомиться со всем собранием. Из тех икон, которые

были показаны нам настоятелем А.Г.Носовым, основную часть составляют иконы конца XVIII – XIX вв., представляющие выговскую традицию в поморском старообрядческом иконописании.

Комплекс икон молитвенного дома в с. Замежная сложился после его основания в 1980–1990-е гг. (фото 1). Все иконы были принесены местными жителями и имеют на обороте вкладные надписи. Три иконы, в том числе особо почитаемый образ «Богоматерь Тихвинская», подарены молит-



Фото 1. Иконостас в молитвенном доме с. Замежная. Фото Н.Е. Плаксиной, 2012.

венному дому В.В. Фотом. Икона «Богоматерь Тихвинская» по легенде происходит из д. Скитская, и, возможно, была связана в своем бытовании с часовней Великопоженского скита. Однако ее размеры по высоте не совпадают с размерами одноименной иконы из местного ряда иконостаса этой часовни [17]. Большой интерес представляет антиминс, который также по легенде происходит из Великопоженского скита. Значительная часть собрания молитвенного дома – это иконы поморского письма XIX в. Особенно интересна икона-врезка «Распятие Господне с предстоящими» с заказной надписью на обороте. Аналогичная икона той же мастерской и с аналогичной надписью была нами обнаружена ранее в частном собрании с. Усть-Цильма.

Комплекс икон часовни, возведенной в 1990-е гг. на месте сгоревшего Великопоженского скита в д. Скитская, сложился также из вкладов местных жителей. Он состоит из семи живописных (одна икона под окладом, одна современной работы), двух меднолитых икон и одного меднолитого киотного креста современного изготовления. Живописные иконы находятся в плохой сохранности. На трех из них красочный слой практически полностью утрачен. В основном, это иконы XIX в., представляющие выговскую традицию в старообрядческом иконописании.

<sup>1</sup> В культуре староверов под молитвенным домом понимается помещение, предназначенное для отправления религиозных служб, ранее используемое в жилом фонде. Храм или церковь – здания, предназначенные исключительно для богослужений.

В обетный амбарец на кладбище в д. Скитская иконы были принесены из Усть-Цильмы проживавшими там пижемцами. Иконостас состоит из семи живописных икон и одного деревянного резного креста, а также пелены с изображением Голгофы современного шитья. Три из семи икон представляют собой произведения выговской поморской традиции конца XVIII – XIX вв. Центральная икона комплекса – «Спас Вседержитель», судя по размерам, она относится к местному ряду неизвестного иконостаса. Его плохая сохранность практически не оставляет возможностей для атрибуции.

В частных домовладениях на Пижме икон почти нет, зафиксированы лишь единичные памятники. В то время как на Цильме и в самой с.Усть-Цильме сохранились довольно крупные комплексы домашних божниц. Они включают живописные и меднолитые иконы, в том числе современной работы. В одном из частных собраний села была выявлена икона «Праотец Адам» из пророческого ряда иконостаса часовни Великопоженского скита. На ее обороте – красная сургучная печать помощника Пинежского окружного начальника Н.А. Пилюскина, аналогичная тем, что имеются на двух иконах из собрания Усть-Цилемского Историко-мемориального музея А.В. Журавского [6]. На ряде икон из частных собраний зафиксированы порядковые номера, возможно, обозначавшие место расположения образов в домашних божницах. Имеется также группа икон с владельческими монограммами. К сожалению, обнаруженные на оборотах ряда икон заказные надписи в полевых условиях нам не удалось прочитать (они зафиксированы для последующей расшифровки).

Большой интерес для исследователя нижепечорской иконы представляет частная коллекция В.Н. Киреева (с.Усть-Цильма); она содержит пять живописных икон, одну резную доску «Голгофский крест», а также несколько десятков меднолитых икон. Коллекция собиралась владельцем на протяжении многих лет и дает представление о типологическом разнообразии бытовавшей среди местных старообрядцев меднолитой пластики.

Особое внимание в ходе экспедиционного обследования уделялось живописным иконам. Существенным препятствием для их изучения и описания была плохая сохранность большинства из них. Всего зафиксировано 68 наименований сюжетов и образов святых. Наибольшим числом памятников представлен образ святителя Николая Чудотворца (10 икон). Далее по количеству следуют образ «Воскресение Христово – Сошествие во ад», в том числе с двенадцатыми праздниками и с клеймами Страстей Господних (7), «Спас Вседержитель» (6), «Покров Пресвятой Богородицы», «Образ Всех святых», «Распятие Господне» (по 4), «Святые преподобные Зосима и Савватий Соловецкие», «Три святителя: Василий Великий, Иоанн Златоуст, Григорий Богослов», «Богоматерь Тихвинская», «Богоматерь Казанская», «Богоматерь Всем скорбящим радость», «Архистратиг Михаил – грозных небесных сил воевода», «Седмица», «Спас оплечный», «Спас на престоле» (по 3). Состав наиболее

часто встречающихся иконографических сюжетов типичен для старообрядцев поморского согласия и, возможно, сложился под влиянием Выголексинского поморского общечестельства.

Предварительная классификация живописных икон по стиливым признакам показала присутствие в регионе продукции старообрядческих иконописных мастерских Москвы, Ярославской, Архангелогородской, Вологодской губерний, Владимирских иконописных сел и Урала. Преобладают иконы, созданные в традициях выговских поморских писем. В их числе имеется довольно большая группа икон, предположительно вышедших из одной мастерской. Их отличительные технико-технологические признаки – качественно изготовленные, практически не деформировавшиеся со временем доски основы, составленные из нескольких дощечек (от трех до шести), скрепленных торцевыми шпонками. Стандартный размер иконной доски 31,5x26x2,5. С лицевой стороны иконы этой группы имеют неглубокий ковчег с пологой лузгой. Вся поверхность закрыта льняной паволокой прямого плотного переплетения. Левкас тонкий, что является одной из причин плохой сохранности большинства памятников этой группы. Общность прослеживается в характерных приемах письма, составляющих особый почерк. В их числе – особые приемы изображения облачков в виде белильных завитков по красной или голубой подложке, узоры орнаментации одежд, характерный на полях рисунков наверхий над фигурами предстоящих святых, приемы ограничения позома несколькими парал-

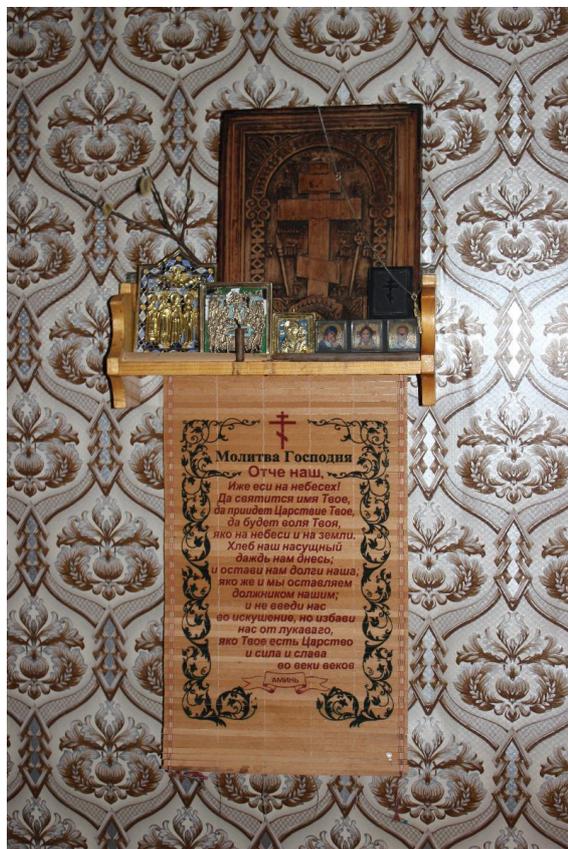


Фото 2. Божница в частном доме. Фото Н.Е. Плаксиной, 2012.

лельными белильными линиями и ряд других. Общими являются способы обрамления иконы двойной (красной и голубой) или тройной (красной, голубой, белой) опушкой и ординарной красной или сдвоенной красно-белой лузгой. Зафиксированы две идентичные иконы «Покров Пресвятой Богородицы», выполненные по одной прориси и совпадающие практически до деталей.

На наш взгляд, недостаточная изученность поморского старообрядческого иконописания не позволяет на данном этапе исследования однозначно говорить о том, являются ли иконы этой группы происходящими с Выговского суземка, или же представляют иной, возможно, местный вариант развития выговской традиции. Необходимо дальнейшие изыскания: сопоставление памятников с иконами из музейных собраний Карелии, Санкт-Петербурга, Архангельска, поиск в архивах документальных сведений о деятельности Великопоженского скита.

В ходе экспедиции была выявлена группа деревянных резных досок и крестов с изображением Голгофы (фото 2). Сопоставление этой группы памятников говорит об их безусловном своеобразии и возможном общем происхождении. Доминирующий в окраске резных досок красно-оранжевый цвет часто встречается в украшении предметов бытового назначения, происходящих с Пижмы (ложки, ружейные ложи и пр.). Аналогичный цвет присутствует в составе красочных палитр пижемских мастеров-ложечников, экспонируемых в Усть-Цилемском Историко-мемориальном музее А.В.Журавского (Усть-Цильма) и его филиале (в Пижемском Историко-этнографическом музее). По сведениям заведующей Пижемским музеем Л.Г. Бобрецовоной, оранжевая краска делалась на основе природных красных и оранжевых охр, месторождения которых находятся в местечке Красный ручей на горе Кокур (в 2 км от д. Скитская) (фото 3, 4). Нами были взяты пробы охр этого месторождения для последующего их анализа и сопоставления. Концентрация резных памятников на территории проживания старообрядцев поморского согласия в селениях по Пижме и в Усть-Цильме, в совокупности с данными Ю.В. Гагарина о том, что в Великопоженском скиту изготавливались резные иконы, дает весомые основа-

ния предполагать их местное происхождение и связь с духовным центром нижнепечорского старообрядчества – Великопоженским поморским общением.

### Заключение

На территории Усть-Цилемского района Республики Коми представлен весь комплекс обрядовых предметов, характерных для старообрядцев беспоповского согласия: живописные иконы, иконы-врезки (живописные иконы с врезанными литыми крестами), медное художественное литье (кресты, иконы, складни), а также доски с врезанными предметами медного литья, деревянная резная пластика (иконы и кресты) с изображением Голгофы. Выявлено устройство домашних божниц, иконостасов в часовне и молитвенных домах. Проведена фотофиксация, обмеры памятников, составлены науч-



Фото 3. Месторождение цветных охр на г. Кокур. Фото Н.Е. Плаксиной, 2012.



Фото 4. Красная охра. Фото Н.Е. Плаксиной, 2012.

ные паспорта на живописные иконы, включающие в себя основные атрибуционные данные: иконография, предположительное время и место создания, техника, материалы, размеры, общее описание сохранности, надписи, печати. Собранный полевой материал позволяет достаточно полно восстановить роль и место иконы в обрядах жизненного цикла старообрядцев Нижней Печоры, проанализировать типологический, иконографический, стилистический составы бытующих на данной территории памятников, проследить пути проникновения иконы на Нижнюю Печору, выделить круг памятников, связанных в своем создании и бытовании с Великопоженским скитом. Необходима дальнейшая работа по систематизации и осмыслению собранного материала, его сопоставлению с памятниками из других музейных собраний, а также поиск в архивах документальных свидетельств о деятельности Великопоженского скита, которые позволяют понять его роль в формировании иконописной культуры Нижней Печоры.

*Работа подготовлена при финансовой поддержке РГНФ № 12-14-11600 и Министерства экономического развития Республики Коми в рамках совместного регионального конкурса научных проектов «Русский Север: история, современность, перспективы».*

#### Литература и источники

1. *Мальшев В.И.* Пижемская рукописная старина (Отчет о командировке 1955 г.) // Труды Отдела древнерусской литературы. М.; Л., 1956. Т. 12. С. 461–493.
2. *Гагарин Ю.В.* Старообрядцы. Сыктывкар: Коми книжное издательство, 1973. 144 с.
3. *Дронова Т.И.* Русские староверы-беспоповцы Усть-Цильмы: конфессиональные традиции в обрядах жизненного цикла (конец XIX–XX вв.). Сыктывкар, 2002. 278 с.
4. *Зотова Е.Я.* Меднолитой складень из Усть-Цильмы // Первые Мяндинские чтения: Материалы республиканской научно-практической конференции. Сыктывкар, 2009. С. 389–394.
5. *Иконопись, деревянная резная пластика, медное художественное литье XVII–начала XX в.* / Сост. Н.Е. Плаксина. Сыктывкар, 2008. 188 с.
6. *Плаксина Н.Е.* Памятники старообрядческой иконописи Усть-Цильмы в музейных собраниях Республики Коми // Вторые Мяндинские чтения: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Т. 1. Сыктывкар, 2011. С. 308–315.
7. *Афанасьев Ю.И., Афанасьев А.В.* Великопоженская икона // Антиквариат: предметы искусства и коллекционирования. 2011. № 5 (86). С. 4–16.
8. *Афанасьев Ю.И.* Великопоженская икона // Вторые Мяндинские чтения: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Т. 1. Сыктывкар, 2011. С. 315–317.
9. *Афанасьев Ю.И., Афанасьев А.В.* Краски великопоженских икон // Антиквариат: предметы искусства и коллекционирования. 2012. № 5 (96). С. 4–10.
10. *Парамонова Т.Б.* Бегство на Великие Пожни // Родники Пармы. Сыктывкар, 1993. С. 49.
11. *Мальшев В.И.* Усть-Цилемские рукописные сборники XVI–XX вв. Сыктывкар, 1960. С. 10.
12. *Иткина Е.И.* Русский рисованный лубок конца XVIII–начала XX в. из собрания Государственного исторического музея, Москва. М., 1992. С. 7, 8–9, 27–29.
13. *Тарановская Н.В.* Росписи на Мезени и Печоре (о формировании местных художественных стилей) // Русское народное искусство Севера. Л., 1968. С. 54–55.
14. *Тарановская Н.В.* Мастера народных росписей по дереву на Печоре // Памятники культуры. Новые открытия. Письменность. Искусство. Археология. М., 1976. С. 346.
15. *Дронова Т.И.* Отношение к книге староверов-беспоповцев Усть-Цильмы (на примере рода Исаковых-Бабиковых) // Первые Мяндинские чтения. Сыктывкар, 2009. С. 109–115.
16. *Памятники иконописи XVI–XIX вв. в коллекции музея А.В. Журавского.* Буклет / Сост. М.П. Канева. МБУ «Усть-Цилемский историко-мемориальный музей А.В. Журавского». Усть-Цильма, 2012. С. 2.
17. *Новиков А.В.* Цилемский скит. Архангельск, 2009. С. 150–151.

*Статья поступила в редакцию 10.12.2012*

УДК 94:339.174(470.1)

## ГЕОГРАФИЯ ЯРМАРОК НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРЕ РОССИИ: ИЗ ИСТОРИИ В СОВРЕМЕННОСТЬ

И.И.ЛЕЙМАН

*Сыктывкарский государственный университет, г. Сыктывкар  
irinaleyman@gmail.com*

Охарактеризована исторически сложившаяся сеть ярмарок на Европейском Севере России: возникновение, размещение, время функционирования, торговые обороты и др. Проведено сопоставление ярмарок прошлых веков с ярмарками, возрожденными и функционировавшими в конце XX–начале XXI в.

**Ключевые слова:** ярмарка, европейский Север России, товарооборот, исторический опыт, PR-инструменты

### I.I.LEIMAN. GEOGRAPHY OF FAIRS IN THE EUROPEAN NORTH OF RUSSIA: FROM HISTORY TO THE PRESENT

The historically developed network of fairs in the European North of Russia is characterized: emergence, placing, functioning time, trade turnovers, etc. The comparison of fairs of the last centuries to the fairs revived and functioning in the end of XX - beginning of XXI century is made.

**Key words:** Fair, the European North of Russia, goods turnover, historical experience, PR-instruments.

---

Ярмарки (от нем. Jahrmarkt – ежегодный рынок) – сезонная распродажа товаров одного или многих видов или периодически устраиваемый съезд торговцев и потребителей в определенном месте и в определенное время [1]. В дореволюционной России ярмарки на протяжении длительного времени оставались преимущественной формой торговли. Особое значение ярмарочная торговля имела для северных территорий Европейской части страны – Олонецкой и Архангельской губерний, а также северо-восточных районов Вологодской губернии (их границы примерно совпадают с территориями современных Архангельской и Мурманской областей, Республики Карелия, Республики Коми, Ненецкого автономного округа). Это было обусловлено сезонным характером производства и сбыта главных ярмарочных товаров (продукция охоты и рыболовства), слабым развитием сухопутных путей и средств сообщения, низкой плотностью населения при огромных размерах территории.

Наиболее развита была ярмарочная сеть в Архангельской губернии. Олонецкая губерния и северо-восточные районы Вологодской губернии значительно уступали ей по количеству ярмарок и размерам их товарооборота. К основным товарам на северных ярмарках относились предметы быта, ткани, изделия кустарных промыслов, рыба, дичь и пушнина. В Архангельской губернии среди ярмарочных товаров преобладали рыба, рыболовные снасти и олени шкуры, в Олонецкой – кожи.

Время проведения северных ярмарок обуславливалось климатическими условиями и сроками промысловых сезонов. Наиболее предпочти-

тельными для ярмарок являлись июнь и июль – самые теплые месяцы в году; к тому же это время – разгар навигации, связывающей Север с остальной Россией. Популярен был для проведения ярмарок и месяц январь, когда устанавливался удобный зимний санный путь и завершались сроки некоторых промысловых сезонов. В октябре, ноябре, апреле и начале мая из-за распутицы на дорогах и разлива рек ярмарки практически не проводились.

Центрами проведения крупных северных ярмарок преимущественно являлись города, которые обычно располагались на пересечении торговых путей и обладали более развитой инфраструктурой, позволяющей разрешить все связанные с организацией ярмарок вопросы; начиная от площади для размещения торговых рядов и заканчивая местами общественного питания и помещениями для постоя торговцев. Согласно Городовому положению 1785 г. в каждом городе Российской империи в течение года должна была проходить, как минимум, одна ярмарка [2]. Архангельск, Олонец, Сольвычегодск, Шенкурск и Яренск стали городами еще в XV–XVII вв. Однако большинство северных городов приобрели городской статус только в ходе административных реформ 1775–1796 гг. [3].

О точном времени зарождения ярмарок в северных городах России известно очень немного. Ярмарка в Архангельске и единственная в России меховая («соболиная») ярмарка в Сольвычегодске известны с конца XVI в. [4–6]. В XVII–XVIII вв. в Пинеге (тогда она носила название Большой Погост) стала проходить Никольская ярмарка, переведенная из Холмогор [7]. Даже в конце XVIII в. ярмарки

проводились далеко не во всех городах севера Европейской части России. В течение XIX в. ярмарки были учреждены в большинстве северных городов – Мезени, Онеге, Холмогорах, Шенкурске и др. (за исключением Кеми, Колы) [8–10]. В начале XX в. в связи с развитием сети путей сообщения ярмарочная торговля на севере Европейской части России очень медленно начала уступать место стационарной торговле. После революции 1917 г. ярмарочная торговля постепенно пошла на спад вплоть до полного ее прекращения.

О последующем возрождении ярмарочной торговли в России можно говорить только с конца 1980-х – начала 1990-х гг. В 1991 г. был учрежден Российский Союз выставок и ярмарок (РСВЯ) как объединение ведущих российских организаторов выставок, владельцев выставочных комплексов, предприятий, содействующих выставочному бизнесу [11]. Современные ярмарки, конечно, отличаются от дореволюционных как по своим целям и задачам, так и способам организации и проведения. Наряду с выставками, ярмарки стали одним из ведущих средств “публич рилейшнз” во всем мире и наиболее действенным инструментом продвижения компаний на рынке и неотъемлемой частью брендинга в целом (в том числе, и брендинга территорий) [1, с. 23; 12].

Многие современные ярмарки в Архангельской и Вологодской областях, Республике Карелия и Республике Коми носят исторические названия. В этом проявляется один из наиболее распространенных инструментов “публич рилейшнз” – нейминг. Нейминг – профессиональная разработка названия для компании, товара или услуги, а также умение давать товарам и компаниям звучные, адекватные и уникальные имена, которые способствуют их продвижению на рынке и становятся опорой сильного бренда [13]. Обращение к историческим традициям региона, в частности, возвращение дореволюционных названий ярмарок и обеспечение соответствующего антуража в процессе их проведения призвано способствовать узнаваемости и запоминаемости современных ярмарок. Эффективность данного приема можно проследить на примере истории развития ряда городских ярмарок северных территорий.

Крупнейшей ярмаркой не только в Архангельской губернии, но и на всем Европейском Севере России до революции 1917 г. была Маргаритинская ярмарка в г. Архангельске. Архангельская ярмарка возникла вследствие сочетания «большого предложения» (в конце лета заканчивался рыболовный сезон, и необходимо было в массовом количестве сбывать скоропортящийся товар) и «большого требования» (вследствие сурового климата и неплодородных почв, не позволявших поморам заниматься хлебопашеством, возникала острая необходимость закупки на целый год хлеба, припасов и предметов ремесел) [5, с. 209–210]. В силу того, что внутренняя торговля на ярмарке активно сочеталась с внешней уже в XVII в. ярмарка в Архангельске имела всероссийское значение [14].

На официальном уровне Архангельская ярмарка была учреждена только в 1844 г. вследствие прошения поморов на имя военного губернатора Архангельской губернии маркиза Траверсе [15]. Архангельский губернатор признал учреждение ярмарки полезным для развития края и сделал распоряжение «о приведении предположения сего в исполнение, присовокупляя, что для объявления об открытии этой ярмарки во всеобщее известие, донесено Правительствующему Сенату». Свое название ярмарка получила в честь Святой Маргариты: ее день в Святцах был обозначен 1 сентября – как раз тогда, когда начиналась ярмарка в Архангельске. Сроки ярмарки были утверждены с 1 сентября по 1 октября (по старому стилю) и на протяжении XIX – начала XX в. не изменялись [5, с. 209–210; 16, 17].

Торговые обороты Маргаритинской ярмарки постоянно росли. В 1860-х гг. они доходили до 1 млн. руб., в первом десятилетии XX в. – до 1,5 млн. Столь ярких успехов ярмарочная торговля в Архангельске достигла во многом благодаря тому, что была ориентирована не только на внутренний, но и на внешний рынки: через Архангельский порт осуществлялась торговля со странами Северной Европы, в основном, с Норвегией. Даже в начале XX в., во время общего снижения значения ярмарочной торговли в стране, торговые обороты Архангельской ярмарки продолжали увеличиваться [18].

После революции 1917 г. в связи с общей тенденцией свертывания товарно-денежных отношений в стране история Маргаритинской ярмарки прерывается. Решение о ее возрождении было принято в 2002 г. В отличие от дореволюционной, современная Маргаритинская ярмарка длится не месяц, а три дня. В работе первой ярмарки в 2002 г. приняли участие около 140 предприятий из Архангельской области и других регионов России; количество посетителей составило около 40 тыс. чел.

Со временем обороты Маргаритинской ярмарки только росли. В 2010 г. в ней приняло участие более 250 предприятий, представленных 22 муниципальными образованиями Архангельской области и 38 регионами России (Вологодская, Воронежская, Ростовская, Мурманская области, Краснодарский край, Москва, Санкт-Петербург и др.). Кроме того, как и до революции 1917 г., Маргаритинская ярмарка ориентируется и на внешнеторговые связи: в 2010 г. в ярмарке участвовали иностранные делегаты из Беларуси, Эстонии, Швейцарии, Норвегии, Финляндии и др. Много внимания в рамках ярмарки было уделено традиционному торговому партнеру Архангельска – Норвегии. Дни Норвегии в рамках международной и культурной программы Маргаритинской ярмарки 2010 г. включали открытие первого Российско-норвежского культурного форума и почетного консульства Норвегии в Архангельске (для этой цели Архангельск посетил даже министр иностранных дел Норвегии) [19].

Принимая во внимание эффективность использования исторических традиций Поморского края, современные публикации, посвященные ар-

хангельской Маргаритинской ярмарке, как правило, содержат историческую справку, в которой раскрывается история возникновения ярмарки и подчеркивается ее значение для прошлого Северного края. Так, в частности, в дореволюционный период она характеризуется современными публицистами как «первая международная российская ярмарка», «главное событие в торгово-экономической жизни не только всего Северо-Запада, но и России в целом», «главная визитная карточка русской торговли в Европе XIV-XVII вв.», «первое русское «окно в Европу» и т.п. Современная Маргаритинская ярмарка называется в публикациях не иначе, как «главное экономическое и деловое событие осени» [20].

Исторические названия возрождаются сегодня не только для крупных центральных ярмарок, но и для ярмарок районных или даже местных. Так, в Архангельской области в г. Шенкурске ежегодно проводится Сретенская ярмарка, а в г. Сольвычегодске Котласского района – Прокопьевская ярмарка. Обе ярмарки имеют глубокие исторические корни. Шенкурск – «едва ли не древнейший из всех городов» современной Архангельской области. Он был основан на месте Чудского городка «деятельными и промышленными новгородцами». Будучи «укрепленным природою пунктом», Шенкурск являлся центром Важского края, и еще со времени основания он был сделан новгородцами «складочным местом» пушных товаров, которые в изобилии добывались в окрестных лесах. Однако уже с конца XVII в. этот город не представлял практически никакого интереса в торгово-промышленном отношении [9, с. 119–120]. Ярмарка в Шенкурске официально была учреждена в 1803 г. по просьбе граждан с разрешения Архангельского губернского правления. Сроки для ярмарки были назначены со 2 по 20 февраля (по старому стилю), а название – Сретенская – дано в честь православного праздника Сретенья Господня, со дня которого начиналась ярмарка. Первая ярмарка в Шенкурске прошла в 1804 г. [21–23].

В первые годы после учреждения Сретенская ярмарка переживала период расцвета: на ярмарку приезжало много иногородних купцов, привоз товаров в первое десятилетие после учреждения ярмарки доходил до 80 тыс. руб. Однако со временем она превратилась в «простую обыкновенную торговлю». Причин для этого было несколько. Во-первых, существовавшие в городе и уезде различные виды промыслов – смолокурение, кожевенный промысел, изготовление свечей, мыловарение и другие – осуществлялись «рутинно, по старине», давали продукцию «грубую» и плохого качества, не имеющую «никуда, кроме своей местности сбыта» [24]. Во-вторых, в Шенкурском уезде существовала вторая ярмарка – Евдокиевская, проходившая в с. Благовещенском с 1 по 10 марта (по старому стилю). Среди торговцев, традиционно приезжавших на Вагу, она пользовалась большой популярностью. Обе ярмарки проходили приблизительно в одни и те же сроки, и торговцы из центральных губерний России предпочитали продавать свои товары в с. Благовещенском, расположенном ближе к

границе уезда с Вологдой, чтобы не везти их дальше на 80 верст в Шенкурск. В-третьих, время проведения Сретенской ярмарки не совпадало с периодами крупных торговых заготовок: «в это время все закупки для сбыта уже сделаны», часть производимых на месте товаров уже была отправлена в другие города, часть припасена для Благовещенской ярмарки. На Сретенскую ярмарку привозили «одну мелочь, забракованную для иногороднего сбыта» [25].

Больших торговых оборотов Сретенская ярмарка не имела. Во второй трети XIX в. объем привезенного товара в среднем составлял 20 тыс. руб., а в конце XIX в. вследствие общего экономического подъема в стране обороты ярмарки возросли до 90 тыс. руб. Сретенская ярмарка при незначительном изменении сроков проведения существовала вплоть до начала XX в. Других ярмарок в Шенкурске на протяжении XIX – начала XX в. учреждено не было.

После долгого перерыва в советский период Сретенская ярмарка возродилась в 1996 г. [26]. Первое время она проводилась ежегодно; в настоящее время – один раз в два года. Как и до революции, время проведения ярмарки – февраль месяц. Хотя сроки теперь гораздо короче – один-два дня да и не привязаны уже ко дню Сретения Господня (2 февраля по старому стилю, 15 февраля по новому стилю), а к выходным дням [27].

Организаторами и учредителями современной Сретенской ярмарки являются администрация МО «Шенкурский муниципальный район» и Фонд сохранения традиционной культуры Севера «Богословский фонд». Проведение этой ярмарки призвано способствовать развитию ремесел и ремесленного производства, повышению активности товаропроизводителей района, привлечению иногородних товаропроизводителей на территорию района [28].

В Сретенской ярмарке традиционно участвуют народные мастера не только из различных районов Архангельской области (Шенкурского, Устьянского, Вельского, Котласского), но и из Вологды, Череповца, Нижегородской области и др. Традиционные ярмарочные товары – это берестяные сувениры, туеса, корзины, лоскутные одеяла, фотокартины, тканые изделия, деревянная мебель и др. Культурная программа ярмарки обычно включает выступления различных творческих коллективов, среди которых в разное время были Шенкурский народный хор, фольклорный ансамбль «Кореннушка», хор ветеранов «Надежда», а также кукольный театр и цирковые артисты из Архангельска. Кроме того, в рамках ярмарки проводится автобусная экскурсия на тему «Шенкурск купеческий», спортивные состязания, катание на лошадях и «буранах», выставки изделий местных мастеров и праздничная дискотека для молодежи. Современная Сретенская ярмарка – это место, где любой производитель может выставить на продажу свой товар, на ней представлены шедевры мастеров-ремесленников, где организуются мастер-классы по различным видам ремесел и выступления коллективов художественной самодеятельности Архангельской и Вологодской областей [27].

Издавна крупным торговым центром Севера был г. Сольвычегодск. Согласно летописям, он основан в XIV в. жителями древнего Чернигова, находившегося в трех верстах от Сольвычегодска. В XV в. Сольвычегодск уже был оживленным торговым центром и поддерживал торговые связи с новгородцами, холмогорцами, чердынцами, удорцами и другими группами коми-зырян, пермяками, ненцами, манси и другими «сибирцами», ведя торговлю пушными товарами, кожей и юфтью [29]. В XVI в. в Сольвычегодске была сосредоточена торговля мехами, солью и другими товарами. Известностью пользовалась проводившаяся в Сольвычегодске единственная в России меховая («соболиная») ярмарка, на которую съезжались московские и новгородские купцы, холмогорцы, чердынцы и «других городов», а также «азиаты», татары и другие «окрестные народы» [6, с. 23–24; 30]. Однако закрытие сибирского тракта в XVIII в. и прекращение деятельности известных в городе промышленников Строгановых привели к постепенному упадку Сольвычегодска и снижению его торгового значения [31, 32].

В первой половине XIX в. в Сольвычегодске проходило три ярмарки: Введенская (с 20 по 27 ноября), Прокопьевская (с 7 по 10 июля) и Алексеевская (с 7 по 14 марта) [33]. Возникновение этих ярмарок было вызвано тем, что население уезда издавна привыкло собираться в Сольвычегодске «для молитвы» 8 июля, в день поминовения особо почитаемого на Севере Святого Прокопия Устюжского, и 21 ноября, по случаю храмового праздника во Введенском монастыре. Народ, «конечно, не приходил сюда с пустыми руками и приносил избытки своих произведений», что и положило начало Прокопьевской и Введенской ярмаркам [34]. Время проведения Алексеевской ярмарки также было связано с православным календарем. В 1870-е гг. вследствие незначительных торговых оборотов Алексеевская ярмарка упразднена, а Прокопьевская – переведена в разряд Торжков [35]. В 1890-х гг. в Сольвычегодске учреждена Благовещенская ярмарка [36].

На протяжении XIX – начала XX в. сольвычегодские ярмарки имели исключительно местное значение, а крупные купцы на них практически не появлялись. Объем торговых оборотов ярмарок был невелик и, за исключением Введенской ярмарки, не превышал 5 тыс. руб. Причиной такого положения дел было совпадение сроков сольвычегодских ярмарок со сроками более известных и крупных ярмарок близлежащих городов. В частности, Прокопьевская ярмарка в Сольвычегодске (7–10 июля) по срокам проведения совпадала с Прокопьевской ярмаркой в Великом Устюге (1–10 июля) [37, 38]. В начале XX в. жизнь в Сольвычегодске носила «тихий и отчасти печальный характер». Фабрично-заводских предприятий и крупных торговых фирм в городе не было, численность населения постепенно уменьшалась [39].

С 1993 г. в г. Сольвычегодске возобновлена традиция проведения Прокопьевской ярмарки. С этого времени она проходит ежегодно в третью субботу июля. Почему именно Прокопьевская ярмарка была возрождена, а не более известная и крупная

Введенская? Скорее всего, здесь сыграли свою роль два фактора. Во-первых, июль месяц как нельзя более подходит для мероприятий под открытым небом. Во-вторых, Прокопьевская ярмарка в Сольвычегодске проводится ровно через неделю после Прокопьевской ярмарки в Великом Устюге, что способствует привлечению большего числа участников и лучшей запоминаемости ярмарки в Сольвычегодске. Тем самым, если до революции Прокопьевские ярмарки в этих городах «мешали» друг другу, то в настоящее время, наоборот, призваны обеспечивать общий высокий товарооборот.

В 1998 г. у организаторов родилась идея проведения в рамках сольвычегодской Прокопьевской ярмарки фестиваля юмора Козьмы Пруткова. Это еще один удачный пример, когда история местности, ее выдающиеся личности и события «становятся на службу» организаторов массовых мероприятий и специальных событий. Современная Прокопьевская ярмарка в Сольвычегодске привлекает участников не только из Котласского района Архангельской области, но и из других регионов России. В рамках ярмарки проводятся различные розыгрыши, конкурсы, спортивные соревнования и единственный в России карнавал-парад имени Козьмы Пруткова. Такая ярмарка-фестиваль становится и местом для встреч по профессиональным интересам музейных работников, мастеров народных промыслов, местных поэтов, писателей, мастеров деревянной скульптуры, художников. Благодаря умелой организации Прокопьевская ярмарка в Сольвычегодске уже стала визитной карточкой юга Архангельской области [40].

Один из старейших населенных пунктов Республики Коми – город Сыктывкар – до 1930 г. носил название Усть-Сысольск. О времени появления ярмарок в Усть-Сысольске пытались выяснить еще во второй половине XIX в., однако с сожалением констатировали, что во время пожара, случившегося в 1812 г. в городских присутственных местах, все соответствующие документы были уничтожены [41]. Данные современных исследований свидетельствуют, что еще с конца XVII в. в Усть-Сысольске в ноябре–декабре проходила Георгиевская ярмарка. Уже в первой половине XVIII в. жители Усть-Сысольска (тогда он назывался Усть-Сысольским селением) «обладали большими средствами и вели обширную торговлю». Тогда же была учреждена еще одна ярмарка – Васильевская, проводившаяся с 1 по 10 января [42]. Георгиевская ярмарка, согласно «Экономическим примечаниям Генерального межевания по Усть-Сысольскому уезду» 1784 г., проходила с 26 ноября по 1 декабря. На нее приезжали купцы из Устюга, Яренска, Сольвычегодска, Лальска и торговали мануфактурными товарами, чаем, сахаром; закупали у местных купцов и крестьян продукты промыслов: меха, кожу, рыбу [29]. В «Словаре учреждений в России ярмарок и торгов» 1786 г. значилось: «бывает ярмарка ноября с 26 число по 29 число; скупают купцы у промышленников мягкую рухлядь» (т.е. меха) [43].

Сроки проведения Васильевской ярмарки не изменялись вплоть до ее упразднения в 1858 г., а

время проведения Георгиевской ярмарки претерпело некоторые изменения. Так, в конце 1850-х гг. сроки ярмарки были увеличены, вследствие чего она стала проходить с 16 ноября по 2 декабря. С 1870-х гг. продолжительность Георгиевской ярмарки начинает постепенно сокращаться. В итоге в конце 1880-х гг. сроки ярмарки были заключены в промежуток с 23 ноября по 4 декабря и уже не изменялись вплоть до начала XX в. Сокращение сроков было вызвано стремлением привлечь на ярмарку больше мелких торговцев: согласно закону о торговых пошлинах 1883 г. все ярмарки разделялись на пять разрядов (в зависимости от длительности): чем выше был разряд ярмарки, тем более высокой была пошлина за право торговли [33, 35, 44, 45, 46].

В XIX в. сумма привезенных на Георгиевскую ярмарку товаров составляла в разные годы в среднем от 30 до 70 тыс. руб., а в конце XIX – начале XX в. доходила до 100 тыс. Торговые обороты Васильевской ярмарки не превышали 5 тыс. руб. и в среднем составляли 1,5 – 2 тыс. В первой половине XIX в. приезжих купцов на ярмарках практически не было, в основном торговали местные крестьяне и купцы из Усть-Сысольска и Яренска; народу на ярмарке собиралось от 500 до 800 чел. [47–49]. С ростом торговых оборотов Георгиевской ярмарки во второй половине XIX в. среди торговцев появились купцы из Великого Устюга, а также из Архангельской и Вятской губерний [50]. В начале XX в., по замечанию современников, торговая жизнь в Усть-Сысольске «заметно росла», а сам город с населением около 5 тыс. чел., «быстро увеличивался и улучшался» [51–52].

Георгиевская ярмарка возрождена в Сыктывкаре в 2002 г. Правда, сроки ее проведения были значительно сдвинуты – с ноября на конец августа – и приурочены ко Дню Республики Коми (22 августа). После долгого перерыва в первой Георгиевской ярмарке приняло участие около 30 предприятий. В 2008 г. это число увеличилось до 150, а в 2009 г. и 2010 г. – до 200. Постепенно расширяется и география участников ярмарки: это предприятия и индивидуальные предприниматели из Москвы, Суздаля, Воронежа, Калуги, Архангельской области, Оренбурга, Чебоксар, Ярославля, Казани, Пензы, Калуги, Самары, Тольятти, Нижнего Новгорода, Великого Устюга, Новосибирска, Великого Новгорода, Минска, Кирова и области, Вологодской, Владимирской, Костромской, Самарской, Белгородской и Воронежской областей, Ставропольского и Пермского краев, Мари Эл и, конечно, городов и районов Коми (более 50% участников ярмарки – республиканские компании). Большинство экспонентов стало традиционными участниками Георгиевской ярмарки: так, в 2008 г. только 20 предприятий из 150 участвовали в ярмарке впервые.

Проведение Георгиевской ярмарки уже имеет свои традиции. На открытии ярмарки, как правило, присутствует Глава Республики и другие крупные государственные чиновники. Большое внимание организаторы уделяют культурной программе, которая включает различные конкурсы, выступления

народных ансамблей песни и танца, скоморохов и прочие развлечения.

В 2009 г. впервые в рамках Георгиевской ярмарки прошла выставка национальных подворий, где посетители смогли познакомиться с обычаями и культурой народов, проживающих на территории Республики Коми, среди которых представители узбекской, украинской и немецкой культурных автономий, волго-вятское землячество и др. [53, 54].

Васильевская ярмарка стала вновь проводиться в Сыктывкаре с 2004 г.: как указывает ее организатор ООО «КомиЭКСПО», для «возрождения исторических торгово-экономических и культурных традиций Республики Коми». Как и в случае с Георгиевской ярмаркой, сроки проведения Васильевской ярмарки значительно отличаются от исторической традиции: ярмарка проходит в апреле или в мае, а не в январе, как было изначально. В отличие от всех описанных выше современных ярмарок Васильевская ярмарка в Сыктывкаре проводится не под открытым небом, а в выставочном зале Центра международной торговли г. Сыктывкара. Целями Васильевской ярмарки являются: укрепление межрегиональных связей Республики Коми с близлежащими областями и республиками Российской Федерации, содействие продвижению продукции местных товаропроизводителей и пропаганда традиций ремесла народа коми. География участников Васильевской ярмарки постоянно расширяется. В 2008 г. в ней приняло участие порядка 40 предприятий из Сыктывкара, Кирова, Великого Устюга, Москвы, Суздаля, Архангельска, Самары, Череповца, Вологодской и Нижегородской областей [55].

Интересно отметить, что ООО «КомиЭКСПО» достаточно широко использует в названиях ярмарок так называемый «дореволюционный налет». Так, ООО «КомиЭКСПО» выступает организатором Егорьевской (апрель, Сыктывкар, с 2011 г.), Усть-Сысольской (июнь, Сыктывкар, с 2009 г.), Троицкой (июнь, Ухта, с 2011 г.) и Покровской ярмарок (октябрь, Ухта, с 2008 г.). Правда, все они уже явление современное, своего рода «дань моде», и прямого отношения к историческому прошлому Усть-Сысольска – Сыктывкара не имеют.

В целом география ярмарок Европейского Севера России со временем претерпела значительные изменения. Уже в начале XX в. с расширением сети путей сообщения ярмарочная торговля постепенно начала снижать торговые обороты. Эта тенденция ярче просматривалась в южных районах и практически не проявляла себя в северных территориях. В советский период в силу политической и экономической конъюнктуры ярмарочная торговля практически сошла на нет. В постсоветское время проведение ряда ярмарок стало неактуальным в силу развития стационарной торговли. Однако в то же время с конца 1990-х гг. и вплоть до наших дней наблюдается целая волна «возрождений» дореволюционных ярмарок в крупных региональных и районных центрах Севера. При этом нейминг современных ярмарок во многом опирается на исторический опыт. Названия наиболее крупных ярмарок,

проходивших на территории современных Архангельской области и Республики Коми до революции 1917 г., присутствуют и в перечне современных ярмарок данных регионов. Кроме того, иногда организаторы сознательно дают ярмаркам такие названия, которые, хотя и не являются историческими, но призваны придать действию «дореволюционный колорит». Конечно, современные ярмарки значительно отличаются от прежних, в частности, сроками проведения. Здесь наблюдается сокращение длительности проведения ярмарок или даже их перенос на другие месяцы года. В связи с этим зачастую теряет смысл и само название ярмарки, так как в большинстве случаев исторически оно определялось с циклами православного календаря.

Как показывает практика, нейминг современных ярмарок с опорой на историческую традицию региона является действенным PR-инструментом. Историческое название не только обращается к коллективной памяти и способствует запоминаемости ярмарки, но и предоставляет широкий спектр возможностей для организации культурной программы мероприятия в регионе. Данный тезис подтверждается размахами и торговыми оборотами рассмотренных ярмарок, которые растут с каждым годом.

#### Литература

1. *Зайончковский П.А.* Ярмарки в России и СССР // БСЭ. Т. 30. М., 1978. С. 23.
2. *Грамота на права и выгоды городам Российской Империи.* 21 апреля 1785 г. // ПСЗ-1. Т. XXII. СПб., 1830. №16187.
3. *Мионов Б.Н.* Внутренний рынок России во второй половине XVIII – первой половине XIX в. Л., 1981. С. 38.
4. *ГАОО. Ф.4.* Архангельское губернское правление. Оп. 23. Т.1. Д.410.
5. *Чубинский П.П.* Обзорение главнейших ярмарок Архангельской губернии // Труды Архангельского губернского статистического комитета за 1865 г. Кн. 2. Архангельск, 1866. С. 209–210.
6. *К познанию родного края* // Ежегодник Вологодской губернии на 1912 г. Вологда, 1911. С. 23–24.
7. *Пинега* // Городские поселения в Российской империи. Т. 1. СПб., 1860. С. 30–31.
8. *Иноходцев П.* Описание городов Вологодского наместничества с их округами // Собрание сочинений, выбранных из месяцесловов на разные годы. СПб., 1793. С. 298–299.
9. *Памятная книжка Архангельской губернии на 1864 г.* Архангельск, 1864. С. 119–120.
10. *Торгов А. Я.* Деловой спутник по Северному краю и верхнему Поволжью. Ярославль, 1911. С. 61.
11. *Российский союз выставок и ярмарок.* URL: <http://www.uefexpo.ru/?id=229>
12. *Экспомаркетинг: ярмарки тшеславия* // PR в России. URL: [http://www.rupr.ru/art/vidy\\_reklamy-vystavki-kspomarketing\\_yarmarki\\_tscheslaviya.php](http://www.rupr.ru/art/vidy_reklamy-vystavki-kspomarketing_yarmarki_tscheslaviya.php).
13. *Нейминг: источники информации* // Lexica-naming. URL: <http://www.lexica.ru/art09.html>.
14. *Чунтулов В.Т., Кривцова Н.С., Чунтулов А.В., Тюшев В.А.* Экономическая история СССР. М., 1987. С. 32.
15. *ГАОО. Ф.4.* Архангельское губернское правление. Оп. 23. Т.1. Д.410.
16. *Архангельские губернские ведомости.* 1864. № 5. 1 февр. С. 32.
17. *ГАОО. Ф.6.* Архангельский губернский статистический комитет. Оп.6. Д.12. Л.29.
18. *РГИА. Ф.1263.* Комитет министров. Оп.1. Д.2406. Л.605, 694.
19. *Герасименко Е.* Архангельск встречает Маргаритинскую ярмарку-2010 // Двина-Информ. 17.09.2010. URL: <http://old.dvinainform.ru/actual/2010/09/17/86922.shtml?prn>
20. *Маргаритинская ярмарка в Архангельске* // Архангельск-Инфо. 03.09.2008. URL: [http://arh-info.ru/main/560-margaritinskaja\\_jarmarka\\_v\\_arkhangelske.html](http://arh-info.ru/main/560-margaritinskaja_jarmarka_v_arkhangelske.html).
21. *Князева Л.Е.* Сретенская ярмарка в Шенкурске // Крестьянская живопись Поважья. Из собраний музеев Архангельской области. М., 2003. С.266.
22. *Памятная книжка Архангельской губернии на 1864 г.* Архангельск, 1864. С. 118–119.
23. *Романовский Н.* А начиналось всё так... // Важский край. 2001. 9 ноября. С.4.
24. *Архангельские губернские ведомости.* 1850. № 11.
25. *Памятная книжка Архангельской губернии на 1864 г.* Архангельск, 1864. С. 133.
26. *Шенкурский район* // Литературная карта Архангельской области. URL: <http://writers.aonb.ru/map/shenk/index.htm>.
27. *Скрылева И.* Сретенская ярмарка в Шенкурске зовет веселиться // Северная береста. История берестяных ремесел. URL: <http://se-verberesta.ru/news/47-2006-/238-18-02-2006----.html>.
28. *Сретенская ярмарка* // Шенкурский муниципальный район. Официальный сайт муниципального образования URL: <http://www.shenkursk-region.ru/index.php?id=176>.
29. *Рогачев М.Б.* Столица зырянского края. Очерки истории Усть-Сысольска конца XVIII – начала XX в. Сыктывкар, 2006. С. 65–66.
30. *Вологодские губернские ведомости.* 1855. №27. 2 июля.
31. *Вологодская губерния* // Военно-статистическое обозрение Российской империи. Т.2. Ч.3. СПб., 1850. С. 379.
32. *Справочная книжка Вологодской губернии на 1853 г.* Вологда, 1854. С. 92–93.
33. *ГАВО. Ф.18.* Канцелярия Вологодского губернатора. Оп.1. Д.784.
34. *ГАВО. Ф.14.* Вологодское губернское правление. Оп.1. Т.2. Д.2408. Л. 11.
35. *ГАВО. Ф.14.* Вологодское губернское правление. Оп.1. Т.2. Д.2895.
36. *Памятная книжка для Вологодской губернии на 1893-1894 гг.* Вологда, 1893. С. 113.

37. *Вологодские губернские ведомости*. 1839. №48. 25 нояб. С. 382.
38. *Ярмарки и базарные дни: Где, когда бывают и что продается* // Месяцеслов «Народной беседы» на 1866 год. СПб., 1866. С. 136–137.
39. *К познанию родного края* // Ежегодник Вологодской губернии на 1912 г. Вологда, 1911. С. 23.
40. *Котласский район* // Союз малых городов России URL: [http://www.smgrf.ru/cities/culture.php?bc\\_tovar\\_id=101&binn\\_rubrik\\_pl\\_cat\\_elems5=172](http://www.smgrf.ru/cities/culture.php?bc_tovar_id=101&binn_rubrik_pl_cat_elems5=172).
41. ГАВО. Ф.14. Вологодское губернское правление. Оп.1. Т.2. Д.2408. Л. 45.
42. *К познанию родного края* // Ежегодник Вологодской губернии на 1912 г. Вологда, 1911. С. 15.
43. *Словарь учреждений в России ярмарок и торгов* // Новый и полный географический словарь Российского государства или Лексикон. Ч. 5. М., 1789. С. 113.
44. *Денисов В.И.* Ярмарки. СПб., 1911. С. 90.
45. *Ежегодник* (календарь-справочник) Вологодской губернии на 1912 г. Вологда, 1911. С. 13.
46. *Памятная книжка для Вологодской губернии на 1893-1894 гг.* Вологда, 1893. С. 113.
47. ГАВО. Ф.14. Вологодское губернское правление. Оп.1. Т.1. Д.1051.
48. ГАВО. Ф.18. Канцелярия Вологодского губернатора. Оп.1 Д.960. Л.132-134.
49. НАРК. Ф.112. Усть-Сысольский городской магистрат. Оп.1. Д.8.
50. НАРК. Ф.120. Усть-Сысольская городская дума. Оп.1. Д.107, 175.
51. *Торгов А.Я.* Деловой спутник по Северному краю и верхнему Поволжью. Ярославль, 1911. С. 128.
52. *В Сыктывкаре отгремела* Георгиевская ярмарка. 24.08.2009 // Торгово-промышленная палата Республики Коми. URL: <http://www.tppkomi.ru/news/show.php?314>.
53. *На Стефановской площади отгремела* Георгиевская ярмарка. 25.08.2008 // Торгово-промышленная палата Республики Коми. URL: <http://www.tppkomi.ru/news/show.php?205>.
54. *В Сыктывкаре открылась* Васильевская ярмарка // Сыктывкар Today. 28.04.2008. URL: <http://www.sykt24.ru/news/517>
55. *Васильевская ярмарка-2004* // Exponet.ru – Выставки России, СНГ и мира. URL: <http://www.exponet.ru/exhibitions/by-id/vasiljevskayasy/vasiljevskayasy2004/index.ru.html>

Статья поступила в редакцию 10.04.2013

УДК 658.1:504.05/.06 (470.13)

## **ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ЭКОСИСТЕМ СУБАРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ РЕСПУБЛИКИ КОМИ**

Т.В. ТИХОНОВА

*Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера  
Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар  
[Likhonova@iespn.komisc.ru](mailto:Likhonova@iespn.komisc.ru)*

В статье представлена экологическая характеристика субарктических территорий Республики Коми (Печоро-Уральской Арктики). Выявлены специфические особенности и факторы экологической устойчивости. Рассмотрены методические положения и дана экономическая оценка экосистемных услуг на пилотных охраняемых территориях Печоро-Уральской Арктики. Определены получатели выгод от их использования.

**Ключевые слова:** экосистема, экосистемные услуги, депонирование углекислого газа, водорегулирование, экономическая оценка

### **T.V. TIKHONOVA. ESTIMATION OF ECOSYSTEMS POTENTIAL OF THE SUB-ARCTIC TERRITORIES OF THE KOMI REPUBLIC**

The ecological characteristic of the sub-arctic territories of the Komi Republic (Pechora-Urals Arctic) is presented. Specific features and factors of ecological sustainability are revealed. Methodological positions are considered and the economic evaluation of the ecosystem services in pilot protected territories of the Pechora-Urals Arctic regions is given. Recipients of benefits from their usage are identified.

**Key words:** ecosystem, ecosystem services, sequestration of carbon dioxide, water regulation, economic valuation of the ecosystem services

Практически любая хозяйственная деятельность сопряжена с нарушением природного равновесия, эволюционно складывающегося в конкретных условиях. Реализация задач социально-экономического развития Арктической зоны России предполагает интенсификацию природопользования, увеличение мощностей по добыче, комплексной переработке и транспортировке топливно-энергетических ресурсов. При этом неблагоприятное воздействие оказывают [1]:

- экстремальные природно-климатические условия, включая низкие температуры воздуха, сильные ветры и наличие ледяного покрова на акватории арктических морей;
- очаговый характер промышленно-хозяйственного освоения территорий и низкая плотность населения;
- удаленность от основных промышленных центров, высокая ресурсоемкость и зависимость хозяйственной деятельности и жизнеобеспечения населения от поставок из других регионов России топлива, продовольствия и товаров первой необходимости;
- низкая устойчивость экологических систем, определяющих биологическое равновесие и климат

Земли и их зависимость даже от незначительных антропогенных воздействий;

На Российском Севере сконцентрировано 60% общероссийских запасов нефти и газа, 40 – золота, 90 – хрома и марганца, 47% платиновых металлов и т.д. Общая стоимость арктических топливно-энергетических ресурсов составляет порядка 18 млрд. долл. К сожалению, при современных технологиях ресурсно-добычное освоение сопровождается полным разрушением природных экосистем. Поэтому сохранение и рациональное использование потенциала арктических и субарктических экосистем приобретает особую актуальность.

Разные страны используют различные подходы для выделения своих арктических территорий. В России состав арктических регионов определен без достаточного научного обоснования решением Государственной комиссии при Совете Министров СССР по делам Арктики от 22 апреля 1989 г. Его изменение на основе вариантов оценки северности стало целью многих законопроектов, которые так и не были приняты [2]. Внимание к нерешенному вопросу возросло в последние годы с усилением роли Арктики в политике Российской Федерации.

С опорой на отечественные и зарубежные источники, использующие для арктической делимитации сочетание разных подходов, в состав Печоро-Уральской Арктики включены районы Крайнего Севера Республики Коми. Внутренняя дифференциация исследуемой территории проведена с учетом расположения зон дискомфорта условий проживания (по данным районирования Севера, выполненного в ИЭП Кольского НЦ РАН [3]) и Субарктики, ограниченной в восточно-европейской части России параллелью 65° с.ш.

В Республике Коми к арктическим и субарктическим территориям отнесены тундровые и лесотундровые городские округа – Воркута, Инта,

Для группировки территорий обозначены ранги низкой, средней и высокой устойчивости природной среды. Пороговые величины сводных баллов приняты в следующих пределах: от 1 до 3-х баллов – низкая устойчивость; от 3,1 до 5 – средняя и свыше 5 баллов – высокая устойчивость. Показатели природной устойчивости в субарктических муниципалитетах региона изменяются от 1 до 6 баллов, в остальных муниципалитетах – от 3-х до 5 (табл. 1).

Оценка устойчивости природной среды на территории Республики Коми выявила следующие особенности:

- в целом субарктические территории республики отличаются от «неарктических» понижен-

Таблица 1

**Территориальная дифференциация устойчивости природной среды**

Муниципальные образования (округа, районы)	Биоклиматический потенциал		Объем годового стока		Лесистость		Прирост древесины		Сводный балл
	ед.	балл	км <sup>3</sup>	балл	%	балл	м <sup>3</sup> /га	балл	
<b>Муниципальные образования (МО) Печоро-Уральской Арктики</b>									
<i>С низкой устойчивостью</i>									
Воркута	0,49	0,42	13,8	0,36	24	0,31	0,10	0,14	<b>1,23</b>
Инта	0,83	0,71	30,0	0,79	50	0,66	0,12	0,17	<b>2,32</b>
<i>Со средней устойчивостью</i>									
Печора	1,09	0,93	46,6	1,22	79	1,03	0,38	0,54	<b>3,72</b>
Усинск	0,93	0,79	88,4	2,31	54	0,71	0,21	0,30	<b>4,11</b>
<i>С высокой устойчивостью</i>									
Усть-Цилемский	0,95	0,81	127,0	3,32	67	0,88	0,56	0,79	<b>5,80</b>
Ижемский	1,13	0,97	113,7	2,98	81	1,06	0,65	0,92	<b>5,91</b>
<b>Другие муниципальные образования Республики Коми</b>									
<i>Со средней устойчивостью</i>									
МО средней и южной частей республики	1,09 До 1,43	0,93 До 1,22	от 4,6 до 27,4	от 0,12 до 0,72	85 до 94	от 1,11 до 1,22	0,87 До 1,22	от 1,23 до 1,72	<b>от 3,39 до 4,88</b>

Усинск, и муниципальные районы – Печора, Усть-Цилемский и Ижемский, обозначенные как Печоро-Уральская Арктика (ПУА). Из трех муниципалитетов, расположенных в абсолютно дискомфортной зоне, городской округ «Воркута» относится к Арктике, городские округа «Инта» и «Усинск» – к Субарктике. К Субарктике отнесены также муниципальные районы Усть-Цилемский, Ижемский, Печора, входящие в экстремально дискомфортную зону Севера.

Традиционное внимание к их состоянию обусловлено экологической хрупкостью природных систем в условиях антропогенного пресса от добычи и транспорта угля и нефти. С учетом глобального тренда оно ориентируется на возрастание экономической роли и возможности реализации экологического потенциала как нового направления хозяйственной специализации.

**Природно-экологическая характеристика субарктических территорий**

**Экологическая ситуация.** Методические положения оценки экологической ситуации (набор показателей, процедуры и алгоритмы) раскрыты нами в специальной публикации [4]. Здесь приводятся обновленные итоговые данные и их анализ с учетом особенностей ПУА.

ной природной устойчивостью: средневзвешенные по площади сводные баллы по группам МО составляют соответственно 2,9 и 3,6;

- субарктические территории обладают наибольшим разнообразием в характере устойчивости, что отражает контрастность условий самосохранения природы: диапазон значений характеристик различен и достигает от двух до девяти раз;

- высокий уровень устойчивости субарктических муниципалитетов (Ижемского и Усть-Цилемского, расположенных в низовьях р. Печора) объясняется максимальным объемом годового речного стока, а значит, хорошей способностью водных объектов разбавлять загрязняющие вещества.

Сопоставление устойчивости природной среды с антропогенной нагрузкой позволяет обозначить степень напряженности экологической ситуации на соответствующих территориях.

Уровень антропогенной нагрузки, рассчитанный с учетом средних многолетних данных выбросов, сбросов, отходов загрязняющих веществ от стационарных и передвижных источников за период 2000–2012 гг., характеризуется сильной амплитудой ее показателей. Так, антропогенная нагрузка возрастает от 0,3 до 18,5 баллов в субарктических муниципалитетах (Усинск) и от 0,3 до 6,89 – в «не-

арктических» (Ухта). На антропогенном фоне «неарктических» аномально высоким значением (71 балл) по причине самой высокой нагрузки от передвижных источников и сбросов загрязненных сточных вод выделяется городской округ «Сыктывкар». «Ножницы» низкой природной устойчивости и высокой антропогенной нагрузки приводят к напряженной экологической ситуации в субарктических муниципалитетах и свидетельствуют об экологическом дисбалансе освоения территорий Крайнего Севера республики (табл. 2).

болотные массивы, составляющие от 4 до 10% площади районов. Охраняемые объекты обладают высоким экологическим и туристско-рекреационным потенциалом, но хозяйственное использование экологических ресурсов требует их всесторонней оценки.

#### Состав и содержание экосистемных услуг

Оценка потенциала экосистем напрямую сопряжена с экосистемными услугами. Экосистемные услуги – это выгоды, которые люди получают от

Таблица 2

#### Оценка напряженности экологической ситуации Республики Коми

Муниципальные образования (округа, районы)	Напряженность экологической ситуации		
	Сводный балл устойчивости природной среды	Сводный балл уровня антропогенной нагрузки	Показатель напряженности экологической ситуации
<b>Муниципальные образования Печоро-Уральской Арктики</b>			
<i>С очень высоким уровнем напряженности экологической ситуации</i>			
Воркута	1,23	15,41	12,5
<i>С высоким уровнем напряженности экологической ситуации</i>			
Усинск	4,11	18,5	4,5
<i>Со средним уровнем напряженности экологической ситуации</i>			
Инта	2,23	6,05	2,6
<i>С низким уровнем напряженности экологической ситуации</i>			
Печора	3,72	3,36	0,9
<i>С нормальным уровнем напряженности экологической ситуации</i>			
Усть-Цилемский	5,80	0,3	0,1
Ижемский	5,93	0,51	0,1
<b>Другие муниципальные образования Республики Коми</b>			
<i>С экстремальным уровнем напряженности экологической ситуации</i>			
Сыктывкар	3,46	71,01	20,5
<i>Со средним уровнем напряженности экологической ситуации</i>			
Ухта	3,59	6,89	1,9
Сосногорск	3,39	5,43	1,6
<i>С низким уровнем напряженности экологической ситуации</i>			
Княжпогостский	3,89	2,94	0,8
<i>С нормальным уровнем напряженности экологической ситуации</i>			
Остальные муниципальные районы	от 3,63 до 4,88	от 0,27 до 2,45	от 0,1 до 0,5

При допущении равнозначности баллов устойчивости и антропогенной нагрузки значение «напряженности» до единицы характеризует запас экологической емкости на соответствующих территориях. Отклонение в обратную сторону – крайне неблагоприятную экологическую обстановку и снижение устойчивости природной среды к нагрузкам антропогенного характера.

Экологическая оценка подтвердила уязвимость природной среды исследуемой территории при индустриальном освоении. Именно эти районы угля и нефтедобычи, транспорта углеводородов являются самыми неблагоприятными в республике по сбросам, выбросам и аварийным разливам нефти.

Особо охраняемые природные территории (ООПТ), расположенные в ПУА, составляют около 12% от их общей площади, при неравномерном распределении по районам и типам растительности. За счет национального парка значительные площади ООПТ, представленные горными тундрами, имеют муниципалитеты Инты и Печоры (21,5 и 27% территории соответственно). В Ижемском, Усинском и Усть-Цилемском преобладают крупные

экосистем. К ним относят следующие виды услуг: обеспечивающие (как правило, связанные с привычными природными ресурсами); регулирующие (способствующие поддержанию качества природной среды); культурные (нематериальные выгоды, получаемые от экосистем); поддерживающие – необходимы для производства всех других услуг природы [4–6].

**Обеспечивающие услуги** являются наиболее привычными для восприятия взаимоотношений человека с природой. Природные ресурсы всегда ассоциируются с выгодами от их использования. Это пищевые продукты, древесина, биологические материалы, лекарственные вещества, пресная вода и т.д. Наиболее специфичными биологическими ресурсами для субарктических территорий региона являются рыбные, охотничьи, грибо-ягодные ресурсы и олени пастбища. Причем необходимо различать эти ресурсы в случае, когда они имеют функцию жизнеобеспечения (этнокультурные функции) и коммерческий характер использования – для сбыта бизнес-структурам.

Исследования А.П. Братцева [7] свидетельствуют о высоком потенциале грибо-ягодной продук-

ции субарктических районов региона (табл. 3). Однако возможный промысловый урожай составляет лишь 40–60% от биологического в зависимости от видов грибов и ягод. В структуре грибной продукции данной зоны региона преобладают подберезовики (30%), подосиновики (24), сыроежки (22) и волнушки (10%); в ягодной – черника (70%), брусника (15%) и морошка (7%).

Таблица 3

**Биологический урожай грибов и ягод  
(кг/га лесопокрытой площади)**

Муниципальные образования	Ягоды		Грибы	
	Всего	Черника	Всего	Подберезовики
Усинск	11,0	8,7	5,5	1,8
Печора, Инта	9,8	7,0	5,2	1,6
Ижемский	11,5	7,1	5,0	1,4
Усть-Цилемский	10,6	7,2	5,3	1,5

Согласно оценкам последних лет запасов и использования дикорастущих ресурсов [8], территория исследования различается по объемам личного и коммерческого потребления ягод и грибов. Так, по ягодной продукции максимальными объемами ежегодного потребления выделяются Ижемский (20–35 тыс.т) и Усть-Цилемский (5–10 тыс.т) районы. В Интинском и Печорском районах объемы сбора для личного и коммерческого потребления составляют от 0,5 до 2 тыс.т; а в Воркуте и Усинске – от 0,5 до 2 тыс.т. По грибной продукции наибольшие объемы потребления приходятся на Печорский (от 10 до 20 тыс.т.) и Усть-Цилемский (от 2 до 5 тыс.т) районы, а наименьшие – на Интинский, Усинский и Ижемский (от 0,5 до 2 тыс.т). Такая дифференциация объясняется не только урожайностью, но и уровнем жизни населения, транспортной инфраструктурой, организацией сбора.

Огромная роль в ресурсах северных территорий принадлежит оленям пастбищам. Их широтная протяженность в Республике Коми достигает 500 км. По состоянию на 2012 г. в регионе насчитывается около 90 тыс. голов оленей. Вытянутость землепользования с севера на юг определяет и систему выпаса оленей, при которой стада находятся в постоянном движении: весной в направлении летних пастбищ на север, а осенью – обратно на юг к зимним пастбищам. Основные пастбища (свыше 4 млн. га) коми оленеводов в течение длительного периода располагаются на территории Ненецкого АО Архангельской области. В оленеводстве Республики Коми занято свыше 500 чел. коренной национальности (в основном, коми-ижемцы), а также ненцы и ханты. Наиболее крупные стада сконцентрированы в городских округах Инта (37% поголовья оленей), Усинск (29) и Воркута (23%). В Ижемском и Усть-Цилемском районах поголовье оленей составляет 8,2 и 0,8 тыс. голов соответственно. Основное поголовье оленей в Республике Коми, как и в других субъектах Севера, сосредоточено в коллективных хозяйствах (76%), при этом доля крестьянско-фермерских хозяйств незначительна (4%) [9]. Несмотря на то, что олене-

водство является обеспечивающей услугой за счет разнообразной продукции, потребляемой населением и производством, данный вид деятельности воплощает образ жизни, традиционную культуру местного населения. Объединение двух составляющих – «ресурса» и «культуры» – позволяет отнести оленеводство к этнокультурным услугам.

**Регулирующие услуги.** Проблемы климата во всем мире становятся насущными в связи с проявлениями его изменения, что не обязательно связано с потеплением. Антропогенный фактор стимулирует климатические изменения. Причины многих наводнений, сильных ветров связаны с вырубками лесов и преобразованием ландшафтов. Хозяйственная деятельность приносит в природную среду гораздо больше выбросов, чем может переработать. Мощное преобразование лесных и болотных экосистем в мире приводит к усугублению многих природных проявлений – наводнений, ливневых дождей, ураганов, засух, пересыхания водных объектов и, как следствие, изменению видового состава рыбных ресурсов, животного мира и в целом биоразнообразия. В связи с этим роль этих услуг, отвечающих за поддержание качества воды и воздуха, климата, контроль эрозии, очистку воды и сточных вод, в настоящее время огромна. Ниже представлены фрагменты характеристики регулирующих услуг.

Формирование и регулирование стока в экосистемах является ключевой услугой природной среды. Территория ПУА характеризуется избыточным увлажнением и располагает значительными водными ресурсами, сосредоточенными в бассейнах крупных рек, – Печоры, Ижмы, Усы. Специфической особенностью субарктических районов является густота речной сети (0,4–0,8 км/км<sup>2</sup>) при неоднородном характере распределения годового речного стока. Значения модулей среднегодового речного стока ПУА, за исключением горных участков, составляют 10–12 л/с км<sup>2</sup>. Это незначительно выше, чем на остальной части региона (8–10 л/с км<sup>2</sup>) [10].

На территории Республики Коми насчитывается около 70 тыс. озер, из них 49 тыс. расположены в районах ПУА, главным образом в тундровой зоне. Роль болот проявляется в регулировании стока рек, питании озер и поддержании уровня грунтовых вод. При нормальной влажности торфа болота аккумулируют около 10 км<sup>3</sup> воды. Заболоченность в зоне ПУА, исключая городской округ Воркута, составляет 70–80%, на остальной территории республики – 30–50% [10].

**Культурные услуги** являются нематериальными выгодами, получаемыми от экосистем посредством духовного обогащения, развития познавательной активности, размышлений, рекреации и эстетического опыта. Аналогично регулирующим данные услуги сложно охарактеризовать количественно. Репрезентативно можно представить лишь туристическую и рекреационную деятельность.

Самыми привлекательными с точки зрения туризма для региона являются следующие объекты: биосферный заповедник; национальный парк; этнокультурный парк, населенные пункты и города,

где проходят фольклорные праздники; туристические базы, особо охраняемые природные территории. Известными и посещаемыми объектами ПУА стали национальный парк «Югыд ва», села Усть-Цильма и Ижма. Только через г. Инта на объекты национального парка направляется 40% общего потока организованных и неорганизованных туристов. В ПУА формируется примерно 60% туров республики. Высокой активностью туристической деятельности выделяется Усть-Цилемский район. В Интинском и Печорском муниципалитетах она средняя, в городских округах Усинск и Воркута – низкая. Развиваются активный, событийный, познавательный и ресурсный (охота и рыбалка) виды туризма [11].

Водные и лесные экосистемы представляют яркие примеры объединения разных категорий экосистемных услуг. Так, например, водный объект может служить источником водоснабжения населения, водорегулирования и водосбережения, условием жизнедеятельности рыбных ресурсов, поглощающей и разбавляющей средой сточных вод, зоной отдыха и туризма, местом обитания и гнездилищ перелетных птиц. Лесная экосистема объединяет функции ресурсообеспечения (древесина, недревесные ресурсы леса), регулирующих функций – поглотительной способности загрязняющей трансграничного переноса загрязняющих веществ, углекислого газа, места обитания животных, птиц, микроорганизмов, культурной функции – зоной традиционного природопользования, эстетической ценности, рекреации и экотуризма.

Самыми значимыми экосистемными услугами для арктической и субарктической территорий региона являются этнокультурные – оленеводство, сбор грибов и ягод, рыболовство и охота. Среди регулирующих услуг для территории большое значение имеют депонирование углекислого газа, водорегулирование, регулирование климата. Учитывая этнокультурный, историко-культурный и природный потенциал рассматриваемой территории, заметное место в комплексе экосистемных услуг занимают рекреация и туризм.

### Экономическая оценка экосистемных услуг

**Современные методы оценки.** Экономическая оценка услуг необходима для понимания вклада природы в хозяйственную деятельность территории и определения чистых выгод и затрат от вмешательства в состояние экосистем. Наиболее распространенный подход оценки экосистемных услуг реализует концепцию *общей экономической ценности* [12–13].

Величина ценности территории складывается из суммы двух агрегированных показателей: стоимости использования (потребительной стоимости) и стоимости неиспользования. Первый включает доход от прямого (рыболовство, охота, рекреация и т.д.) и косвенного (поглощение углекислого газа, регулирование состава атмосферы, ассимиляция отходов и т.д.) ресурсопользования. Стоимость неиспользования – это отложенные на время ценности, которые могут быть получены в будущем за счет прямого и косвенного использования террито-

рии. Для измерения указанных стоимостей применяются разнообразные рыночные и нерыночные методы. Так, рыночные методы оценки включают рентную оценку запасов, рентную оценку по замыкающим затратам, метод издержек, чистой цены, текущей стоимости, оценку через заменители. Нерыночные методы предполагают: субъективную оценку использования услуги через измерение транспортно-путевых затрат, превентивных расходов, нанесенного ущерба, стоимости восстановления и т.д. [14–16].

Наиболее репрезентативным объектом оценки экосистемных услуг являются ООПТ. Из 240 ООПТ Республики Коми на долю ПУА приходится 57 объектов. Помимо охраны редких видов растений, животных и ландшафтов они выполняют и средоохранительные функции – поглощение загрязнений, водорегулирование, сохранение биоразнообразия. Рациональное использование лесных, водных, болотных, ботанических и геологических экосистем ООПТ, где хозяйственная деятельность ограничена традиционным природопользованием местных жителей, рекреацией и экологическим туризмом, может приносить выгоды мировому сообществу, местному населению, бизнесу и предпринимательству.

Доходы бизнеса определяются по затратам во время прохождения тура (на приобретение путевок) и доходам (от продажи продукции) от данной сферы деятельности. Доходы приезжих туристов определяются как затраты на дополнительные издержки во время отдыха для тех туристов, которые приобрели путевки и общие затраты «диких» туристов. Доходы местного населения формируются от использования природных ресурсов и территорий пастбищ (грибов, ягод, охоты и рыбалки и пастбищ оленей). В силу того, что в России нет рынка водорегулирующих услуг, потенциальным получателем дохода от их использования является местное население.

**Оценка экосистемных услуг.** В Республике Коми она апробирована на модельных объектах ООПТ из разных районов. При этом использованы методы прямой рыночной оценки (древесные и недревесные лесные ресурсы, ресурсы охоты и рыбные ресурсы); косвенной рыночной оценки (поглощение углерода); определения экономического ущерба (оленьи пастбища); расчета транспортно-путевых затрат (рекреационные и туристические ресурсы) и компенсационных затрат (водорегулирование).

Экономическая ценность ООПТ складывалась из денежной оценки *обеспечивающих* (ресурсы охоты, рыболовства, сбора ягод, грибов и орехов, оленеводство), *культурных* (туризм и рекреация) и *регулирующих* услуг (водорегулирование и поглощение углекислого газа) [17]. Наибольший вес на рынке экосистемных услуг приходится на ресурсы леса и водных источников, где ресурсопользование включает охоту, рыболовство, сбор грибов и ягод, оленеводство.

Результаты оценки модельных объектов представлены в табл. 4 и 5.

Анализ результатов экономической оценки экосистемных услуг позволил обозначить специфику ООПТ исследуемой территории:

Таблица 4

**Структура годовой экономической ценности экосистемных услуг**

Особо охраняемые природные территории	Ценность экосистемных услуг			
	Обеспечивающие, млн.руб/год / %	Регулирующие, млн.руб/год / %	Культурные, млн.руб/год/%	Удельный показатель, руб./га
<b>ООПТ, расположенные в районах Печоро-Уральской Арктики</b>				
<i>Крайнесеверная тайга</i>				
Комплексный заказник «Усинский»	0,4 / 1,2	33,4 / 98,8	-	243,2
Болотный резерват «Океан»	0,6 / 1,4	42,9 / 98,6	-	243,0
<i>Северная тайга</i>				
Комплексный заказник «Сэбысь»	0,4 / 1,0	36,8 / 99,0	-	212,6
<b>ООПТ в других районах республики</b>				
Комплексный заказник «Удорский»	0,9 / 1,7	50,8 / 97,3	0,5 / 1,0	215,7
<i>Средняя тайга</i>				
Комплексный заказник «Уньинский»	2,9 / 12,9	5,9 / 26,3	13,6 / 60,7	687,1
Ихтиологический заказник «Ильчский»	3,5 / 3,2	95,8 / 88,3	9,2 / 8,5	203,8
Комплексный заказник «Белоборский»	5,7 / 74,7	1,9 / 24,9	0,03 / 0,4	847,8

Таблица 5

**Распределение доходов от использования экосистемных услуг**

Особо охраняемые природные территории	Доходы различных групп потребителей, %			
	Местные жители	Бизнес-структуры	Приезжие туристы	Мировое сообщество
<b>ООПТ, расположенные в районах Печоро-Уральской Арктики</b>				
<i>Крайнесеверная тайга</i>				
Комплексный заказник «Усинский»	62,9	-	-	37,1
Болотный резерват «Океан»	62,3	0,01	-	37,7
<i>Северная тайга</i>				
Комплексный заказник «Сэбысь»	43,5	-	-	56,5
<b>ООПТ в других районах республики</b>				
Комплексный заказник «Удорский»	43,5	менее 0,01	менее 0,01	56,5
<i>Средняя тайга</i>				
Комплексный заказник «Уньинский»	20,7	-	66,2	13,1
Ихтиологический заказник «Ильчский»	47,4	4,4	4,1	44,1
Комплексный заказник «Белоборский»	36,0	49,5	0,3	14,2

**Заключение**

- общая ценность отдельных модельных объектов ПУА изменяется от 33,8 до 43,5 млн.руб./год; на остальной территории амплитуда ценности ООПТ – от 7,6 до 108,5 млн.руб./год. Это объясняется различиями в площадях объектов и объемах изъятия ресурсов;

- удельный показатель ценности экосистемных услуг для территорий ПУА сформирован вкладом регулирующих услуг и составляет 210–240 руб./га; для южных ООПТ данный показатель варьирует от 203 до 850 руб./га, причем его величину определяет повышенный спрос на обеспечивающие и культурные услуги;

- преобладающим видом экосистемных услуг являются регулирующие, доля которых в общей ценности в зависимости от площади объектов возрастает от 25 до 99 %, причем в структуре ценности объектов ПУА они доминируют;

- основными получателями выгод экосистемных услуг на территории ПУА являются местные жители и мировое сообщество, на остальной – все категории получателей, в зависимости от посещаемости объектов.

Крайнесеверные территории обладают огромным по своему значению потенциалом этнокультурных функций, когда происходит совмещение культурных, традиционных и обеспечивающих функций экосистем. К сожалению, экологизация экономики часто рассматривается исключительно в технологической плоскости. При планировании экономического развития северные и особенно арктические территории, принадлежащие к участкам традиционного природопользования, оказываются экономически неконкурентоспособными, и это несмотря на то, что они представляют большой объем экологических услуг и фактически обеспечивают возможности развития экономики и социума. В значительной степени такая ситуация связана с несовершенством методологической основы оценки всего спектра экосистемных услуг, что приводит к неадекватному экономическому учету и занижению ценности этих функций природы.

*Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН, проект № 12-7-8-006-Арктика «Печоро-Уральская Арктика. Роль в экономике Республики Коми, проблемы и направления развития» (2012-2014).*

#### Литература

1. *Стратегия развития* Арктической зоны Российской Федерации, утверждённая 20 февраля 2013 г. Президентом России Владимиром Путиным.
2. *Васильев В.В., Селин В.С.* Методология комплексного природоохозяйственного районирования северных территорий и российской Арктики. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2013. 260 с.
3. *Районирование Севера России* / Науч. рук. Г.П. Лузин; Кольский научный центр РАН. Апатиты, 1993. 103 с.
4. *Тихонова Т.В.* Эколого-экономический механизм природопользования и охраны окружающей среды: проблемы и пути развития // *Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития*. 2004. №3 (10). С.70–88.
5. *Constanza R, et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 1997. Vol. 387. P. 253–260.
6. *Millennium Ecosystem Assessment*. Ecosystems and Human Well-being // *Synthesis Report*. Island Press, Washington DC. 2005. 160 p.
7. *Братцев А.П.* Урожайность грибов и ягод в лесах / Научный отчет «Программа Экология 2005». Сыктывкар. 1990. 68 с.
8. *Дмитриева Т.Е., Максимов А.А., Хохлов Н.А.* Экспертная социолого-статистическая оценка использования недревесных продуктов леса. Отчет / Коми региональный некоммерческий фонд «Серебряная тайга». Сыктывкар, 2006. 64 с.
9. *Иванов В.А., Безумов Л.В.* Оленеводство на Севере // *Регион*. 2013. № 7. С. 36–39.
10. *Атлас Республики Коми*. М.: Феория, 2011. 448 с.
11. *Дмитриева Т.Е., Щенявский В.А.* Пространство и развитие внутреннего туризма в Республике Коми // *Известия Коми НЦ УрО РАН*, 2012. № 2 (10). С. 144–151.
12. *Бобылев С.Н., Захаров В.М.* Экосистемные услуги и экономика. Институт устойчивого развития / Центр экологической политики России. М.: ООО «Типография ЛЕВКО», 2009. 72 с.
13. *Экономика сохранения биоразнообразия* / Под ред. А.А. Тишкова / ГЭФ проект «Сохранение биоразнообразия». Институт экономики природопользования. М., 2002. 604 с.
14. *Диксон Д., Скура Л., Карпенгер Р., Шерман П.* Экономический анализ воздействий на окружающую среду / Науч. ред. перевода и авторы предисловия С.Н. Бобылев, Т.Г. Леонова, М.И. Сметанина. М.: Изд-во ООО «Вита-Пресс», 2000. 272 с.
15. *Методы оценки экологических ущербов: учебно-методическое пособие* / Г.А. Фоменко, М.А. Фоменко, К.А. Лошадкин. Ярославль: АНО НИПИ «Кадастр», 2008. 160 с.
16. *Рекомендации по денежной оценке ресурсов и объектов окружающей среды: адаптация к условиям России методов эколого-экономического учета ООН/ Госкомэкология России*. Ярославль: НПП «Кадастр», 2000. 76 с.
17. *Тихонова Т.В.* Стратегия развития особо охраняемых природных территорий в целях использования и сохранения биоресурсов и экосистемных услуг // *Экономика региона*. 2012. № 3. С. 150–161.

*Статья поступила в редакцию 30.01.2014.*

## К 70-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ А.И. ТАСКАЕВА

*10 февраля 2014 г. в Коми научном центре УрО РАН состоялось расширенное заседание Президиума, посвященное памяти выдающегося радиоэколога Анатолия Ивановича Таскаева.*

*А.И. Таскаев (09.02.1944–17.11.2010) – ученый-биолог, заслуженный деятель науки Коми АССР, дважды лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, лауреат премии им. Н.В. Тимофеева-Ресовского, лауреат Государственной премии Республики Коми в области науки. С 1988 по 2010 г. – директор Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. Член научного совета по радиобиологии, действительный член Международной академии наук по экологической безопасности. Заслуженный эколог Российской Федерации. Награжден медалью «За охрану природы России» I и II степени, орденом «Мужества» за участие в ликвидации катастрофы на Чернобыльской АЭС.*

*Открыл заседание Председатель Коми НЦ УрО РАН, академик Асхаб Магомедович Асхабов. С научными докладами выступили директор Института биологии Коми НЦ УрО РАН, д.б.н. Светлана Владимировна Дёгтева «Анатолий Иванович Таскаев: вехи жизненного пути», зав. отделом радиоэкологии, д.б.н. Владимир Габдуллович Зайнуллин «Генетические последствия облучения в малых дозах радиации». По окончании заседания состоялось открытие мемориальной доски в память Анатолия Ивановича Таскаева на здании Института биологии Коми НЦ УрО РАН.*

**Анатолий Иванович Таскаев** родился 9 февраля 1944 г. в г. Гудермес Чечено-Ингушской АССР в семье кадрового военного. После демобилизации отца в 1947 г. семья переехала на его родину, в с.Биб Сылтывдинского района Коми АССР, позднее, в 1949 г. – в г.Сыктывкар. Здесь, в 1962 г., после окончания школы с золотой медалью Анатолий принял решение поступить на физический факультет Московского университета. При обучении в ведущем вузе страны студент Таскаев, приехавший в Москву из глубинки, стабильно показывал очень хороший уровень знаний по всем предметам, проявлял большой интерес к экспериментальной работе. На третьем курсе университета его заинтересовала проблема изучения элементарных частиц. Руководителем дипломного проекта А.Таскаева стал ученый с мировым именем – И.М. Франк. Эксперименты студент проводил в известной на весь мир лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований в Дубне. Здесь он приобрел первые навыки научной работы, подготовил к опубликованию первую статью «Нейтронные резонансы изотопов неодима».



Анатолий Иванович Таскаев. Фото С.Новикова.

После окончания Московского университета А.И. Таскаев принял приглашение от Председателя Коми филиала Академии наук СССР В.П. Подоплелова приехать на работу в Сыктывкар. Научная деятельность Анатолия Ивановича в стенах Института биологии началась 1 февраля 1968 г. Здесь он сформировался как ученый и организатор науки, прошел все ступени карьерной лестницы: от младшего научного сотрудника до директора. Поступив на работу в лабораторию радиохимических и радиофизических исследований, Анатолий Иванович первоначально занимался изучением миграции тяжелых естественных радионуклидов в биогеоценозах с повышенным радиационным фоном. Разработанный им картографостатистический метод позволил наиболее полно определить и оценить пространственные и временные связи наблюдаемых явлений в экосистемах с повышенным фоном радиации.

С 1977 по 1979 г. А.И. Таскаев исполнял обязанности заведующего лабораторией радиохимических и радиофизических исследований, в 1979–1980 гг. успешно руководил лабораторией экологической дозиметрии и радиохимии, а с 1984 по 2010 г. заведовал отделом радиоэкологии, приняв эстафету от В.И. Маслова. Именно в этот период особенно ярко проявились всегда присущие Анатолию Ивановичу трудолюбие, инициативность и прекрасные способности организатора. Он способствовал развитию в отделе перспективных научных направлений, включая генетику животных и растений, гистоморфологию, биохимию, геронтологию, молекулярно-клеточную биологию. Плодами его незаурядного интеллекта стали более 400 научных работ, в том числе 15 монографий.

Материалы многолетних комплексных радиоэкологических исследований, проводимых в Институте биологии, приобрели особую значимость в 1986 г. С первых дней после аварии на Чернобыльской АЭС группа сотрудников Института биологии, которую возглавил А.И. Таскаев, развернула в зоне поражения широкомасштабные исследования. С 1986 по 1993 г. было совершено более 20 экспедиционных выездов, в которых участвовали около 60 сотрудников Института биологии и Коми НЦ УрО РАН. В этой сложнейшей ситуации в полной мере раскрылись его способности незаурядного организатора, выдающегося ученого, в сочетании с умением поддержать коллег, создать по возможности комфортные условия для их работы. Он лично проводил исследования на наиболее загрязненных участках, стремясь не подвергать риску сотрудников. По материалам изысканий, выполненных за этот период, опубликовано восемь монографий, четыре сборника трудов Института биологии и более 300 статей в разных научных изданиях.

В 1988 г. А.И.Таскаев единогласно был избран директором Института биологии. Он обладал всеми качествами, необходимыми руководителю большого научного коллектива. Это был яркий лидер, который умел ставить правильные цели и достигать их, искать единомышленников, зажигать своими идеями и вести за собой. В сложных экономических условиях, неоднократно складывавшихся в России с конца 80-х гг. XX столетия, он сумел не только сохранить, но и значительно укрепить научный и технический потенциал Института биологии. Во время работы на посту директора Анатолий Иванович планомерно осуществлял деятельность по подготовке кадров высшей квалификации: стабильно работала аспирантура, в которой одновременно обучались до 40 молодых специалистов, был создан совет по защите докторских диссертаций, открыта докторантура по специальностям «ботаника», «экология» и «почвоведение». Начинающие исследователи получили возможность стажироваться в ведущих научных институтах и учебных заведениях, регулярно докладывать результаты научных изысканий на научных конференциях не только в нашей стране, но и за рубежом.

По инициативе А.И. Таскаева в Институте биологии основаны новые подразделения, направления исследований которых соответствуют приоритетам развития отечественной науки: экоаналитическая лаборатория, лаборатории беспозвоночных животных, биохимии и биотехнологии, биомониторинга (г. Киров), отделы экосистемного анализа и ГИС-технологий, экологии животных. Вторую жизнь получили Ляльский лесоэкологический стационар, гербарий (SYKO), Ботанический сад. Для улучшения качества работ постоянно совершенствовался парк приборов и оборудования, внедрялись современные технологии и методы исследований.

Важной заслугой Анатолия Ивановича Таскаева как организатора науки можно считать и то, что научный потенциал Института биологии востребован предприятиями Республики Коми и государством. Он умело нацеливал коллектив на проведение не только фундаментальных, но и прикладных исследований. Заказчиками последних стабильно выступали и выступают как федеральные и республиканские ведомства, так и предприятия различных форм собственности. Отличительной чертой последних лет его работы в должности директора института стал рост числа крупных и социально-ориентированных международных проектов Европейской комиссии, выполняемых с участием института. Одновременно был сделан акцент на патентной деятельности, представлении инновационных достижений на выставках.

За годы работы Анатолия Ивановича существенно расширилось сотрудничество Института биологии с отечественными и международными научно-исследовательскими институтами и вузами. По его инициативе создана базовая кафедра экологии при химико-биологическом факультете Сык-



Обсуждение со С.В. Дёгтевой планов работ на особо охраняемых природных территориях Республики Коми. Март 2004 г. Фото В.И.Пономарева.



На конференции БИОРАД-2009, 29 сентября. С академиком РАСХН Р.М. Алексахиним. Фото С.А.Прокушева.

тытывкарского государственного университета, учреждены три стипендии для студентов старших курсов университета и Сыктывкарского лесного института, проявивших способности к научной работе.

В 2009 г. Анатолий Иванович в пятый раз был избран директором Института биологии. Выступая с отчетным докладом по итогам работы за предшествующие пять лет, он очертил основные приоритеты исследований коллектива Института биологии на перспективу. Он планировал уделять внимание наиболее острым вопросам и проблемам в сложный период рестройки и реформы Российской академии наук. Все запланированное начал реализовывать с присущими ему целеустремленностью и энергией. Сложный комплекс задач, который ему пришлось решать, совмещая должности заведующего отделом радиэкологии и директора Института биологии, первого заместителя председателя Президиума Коми НЦ УрО РАН, требовал огромных душевных и физических сил. Анатолий Иванович привык думать, прежде всего, о людях, деле, и лишь потом о своем здоровье. Сердце не выдержало, он скончался скоропостижно 17 ноября 2010 г., не закончив свое выступление на собрании молодых ученых института.

Анатолий Иванович как руководитель института умело создавал условия, при которых коллектив мог работать стабильно и демонстрировать хорошую результативность. Он был стержнем, сплотившим сотрудников, не оставался равнодушным к большим и малым событиям повседневной жизни нашей организации, которую считал своим вторым домом. Всегда искренне стремился помочь тем, кто оказался в сложной жизненной ситуации. Постоянной заботой директора неизменно были окружены ветераны.

Неожиданный скоропостижный уход Анатолия Ивановича из жизни – огромная утрата для коллектива, ощущение которой не ослабевает.

Сегодня администрация института видит основную задачу в том, чтобы сохранить сформированные лучшие традиции ранее, и развивать их для дальнейшего укрепления престижа Института биологии. Для повышения уровня научных исследований в течение трех последних лет был создан центр коллективного пользования «Молекулярная биология», оборудованы современные лаборатории для проведения исследований в областях генетики и физиологии растений, приобретено дорогостоящее импортное оборудование, развивалась сеть объектов постоянного мониторинга.

Сотрудники участвуют в программах мобильности молодых ученых, в институте прошли стажировки начинающие исследователи из научных учреждений и высших учебных заведений России и зарубежных стран. На базе института регулярно проводятся научные мероприятия: конференции, симпозиумы, семинары. Для апробации полученных результатов специалисты выезжали на научные форумы, в том числе в другие страны. Продолжают развиваться международное сотрудничество, патентная работа, выставочная деятельность. В 2010–2013 гг. молодыми сотрудниками института защищены одна докторская и 27 кандидатских диссертаций. Большинство выпускников аспирантуры защити-



Открытие мемориальной доски 10 февраля 2014 г.

ло квалификационные работы в первый год после окончания обучения. Несколько специалистов завершают подготовку докторских диссертаций.

В 2006 г. начался сложный для отечественной науки период реформ, который с сентября 2013 г. вступил в новую фазу. Хочется выразить надежду, что благодаря заложенному Анатолием Ивановичем Таскаевым фундаменту, Институт биологии при имеющемся запасе прочности с честью выдержит все испытания.

*Директор Института биологии Коми НЦ УрО РАН,  
д.б.н. С.В. Дёгтева*

## НИКОЛАЙ ИОСИФОВИЧ ТИМОНИН



2 января 2014 г. исполнилось 80 лет кавалеру ордена «Знак Почета», заслуженному деятелю науки Республики Коми, лауреату Государственной премии Республики Коми, доктору геолого-минералогических наук **Николаю Иосифовичу Тимонину**.

В 1957 г. Николай Иосифович с отличием закончил геолого-разведочный факультет Свердловского горного института. С 1961 г. – сотрудник Института геологии Коми филиала АН СССР (Коми НЦ УрО РАН). В 1971 г. защитил кандидатскую диссертацию «Тектоника гряды Чернышева», в 1998 г. – докторскую «Печорская плита: история геологического развития в фанерозе»

Н.И. Тимонин – выдающийся ученый-геолог, крупный специалист в области региональной геологии, тектоники, геодинамики, геологии нефти и газа, человек с широчайшим кругозором. Он внес существенный вклад в изучение геологии Северного Урала и Новой Земли. На основе собственных многолетних экспедиционных исследований на Тимане, Северном Приуралье, Приполярном и Полярном Урале, Пай-Хое, островах Вайгач и Новая Земля Н.И. Тимониным выполнена палеотектоническая реконструкция всей территории Северо-Востока европейской части России, разработаны геодинамические модели развития Тимано-Печоро-Североуральского сегмента земной коры, выделены главные рубежи структурной перестройки в истории развития Печорской плиты. Результаты его исследований легли в основу прогноза рудоносности и оценки месторождений целого ряда полезных ископаемых в пределах Урало-Пайхойско-Новоземельской и Тимано-Печорской провинций.

На основе обобщения геолого-геофизических данных, включая большой объем собственных материалов, Н.И.Тимониным охарактеризовано глубинное строение Печоро-Баренцево-Карского региона, включающего в себя ряд крупнейших структур земной коры: Печорскую плиту, Новоземельско-Пайхойскую складчатопокрывную область, север Полярного Урала и северную часть Западно-Сибирской плиты. На тектонической и палеогеодинамической основе им разработан прогноз и обоснованы перспекти-

вы нефтегазоносности Баренцевоморского и Карского бассейнов и слабоизученных районов Большеземельской тундры.

Результаты исследований Н.И.Тимонина отражены в научных работах. Среди них: Атлас литолого-палеогеографических карт палеозоя и мезозоя Северного Приуралья м-ба 1:2500000 (1972); Тектоника гряды Чернышева (1975), Структура платформенного чехла европейского Севера СССР (1982), Тектонические критерии прогноза нефтегазоносности Печорской плиты (1986), Новоземельский мемориал (1995), Печорская плита: история геологического развития в фанерозе (1998), Палеогеодинамика Пай-Хоя (2004), Минерагеня Пай-Хоя (2007), Характер контактов пермских и каменноугольных отложений на северо-востоке Печорской плиты (2002).

Н.И.Тимонин в должности ученого секретаря Института геологии (1972–1978 гг.) и заместителя председателя Президиума Коми НЦ УрО РАН (1983–1996 гг.) проводил большую работу по организации научных исследований и укреплению академических учреждений на европейском Севере России, координации геологических исследований в регионе.

Николай Иосифович являлся членом редколлегии по выпуску серийных изданий Коми НЦ УрО РАН, заместителем главного редактора трехтомной энциклопедии «Республика Коми».

Организовывал разработку и исполнение некоторых научных экологических программ, таких как «Чистая Печора»(1986 г.) и «Охраняемые природные территории Республики Коми» (1996).

Н.И. Тимонин награжден знаком «За заслуги в изучении недр Республики Коми» в честь 300-летия геологической службы России (2000) и знаком отличия «За безупречную службу Республике Коми» (2011).

Публикации о Н.И.Тимонине: Статьи в справочниках: «Люди науки». Сыктывкар, 1997; «Науки о Земле. Институты, проблемы, люди». Екатеринбург, 1999; «Республика Коми: энциклопедия». Сыктывкар, 2000; «Доктора наук Республики Коми». Сыктывкар, 2004. Отдельное издание – Тимонин Николай Иосифович. Сыктывкар, 2004.

Поздравляем Николая Иосифовича с юбилеем, желаем крепкого здоровья и оптимизма.

*редколлегия*

## ЮРИЙ ЯКОВЛЕВИЧ ЧУКРЕЕВ



1 января 2014 г. исполнилось 60 лет известному исследователю в области разработки методов обеспечения балансовой надежности в электроэнергетике, почетному работнику науки и техники Российской Федерации, заслуженному работнику Республики Коми, лауреату стипендии

Президента Российской Федерации в области науки и образования, директору Института социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми НЦ УрО РАН, доктору технических наук **Юрию Яковлевичу Чукрееву**.

Научная и научно-практическая деятельность Ю.Я.Чукреева связана с исследованиями в области обоснования средств обеспечения балансовой надежности при планировании развития электроэнергетических систем и оперативного управления режимами их функционирования, в том числе в условиях реального времени. В 1983 г. в Московском энергетическом институте Юрий Яковлевич защитил кандидатскую диссертацию «Модели и алгоритмы оценки и оптимизации уровня надежности электроэнергетических систем», в 1998 г. в Институте систем энергетики им. Л.А.Мелентьева Сибирского отделения РАН (г. Иркутск) – докторскую диссертацию «Методы и модели обоснования решений по обеспечению надежности электроэнергетических систем». В исследованиях ученого с позиций системного подхода сформулированы и обобщены задачи обоснования решений по обеспечению надежности электроэнергетических систем, проведено теоретическое и технико-экономическое обоснование нормативных требований к показателям балансовой надежности электроэнергетических систем. Модельно-программное обеспечение, выполненное на базе разработанных Ю.Я.Чукреевым методических положений, с 1985 г. и до настоящего времени используется в различных энергетических компаниях.

Большое значение работы Юрия Яковлевича имеют для энергетики Республики Коми. Под его руководством впервые в России были проведены исследования по применению новых информационных технологий (экспертных систем, искусственных нейронных сетей и генетических алгоритмов) для решения задач оперативного управления режимами функционирования региональной электроэнергетической системы. Программные продукты, выполненные на базе предложенных Ю.Я.Чукреевым методических разработок, были внедрены в региональное диспетчерское управление электроэнергетической системы Республики Коми. Они позволили более взвешенно подходить к коррекции параметров режима и снизить стрессовые ситуации обслуживающего персонала.

В последние годы ученый активно занимается разработкой методических принципов обоснования уровней резервирования отдельных территориальных зон и запасов пропускных способностей системообразующих связей применительно к модели расчетной схемы ЕЭС России. Результаты этих исследований вошли в методические указания по проектированию электроэнергетических систем, а также в проект Технологических правил работы электроэнергетических систем, одобренный Научным советом РАН по проблемам надежности и безопасности больших систем энергетики и Научно-технической коллегии «Научно-технический совет ЕЭС».

Более 15 лет Ю.Я.Чукреев совмещает научную деятельность с педагогической. В целях подготовки высококвалифицированных специалистов-электриков для предприятий Республики Коми в ноябре 2000 г. на базе Сыктывкарского лесного института им была организована кафедра электроэнергетики, которую Юрий Яковлевич возглавлял вплоть до первого выпуска специалистов. С тех пор кафедра регулярно поставляет кадры для экономики республики. В настоящее время Ю.Я.Чукреев является профессором этой кафедры. Он ведет три учебных дисциплины: электроснабжение; электрические станции и подстанции; энергосбережение в теплоэнергетике, теплотехнике и теплотехнологии. Студентов, работе с которыми Юрий Яковлевич отдает много времени и энергии, можно часто встретить в стенах Института. Самые талантливые приходят к нему в аспирантуру. Под руководством Ю.Я.Чукреева защищены две кандидатские диссертации. А один из учеников сменил Юрия Яковлевича на должности заведующего лабораторией энергетических систем.

По материалам исследований Ю.Я.Чукреевым опубликовано более 140 научных работ, в числе которых восемь монографий и восемь учебных пособий. Юрий Яковлевич – участник более 60 научных конференций, симпозиумов и семинаров, в том числе международных. Он является членом Объединенного ученого совета по экономическим наукам УрО РАН, Экономического совета при Главе Республики Коми, Оргбюро Международного научного семинара «Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики», членом Президиума Коми НЦ УрО РАН. Входит в состав редколлегий журналов «Известия Коми НЦ УрО РАН», «Безопасность критичных инфраструктур», «Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз», серии докладов Президиума Коми НЦ УрО РАН «Новые научные методики и информационные технологии».

С 2010 г. Юрий Яковлевич Чукреев возглавляет Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера. В этой должности он показал себя талантливым организатором научной деятельности, принципиальным руководителем, умным психологом и умелым хозяйст-

венником. Юрий Яковлевич всегда находит время, чтобы выслушать проблемы сотрудников, разрешить их в пределах своих возможностей, найти нужные слова поддержки.

Талантливый ученый, опытный организатор, Ю.Я.Чукреев неоднократно и заслуженно удостоивался государственных наград и званий. За многолетнюю научную деятельность и плодотворную работу в области науки и образования в 1994 г. он был награжден Почетной грамотой Верховного Совета Республики Коми, в 2002 г. – Грамотой Уральского отделения РАН, в 2009 г. – Почетной грамотой Российской академии наук и Профсоюза работников РАН. В период с 2000 по

2003 г. Ю.Я.Чукреев являлся лауреатом стипендии Президента Российской Федерации в области науки и образования. В 2004 г. Юрию Яковлевичу было присвоено почетное звание «Заслуженный работник Республики Коми», в 2012 г. – звание «Почетный работник науки и техники Российской Федерации». В 2013 г. Ю.Я.Чукреев удостоен знака отличия Республики Коми «За заслуги перед Республикой Коми».

Поздравляем Юрия Яковлевича с юбилеем и желаем дальнейших творческих успехов.

*редколлегия*



Президиум Коми научного центра Уральского отделения РАН и Институт физиологии Коми НЦ УрО РАН с прискорбием сообщают, что 6 марта 2014 г. на 77-м году жизни скончался один из крупнейших специалистов в области биоорганической химии и молекулярной иммунологии, автор многих основополагающих исследований, талантливый организатор науки, действительный член Российской академии наук, директор Института физиологии Коми НЦ УрО РАН

### **ЮРИЙ СЕМЕНОВИЧ ОВODOV**

Академик Ю.С.Оводов – выдающийся ученый, много сделавший для познания молекулярных механизмов основных жизненных процессов. Им разработан ряд новых направлений и методов структурной химии и иммунохимии физиологически активных углеводсодержащих биополимеров; впервые изучено строение полисахаридов-иммуномодуляторов из морских организмов и показана их способность стимулировать выработку иммунитета к различным заболеваниям, включая вирусные инфекции и онкозаболевания; им также исследованы и применены новые средства иммунодиагностики злокачественных новообразований. Предложены современные подходы к ранней диагностике инфекционных заболеваний. Поистине классическими стали работы, проводимые научной школой Ю.С.Оводова в Институте физиологии Коми НЦ УрО РАН по систематическому изучению строения и свойств пектинов, обладающих широким спектром физиологического действия и физико-химических свойств. Разработана биотехнология получения ценных пектиновых биопрепаратов.

Научные труды ученого известны у нас в стране и за рубежом. Он является автором около 400 научных работ, опубликованных в ведущих отечественных и международных журналах, в том числе трех монографии, двух учебных пособий и более 30 патентов и авторских свидетельств, за которые Юрий Семенович отмечен знаком «Изобретатель СССР».

Много сил и энергии Ю.С.Оводов отдавал научно-организационной и преподавательской деятельности. Под его руководством защищено 11 докторских и более 40 кандидатских диссертаций. Он является создателем научных школ: физико-химической биологии в Коми научном центре УрО РАН и биоорганической химии и молекулярной иммунологии в Дальневосточном отделении РАН, получивших широкое признание научной общественности. Возглавляя Всероссийский научный совет по химии и технологии переработки возобновляемого растительного сырья (1995-2005), он объединил усилия ученых различных регионов России на создание биологически активных добавок и лекарственных препаратов.

Юрий Семенович являлся членом Объединенных ученых советов по химии и биологии при Президиуме УрО РАН, членом правлений Российского общества биотехнологов им. Ю.А.Овчинникова, Всероссийского биохимического общества, Российского научного общества иммунологов, членом Американской ассоциации содействия науке, Американского химического общества, научного совета Американского биографического института и Международного Кембриджского биографического центра.

Большое внимание Ю.С.Оводов уделял подготовке молодых высококвалифицированных кадров для российской науки. В течение многих лет вел подготовку студентов Сыктывкарского и Дальневосточного университетов в области биоорганической химии и молекулярной иммунологии. С 1999 г. он являлся директором созданного им Учебно-научного центра «Физико-химическая биология» при Сыктывкарском госуниверситете и Сыктывкарском лесном институте, с 2010 г. возглавлял магистратуру при Вятском и Сыктывкарском госуниверситетах.

Плодотворная научная и организаторская деятельность Ю.С.Оводова отмечена высокими наградами и премиями: орденами Октябрьской Революции, Трудового Красного Знамени, За заслуги перед Отечеством IV степени, медалями СССР, премией Ленинского комсомола, премиями РАН им. И.И.Мечникова и Ю.А.Овчинникова, рядом международных наград, премией Правительства Республики Коми в области научных исследований, медалью лауреата Русской академии наук и искусств. Он удостоен почетного звания «Заслуженный работник Республики Коми» и звания Республики Коми «Почетный деятель науки Республики Коми».

Высочайший профессионализм, полная самоотдача в работе, доброжелательность и требовательность, широта кругозора – эти и другие профессиональные и человеческие качества привлекали к Юрию Семеновичу учеников, соратников и друзей.

Коллектив Коми научного центра УрО РАН, коллеги, ученики, друзья и родные скорбят о кончине Юрия Семеновича. Светлая память об Учёном, Учителе и Мыслителе навсегда сохранится в наших сердцах.

*Президиум Коми НЦ УрО РАН,  
Институт физиологии Коми НЦ УрО РАН*

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ журнала «Известия Коми НЦ УрО РАН»\*

Журнал публикует научно-аналитические обзоры (объем до 25 м.с.), оригинальные статьи (до 15 м.с.) и краткие сообщения (до 6 м.с.) теоретического и экспериментального характера по проблемам естественных, технических, общественных и гуманитарных наук, в том числе региональной направленности. К публикации также принимаются комментарии к ранее опубликованным работам, информация о научных конференциях, рецензии на книги, хроника событий научной жизни. Статьи должны отражать результаты законченных и методически правильно выполненных работ.

Решение о публикации принимается редакционной коллегией журнала после рецензирования, учитывая новизну, научную значимость и актуальность представленных материалов. Статьи, отклоненные редакционной коллегией, повторно не рассматриваются.

### *Общие требования к оформлению рукописей*

Статьи должны сопровождаться направлением научного учреждения, где была выполнена работа. В необходимых случаях должно быть приложено экспертное заключение. Организация, направляющая статью, как и автор(ы), несет ответственность за её научное содержание, достоверность и оригинальность приводимых данных. Изложение материала статьи должно быть ясным, лаконичным и последовательным. Статья должна быть хорошо отредактирована, тщательно проверена и подписана всеми авторами (автором) с указанием (полностью) фамилии, имени, отчества, домашнего адреса, места работы, служебного и сотового телефонов и e-mail.

В редакцию подается рукопись статьи в двух экземплярах – на бумаге и на диске в редакторе WinWord под Windows. Математические статьи могут подаваться в редакторе TEX. Электронная и бумажная версии статьи должны быть идентичны. Электронный вариант рукописи может быть прислан по электронной почте на адрес редакционной коллегии: [journal@presidium.komisc.ru](mailto:journal@presidium.komisc.ru). Текст должен быть набран на компьютере (шрифт Times New Roman, кегль 14) в одну колонку через 1,5 интервала на бумаге форматом А4. По всей статье шрифт должен быть одинаковым. Поля страниц оригинала должны быть не менее: левое – 25 мм, верхнее – 20 мм, правое – 10 мм, нижнее – 25 мм. Объем иллюстраций (таблицы, рисунки, фото) в статье не должен превышать 8-10, а список литературы – 15 наименований. Количество иллюстраций в кратких сообщениях не должно превышать, соответственно, 5.

**Первая страница рукописи оформляется следующим образом:** в начале статьи указывается индекс Универсальной десятичной классификации (УДК); затем прописными буквами печатается название статьи, которое должно быть максимально кратким (информированным) и не содержать сокращений; далее следуют инициалы и фамилии авторов. Отдельной строкой дается название учреждения и города (для иностранных авторов – также страны). Ниже печатается электронный адрес для переписки. При наличии авторов из нескольких организаций необходимо арабскими цифрами указать их принадлежность. Через один полуторный интервал следует краткая аннотация (8-10 строк), в которой сжато и ясно описываются основные результаты работы. После аннотации через полуторный интервал приводятся ключевые слова (не более 6-8). Далее идут название статьи, аннотация и ключевые слова на английском языке.

Текст статьи состоит, как правило, из введения, основного текста, заключения (резюме) и списка литературы. В статье, описывающей результаты экспериментальных исследований, рекомендуется выделить разделы: «Материал и методы», «Результаты и обсуждение». Отдельно прилагаются подрисовочные подписи.

Во введении (заголовком не выделяется) в максимально лаконичной форме должны быть изложены цель, существо и новизна рассматриваемой задачи с обязательным кратким анализом данных наиболее важных и близких по смыслу работ других авторов. Однако введение не должно быть обзором литературы. В разделе «Материал и методы» должны быть четко и кратко описаны методы и объекты исследования. Единицы измерения следует приводить в Международной системе СИ. Подробно описываются только оригинальные методы исследования, в других случаях указывают только суть метода и дают обязательно ссылку на источник заимствования, а в случае модификации – указывают, в чем конкретно она заключается.

При первом упоминании терминов, неоднократно используемых в статье (однако не в заголовке статьи и не в аннотации), необходимо давать их полное наименование, и сокращение в скобках, в последующем применяя только сокращение. Сокращение проводить по ключевым буквам слов в русском написании. Все используемые, включая общепринятые, аббревиатуры должны быть расшифрованы при первом упоминании. Все названия видов флоры и фауны при первом упоминании в тексте обязательно даются на латыни с указанием авторов.

В разделе «Результаты и обсуждение» полученные данные приводят либо в табличной форме, либо на рисунках, без дублирования одной формы другой, и краткого описания результатов с обсуждением в сопоставлении с данными литературы.

\* Включен в перечень ведущих периодических изданий ВАК.

*Таблицы* должны быть составлены в соответствии с принятым стандартом, без включения в них легко вычисляемых величин. Все результаты измерений должны быть обработаны и оценены с применением методов вариационной статистики. Таблицы нумеруются по мере упоминания в статье, каждой дается тематический заголовок, и размещаются на отдельной странице. Таблицы призваны иллюстрировать текстовый материал, поэтому описывать их содержание в тексте не следует. Ширина таблицы должна быть либо 90 мм (на одну колонку), либо 185 мм (на две колонки). Текст в таблице набирается шрифтом Times New Roman, кегль 9-10, через два интервала. Сокращение слов в шапке таблиц не допускается. Пустые графы в таблицах не допускаются. Они должны быть заменены условными знаками, которые объясняются в примечании. Единицы измерения даются через запятую, а не в скобках: масса, г. Если таблица в статье одна, то ее порядковый номер не ставится и слово «Таблица» не пишется.

*Рисунки* представляются пригодными для непосредственного воспроизведения, пояснения к ним выносятся в подрисуночные подписи (за исключением кратких цифровых или буквенных обозначений), отдельные фрагменты обозначаются арабскими цифрами или буквами русского алфавита, которые расшифровываются в подрисуночных подписях. На рисунках, выполненных на компьютере, линии должны быть яркими (4-5 рix).

Ширина рисунков должна быть либо 90 мм, либо 185 мм, а высота – не более 240 мм. Шрифт буквенных и цифровых обозначений на рисунках – Times New Roman, кегль –9-10. На рисунках следует использовать разные типы штриховок с размером шага, допускающим уменьшение, а не оттеночные заливки серого и черного цветов. Каждый рисунок должен быть выполнен на отдельной странице. На обратной стороне рисунка простым карандашом или ручкой указывается фамилия первого автора статьи и номер рисунка.

*Карты* должны быть выполнены на географической основе ГУГК (контурные или бланковые карты). Транскрипция географических названий должна соответствовать атласу последнего года издания.

*Фотографии* представляют нескрепленными на белой глянцевой бумаге в двух экземплярах (один из них чистый, без каких-либо надписей) в конверте. Желательно обрезать их до необходимого размера репродукции, чтобы они попадали в размеры страницы. На обратной стороне (на полях) фотографий простым карандашом указываются фамилии первого автора, название статьи, порядковый номер рисунка, его верх или низ. Подрисуночные подписи оформляются на отдельной странице. В подписях к микрофотографиям указываются увеличение объектива и окуляра, метод окраски.

Местоположение каждой таблицы, рисунка, карты, фотографии при первом упоминании их в тексте отмечается на полях рукописи в квадратных рамках простым карандашом.

*Математические и химические обозначения и формулы* печатаются или вписываются с соблюдением размеров прописных и строчных букв. Во избежание неясности прописные и строчные буквы, имеющие одинаковое начертание (с, k, j, p, u, v, w, x, y, ψ), следует подчеркнуть двумя черточками: прописные – снизу (S), а строчные – сверху (p). Необходимо тщательно вписывать такие буквы, как j («йот») и l («эль»). Греческие буквы обводятся кружком красного цвета. Знак суммы (Σ) красным не обводится. Название неясных букв желательно написать карандашом на полях (например, «эль», «кси», «дзета», «не эль», «и», «йот»).

*Математические символы*, которые набираются прямым, а не курсивным шрифтом, типа log, lim, max, min, sin, tg, Ri, Im, числа Релея (Re), Россби (Ro), Кибеля (Ki) и другие, а также химические символы, отмечают крестиком в квадратной скобке. Необходимо также дать расшифровку всех используемых в статье параметров, включая подстрочные и надстрочные индексы, а также всех аббревиатур (условные сокращения слов). Следует соблюдать единообразие терминов. Нумерация формул (только тех, на которые есть ссылка в тексте) дается в круглых скобках с правой стороны арабскими цифрами.

*В тексте цитированную литературу* приводить только цифрами в квадратных скобках. Список литературы должен быть представлен на отдельной странице и составлен в порядке упоминания источников в тексте в соответствии со следующими правилами описания. Журнальные публикации: фамилии и инициалы всех авторов, полное название статьи журнала, название журнала (в соответствии с рекомендованным ВИНТИ списком сокращений), год, том, выпуск (номер), страницы (первая и последняя). Книги: фамилии и инициалы всех авторов, полное название книги, инициалы и фамилии редакторов, город, год, страницы (если ссылка не на всю книгу) или число страниц в книге. Сборники: фамилия и инициалы авторов, полное название статьи и сборника, первая и последние страницы. Если сборник содержит материалы конференций, необходимо указать их форму (труды, доклады, материалы) и название конференции. Диссертации: фамилия и инициалы автора, полное название диссертации, на соискание какой степени, каких наук, город, институт, в котором выполнена работа, год. Ссылки на авторефераты допускаются в исключительных случаях с указанием фамилии и инициалов автора, полного названия работы, места и года защиты, общего количества страниц. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Список литературы оформляется по нижеприведенным примерам (следует обратить особое внимание на знаки препинания):

1. Иванов И.И. Название статьи // Название журнала. 2005. Т.41. № 4. С. 18-26.

2. *Петров П.П.* Название книги. М.: Наука, 2007. Общее число страниц в книге (например, 180 с.) или конкретная страница (например, С. 75.).

3. *Казаков К.К.* Название диссертации: Дис. «...». канд. биол. наук. М.: Название института, 2002. 164 с.

4. *Мартынюк З. П.* Патент RU № 92963 на полезную модель "Фотограмметрическое средство измерений объемов круглых лесоматериалов при проведении погрузо-разгрузочных работ". Патенто-обладатель(и): Учреждение Российской академии наук Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН.

При наличии четырех авторов в списке литературы указываются все, а более четырех – только первые три, а далее пишется «и др.».

Для статей журналов, имеющих русскую и английскую версию, необходимо давать в списке литературы двойную ссылку (под одним номером), например:

1. *Иванов И.И., Петров П.П.* Название статьи // Название журнала. 2008. Т. 47. № 1. (8-18). *Ivanov I., Petrov P.* Article name // Magazine name. 2008. Т. 47. № 1. (4-15).

**При несоблюдении этих перечисленных правил статья не рассматривается редакционной коллегией, а возвращается авторам на доработку.**

Все статьи проходят рецензирование и в случае необходимости возвращаются авторам на доработку. Рецензирование статьи закрытое. Возможно повторное и параллельное рецензирование. Редакционная коллегия оставляет за собой право редактирования статьи. Статьи публикуются в порядке очередности, но при этом учитывается их тематика и актуальность. Редакционная коллегия сохраняет первоначальную дату поступления статьи, а, следовательно, и очередность публикации, при условии возвращения ее в редакционную коллегию не позднее, чем через 1 месяц. Корректуру принятой в печать статьи редакционная коллегия иногородним авторам рассылает по e-mail. Автор в течение 7-10 дней должен вернуть ее в редакционную коллегию или передать правку по указанному телефону или электронному адресу (e-mail) редакционной коллегии. В случае отклонения материала рукописи, приложения и дискета не возвращаются.

#### **Требования к электронной версии статьи**

При подготовке материалов для журнала с использованием компьютера рекомендуются следующие программы и форматы файлов.

**Текстовые редакторы:** Microsoft Word for Windows. Текст статьи набирается с соблюдением следующих правил:

- набирать текст без принудительных переносов;
- разрядки слов не допускаются;
- уравнения, схемы, таблицы, рисунки и ссылки на литературу нумеруются **в порядке их упоминания в тексте**; нумеровать следует лишь те формулы и уравнения, на которые даются ссылки в тексте;

- в числовых значениях **десятичные разряды отделяются запятой**;
- вставка символов **Symbol**.

**Графические материалы:** *Растровые рисунки* должны сохраняться только в формате TIFF с разрешением 300 dpi (точек на дюйм) для фотографий и не менее 600 dpi (точек на дюйм) для остальных рисунков (черно-белый). Использование других форматов нежелательно.

*Векторные рисунки* (не диаграммы) должны предоставляться в формате программы, в которой они созданы: CorelDraw, Adobe Illustrator. Если использованная программа не является распространенной, необходимо сохранить файлы рисунков в формате Enhanced Windows Metafile (EMF) или Windows Metafile (WMF).

*Диаграммы:* Рекомендуется использовать Microsoft Excel, Origin для Windows (до версии 6.0).

**Не рекомендуется пользоваться при работе программой Microsoft Graph и программами Paint из Windows 95, Microsoft Draw.**

Рукописи статей **только простым письмом** направлять по адресу:

Ответственному секретарю редакционной коллегии  
журнала «Известия Коми НЦ УрО РАН»  
Надежде Валериановне Ладановой  
167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 24,  
Президиум Коми НЦ УрО РАН, каб. 209  
Тел. (8212) 24-47-79; тел, факс (8212) 24-17-46  
**E-mail: [journal@presidium.komisc.ru](mailto:journal@presidium.komisc.ru).**  
**[www.izvestia.komisc.ru](http://www.izvestia.komisc.ru)**

*Научный журнал*

**ИЗВЕСТИЯ**  
Коми научного центра  
Уральского отделения  
Российской академии наук

**Вып. 1(17)**

Редактор Т.В.Цветкова  
Компьютерный дизайн и стилистика Р.А.Микушев  
Компьютерное макетирование Н.А.Сулейманова

Лицензия № 0047 от 10.01.1999.  
Подписано в печать 31.03.2014. Выход в свет 31.03.2014.  
Формат бумаги 60x84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Печать офсетная. Бумага офсетная.  
Усл.-печ.л. 17. Уч.-изд.л. 16,5. Тираж 300. Заказ №17. Цена свободная.

---

Редакционно-издательский отдел  
Коми научного центра УрО РАН.  
167982, ГСП, г.Сыктывкар, ул.Первомайская, 48.

Адрес учредителя: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Коми научный центр УрО РАН,  
167982, ГСП-2, г.Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 24.