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(25) **2016**

Главный редактор:

академик *А.М. Асхабов*

Редакционная коллегия:

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,* 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.т.н. *С.А. Леонтьев,* д.и.н. *П.Ю. Павлов,* к.г.-м.н. *А.М. Плякин,*
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. Чукреев,* 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,*
проф. *Т.М. Бречко,* д.э.н. *В.А. Ильин,*
акад. *В.А. Коротеев,* к.т.н. *Н.А. Манов,*
акад. *В.П. Матвеенко,* акад. *Г.А. Месяц,* чл.-корр. РАН *Е.В. Пименов,*
проф. *Д. Росина,* акад. *М.П. Рощевский,* чл.-корр. РАН *А.Ф. Титов,*
д.и.н. *И. Фодор,* 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*
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 коммуникаций и охране культурного наследия. Свид. о регистрации средств массовой информации ПИ № ФС 77-26969 от 11 января 2007 г.

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Коми научный центр УрО РАН, 2016

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(25) **2016**

Editor-in-chief:

academician *A.M. Askhabov*

Editorial Board:

Dr.Sci. (Med.) *E.R.Boyko,* Dr.Sci. (Econ.) *N.M.Bolshakov,*
Cand.Sci. (Geol.&Mineral.) *I.N.Burtsev,* Cand.Sci. (Hist.) *I.O.Vaskul,*
Dr.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* (Deputy Chief Editor), Dr. Sci. (Tech.)
S.A.Leontyev, Dr.Sci. (Hist.) *P.Yu.Pavlov,* Cand. Sci. (Geol.&Mineral.) *A.M.Plyakin*,
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,* Prof. *T.M.Brechko,*
Dr.Sci. (Econ.) *V.A.Ilyin,* academician *V.A.Koroteev,*
Cand.Sci. (Tech.) *N.A.Manov,* academician *V.P.Matveenko,* academician *G.A.Mesyats,*
RAS corresponding member *E.V.Pimenov,* Prof. *D.Rosina,*
academician *M.P.Roshchevsky,* RAS corresponding member *A.F.Titov,*
Dr.Sci. (Hist.) *I.Fodor*, academician *V.N.Charushin,* Dr.Sci. (Tech.) *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
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 № ФС 77-26969 dated 11 January, 2007.

© Federal State Budgetary Institution of Science the Komi Science Centre, Ural Branch, RAS, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

В.Ю. Андрюкова, В.Н. Тарасов. Уточненный метод расчета устойчивости оболочек вращения в осесимметричном случае..... 5
V.V. Kisil. Remark on continued fractions, mobius transformations and cycles (**В.В. Кисиль.** Замечание о непрерывных дробях, преобразованиях Мебиуса и циклах) 11

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

П.А. Ситников, Ю.И. Рябков, А.Г. Белых, И.Н. Васенева, А.В. Кучин. Физико-химические закономерности создания новых гибридных эпоксиполимерных нанокомпозитов с повышенными прочностными характеристиками.....18

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Д.А. Каверин, А.В. Пастухов, Е.В. Жангуров. Особенности температурного режима светлоземов северотаежных ландшафтов (европейский Северо-Восток России).....23
Л.А. Скупченко, А.Н. Пунегов, К.С. Зайнуллина. Виды рода кизильник (*Cotoneaster* Medik.) при выращивании в среднетаежной подзоне Республики Коми 30
О.В. Дымова, И.В. Далькэ. Фотосинтетические пигменты и CO_2-газообмен водных макрофитов в подзоне средней тайги.....37
О.В. Суслонова, И.М. Рощевская, А.А. Распутина. Морфометрия желудочков сердца крыс линии НИСАГ в период раннего постнатального развития.....45

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Т.А. Пономарева, А.М. Пыстин. Анализ физических свойств пород восточной зоны севера Урала 51
А.М. Асхабов. Нанокластерная модель образования жидкой воды.....62

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

А.А. Лютоев, Ю.Г. Смирнов, Е.А. Лютоева. Оценка эффективности очистки пластовых вод от эмульгированных нефтепродуктов с применением системы магнитных частиц и магнитного поля 68
С.М. Дуркин, А.И. Хасанов. Разработка трудноизвлекаемых запасов – основная задача будущего 74

ИСТОРИКО-ФИЛОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

А.Н. Ракин. Обозначения лодки как компонент лексики рыболовства в коми языке 80
Е.А. Цыпанов. Гриб дождевик и его названия в коми языке 86
Т.И. Лахтионова. Архивы Коми АССР в предвоенный период и в условиях Великой Отечественной войны (1938–1945 гг.).....90
А.Г. Кузьмин, П.Д. Морозов. Субкультура антифа как социально-политический феномен: опыт изучения в г.Сыктывкаре.....97

ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

И.В. Харионовская. Особенности развития инфраструктуры лесного хозяйства в Республике Коми 104

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

А.В. Козловская, Н.Н. Потолицына, В.Д. Шадрина, Е.Р. Бойко. Витамины и ферменты антиоксидантной системы в крови у женщин на Севере.....112
Е.Н. Прошкина, А.А. Москалев. Изучение молекулярно-генетических механизмов старения и стрессоустойчивости организма на модели *Drosophila melanogaster* 116

РЕЦЕНЗИИ 121

НАУЧНАЯ ЖИЗНЬ..... 123

ЮБИЛЕИ 125

CONTENTS

PHYSICAL And MATHEMATICAL SCIENCES

V.Yu.Andryukova, V.N.Tarasov. The revised method for calculating the stability of shells of rotation in the axisymmetric case 5
V.V.Kisil. Remark on continued fractions, mobius transformations and cycles 11

CHEMICAL SCIENCES

P.A.Sitnikov, Yu.I.Ryabkov, A.G.Belykh, I.N.Vaseneva, A.V.Kuchin. Physical and chemical regularities of creating new hybrid epoxy polymer nanocomposites with increased strength characteristics 18

BIOLOGICAL SCIENCES

D.A.Kaverin, A.V.Pastukhov, E.V.Zhangurov. Features of temperature regime in svetlozems of northern taiga landscapes (European Northeast of Russia) 23
L.A.Skupchenko, A.N.Punegov, K.S.Zainullina. The *Cotoneaster* Medik. species grown in the middle taiga subzone of the Komi Republic (Russia) 30
O.V.Dymova, I.V.Dal'ke. Photosynthetic pigments and CO_2-exchange of macrophytes in the middle taiga subzone 37
O.V.Suslonova, I.M.Roshchevskaya, A.A.Rasputina. Morphometry of the heart ventricles in NISAG rats during the early postnatal ontogenesis 45

GEOLOGICAL And MINERALOGICAL SCIENCES

T.A.Ponomareva, A.M.Pystin. Analysis of physical properties of rocks in the eastern zone of the north of the Urals 51
A.M.Askhabov. Nano-cluster model of formation of liquid water 62

TECHNICAL SCIENCES

A.A.Lyutoev, Yu.G.Smirnov, E.A.Lyutoeva. Evaluation of efficiency of purification of reservoir waters from emulsified oil products using a system of magnetic particles and magnetic fields 68
S.M.Durkin, A.I.Khasanov. Development of hard-to-recover reserves – the main task of the future 74

HISTORICAL And PHILOLOGICAL SCIENCES

A.N.Rakin. Boat designations as a component of the fishery vocabulary in the Komi language 80
E.A.Tsypanov. Puff-ball and its names in the Komi language 86
T.I.Lakhtionova. The archives of the Komi ASSR in the prewar period and during the Great Patriotic war (1938-1945) 90
A.G.Kuz'min, P.D.Morozov. Subculture Antifa as a socio-political phenomenon: the experience of studying in Syktyvkar 97

SOCIAL SCIENCES

I.V.Kharionovskaya. Features of forestry infrastructure development in the Komi Republic 104

PAPERS-IN-BRIEF

A.V.Kozlovskaya, N.N.Potolitsina, V.D.Shadrina, E.R.Bojko. The vitamins and enzymes of the antioxidant system in blood of women in the North 112
E.N.Proshkina, A.A.Moskalev. Study of molecular and genetic mechanisms of organism aging and stress-resistance in the *Drosophila melanogaster* model 116

REVIEWS 121

SCIENTIFIC LIFE 123

OFFICIAL (ANNIVERSARIES) 125

Известия Коми научного центра УрО РАН
Выпуск 1(25). Сыктывкар, 2016.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 539.3

УТОЧНЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ В ОСЕСИММЕТРИЧНОМ СЛУЧАЕ

В. Ю. АНДРЮКОВА, В. Н. ТАРАСОВ

Отдел математики Коми НЦ УрО РАН, г.Сыктывкар
veran@list.ru, vntarasov@dm.komisc.ru

Рассматривается задача об устойчивости сферической и торообразной оболочек, находящихся под действием внешнего нормального давления. Для вычисления работы внешних сил используется точная формула. В работе применяется вариационный подход, для конечномерной аппроксимации перемещений используются интерполяционные кубические сплайны.

Ключевые слова: **сферическая оболочка, торообразная оболочка, кубические сплайны, квадратичная форма поверхности, деформация, изменение кривизны, критическая сила, вариационная задача**

V. YU. ANDRYUKOVA, V. N. TARASOV. **THE REVISED METHOD FOR CALCULATING THE STABILITY OF SHELLS OF ROTATION IN THE AXISYMMETRIC CASE**

The problems of stability of spherical and toroidal shell in axially symmetric case are considered. For the problem solution variational approach is used. The elastic energy is determined by changing the coefficients of the first and second quadratic forms with the deformation of the shell. To determine the work of the external forces of normal pressure the accurate thermodynamic formula in accordance with the theorem of Euler - Bernoulli (the product of the pressure on the volume) is used.The position of the equilibrium total energy equal to the elastic energy minus the work of external forces, takes a minimum value. Total energy, equal to the elastic energy minus the work of external forces, takes a minimum value being in the position of the equilibrium. For finite-dimensional approximation of displacements interpolation cubic splines are applied. The resulting optimization problem is solved by the method of the conjugate gradient. Dependence of the maximum displacement of the outer shell on the normal pressure is built and the value of the critical force when the movement starts to rise sharply is determined. The results are compared with experimental data.

Keywords: **Rectangular plate, toroidal shell, cubic splines, quadratic surface shape, deformation, change in curvature, the critical force, the variational problem**

Введение

Рассматриваются задачи устойчивости сферической и торообразной оболочек в осесимметричном случае. Для решения используется вариационный подход. Упругая энергия оболочки вычисляется по формуле, приведенной А.В. Погореловым в [1]. Работа сил внешнего нормального давления определяется по точной термодинамической формуле в соответствии с теоремой Эйлера–Бернулли. Вариационный подход с использованием работы внешних сил применялся авторами этой статьи для решения задач устойчивости упругих колец с односторонним подкреплением в работах [2, 3], где приводятся аналитические решения некоторых новых вариационных задач.

Постановка задачи

Предположим, что оболочка вращения, срединную поверхность которой обозначим через S, в результате деформации приобрела форму $\tilde{S}$. Обозначим через g_{ij}, h_{ij}, $\tilde{g_{ij}}$, $\tilde{h_{ij}}$, $i,j = 1,2$ коэффициенты первой и второй квадратичных форм недеформированной и деформированной поверхности соответственно.

Предполагается, что деформация является осесимметричной. Согласно работе [4], энергию деформации, связанную с переходом из состояния S в состояние $\tilde{S}$, можно вычислить по формуле:

$$U_s = \int\int \Phi_1(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \kappa_1, \kappa_2) ds, \qquad (1)$$

где

$$\Phi_1 = \frac{Eh^3}{24(1-\nu^2)}(\kappa_1^2+\kappa_2^2+2\nu\kappa_1\kappa_2)+$$

$$+\frac{Eh}{2(1-\nu^2)}(\varepsilon_1^2+\varepsilon_2^2+2\nu\varepsilon_1\varepsilon_2), \quad (2)$$

E – модуль Юнга, ν – коэффициент Пуассона, ε_1 и ε_2 – экстремальные значения отношения

$$\frac{\sum_{i,j=1}^{2}(\tilde{g_{ij}}-g_{ij})du_idu_j}{\sum_{i,j=1}^{2}g_{ij}du_idu_j} \quad (3)$$

κ_1 и κ_2 – экстремальные значения отношения

$$\frac{\sum_{i,j=1}^{2}(\tilde{h_{ij}}-h_{ij})du_idu_j}{\sum_{i,j=1}^{2}g_{ij}du_idu_j}. \quad (4)$$

Пусть S – является поверхностью, образованной вращением некоторой кривой γ вокруг оси Z:

$$x=\varphi(\theta),\ z=\psi(\theta). \quad (5)$$

Здесь θ – полярный угол в плоскости меридиана. Тогда уравнения поверхности вращения будут иметь вид [4]

$$\begin{cases} x=\varphi(\theta)\cos\lambda, \\ y=\varphi(\theta)\sin\lambda, \\ z=\psi(\theta), \end{cases} \quad (6)$$

где λ обозначен угол в плоскости параллельного круга и $0\leqslant\theta\leqslant\theta_1, 0\leqslant\lambda\leqslant 2\pi$. Предполагается, что деформация оболочки является осесимметричной. В общем случае первая и вторая квадратичная формы поверхности вращения будут иметь вид [4]

$$\begin{cases} I=\left(\varphi^{'2}+\psi^{'2}\right)d\theta^2+\varphi^2d\lambda^2, \\ II=\left(\frac{\psi^{''}\varphi^{'}-\psi^{'}\varphi^{''}}{\sqrt{\varphi^{'2}+\psi^{'2}}}\right)d\theta^2+\frac{\psi^{'}\varphi}{\sqrt{\varphi^{'2}+\psi^{'2}}}d\lambda^2. \end{cases} \quad (7)$$

Устойчивость торообразной оболочки при одностороннем подкреплении

Рассмотрим задачу устойчивости тора, нагруженного внешним нормальным давлением.

Обозначим через $w(\theta)$ и $u(\theta)$ нормальное и касательное перемещения точек поверхности тора. Декартовы координаты до деформации будут определяться уравнениями

$$\begin{cases} x=(R+a\cos\theta)\cos\lambda, \\ y=(R+a\cos\theta)\sin\lambda,\ 0\leqslant\theta\leqslant 2\pi, 0\leqslant\lambda\leqslant 2\pi. \\ z=a\sin\theta, \end{cases} \quad (8)$$

т.е. для недеформированного тора $\varphi = R+a\cos\theta$, $\psi = a\sin\theta$.

После деформации уравнения поверхности будут иметь вид (6), где

$$\begin{cases} \varphi(\theta)=R+(a+w(\theta))\cos\theta-u(\theta)\sin\theta, \\ \psi(\theta)=(a+w(\theta))\sin\theta-u(\theta)cos\theta. \end{cases} \quad (9)$$

Будем исследовать потерю устойчивости по осесимметричной форме, когда образующиеся выпучины имеют вид кольцевых складок в направлении координаты λ (перемещения не зависят от λ).

Для поверхности вращения первая и вторая квадратичная формы поверхности записываются в виде (7). Для недеформированной поверхности:

$$\begin{cases} I_0=a^2d\theta^2+(R+a\cos\theta)^2d\lambda^2, \\ II_0=ad\theta^2+\cos\theta(R+a\cos\theta)d\lambda^2. \end{cases} \quad (10)$$

Используя формулы (3), (4), (7), (8), (10), можно получить выражения для деформаций ε_1, ε_2 и кривизн κ_1, κ_2. Квадратичные формы I и II в случае осесимметричной деформации имеют диагональный вид. Поэтому

$$\begin{cases} \varepsilon_1=\dfrac{\varphi'^2+\psi'^2-a^2}{a^2}, \\ \varepsilon_2=\dfrac{\varphi^2-(R+a\cos\theta)^2}{(R+a\cos\theta)^2}, \\ \kappa_1=\dfrac{\psi^{''}\varphi^{'}-\psi^{'}\varphi^{''}}{a^2\sqrt{\varphi'^2+\psi'^2}}-\dfrac{1}{a}, \\ \kappa_2=\dfrac{\psi^{'}\varphi-\cos\theta(R+a\cos\theta)\sqrt{\varphi'^2+\psi'^2}}{\cos^2\theta(R+a\cos\theta)^2\sqrt{\varphi'^2+\psi'^2}}. \end{cases} \quad (11)$$

Для внешнего нормального давления в соответствии с теоремой Эйлера – Бернулли работа внешних сил равна

$$A=P\Delta V, \quad (12)$$

где ΔV – изменение объема оболочки в результате деформации.

Как известно [5], объем тела, поверхность которого задается уравнениями

$$x=x(\theta,\lambda),\ y=y(\theta,\lambda),\ z=z(\theta,\lambda),$$

определяется (с точностью до знака)

$$V=\frac{1}{3}\int_0^{2\pi}\int_0^{2\pi} det\begin{bmatrix} x & y & z \\ x_\theta^{'} & y_\theta^{'} & z_\theta^{'} \\ x_\lambda^{'} & y_\lambda^{'} & z_\lambda^{'} \end{bmatrix}d\theta d\lambda. \quad (13)$$

В случае осесимметричной деформации определитель в (13) не зависит от λ.

Используя формулы (6), (8), (9), (12), объем оболочки после деформации можно вычислить по формуле:

$$V=\frac{2\pi}{3}\int_0^{2\pi}\Phi_2\left(w,u,w^{'},u^{'}\right)d\theta, \quad (14)$$

где

$$\Phi_2=det\left\|a_{ij}\right\|, i,j\in 1:3,$$

элементы матрицы $\left\|a_{ij}\right\|$ имеют вид

$a_{11}=R+a\cos\theta+w(\theta)\cos\theta-u(\theta)\sin\theta$,

$a_{13}=a\sin\theta+w(\theta)\sin\theta+u(\theta)\cos\theta$,

$a_{21}=-a\sin\theta+w^{'}(\theta)\cos\theta-w(\theta)\sin\theta-u^{'}(\theta)\sin\theta-$
$-u(\theta)\cos\theta$,

$a_{23}=a\cos\theta+w^{'}(\theta)\sin\theta+w(\theta)\cos\theta+u^{'}(\theta)\cos\theta-$
$-u(\theta)\sin\theta$,

$a_{32}=R+a\cos\theta+w(\theta)\cos\theta-u(\theta)\sin\theta$,

$a_{12}=0$, $a_{22}=0$, $a_{31}=0$, $a_{33}=0$.

Полная энергия деформации будет иметь вид

$$J=J_1-PJ_2,$$

где

$$J_1=2\pi\int_0^{2\pi}\Phi_1(\varepsilon_1,\varepsilon_2,\kappa_1,\kappa_2)a(R+a\cos\theta)d\theta,$$

$$J_2 = \Delta V.$$

В устойчивом положении равновесия полная энергия принимает минимальное значение. Таким образом, приходим к вариационной задаче

$$J \to \min_{w,u}, \tag{15}$$

где функции w, u удовлетворяют условиям периодичности.

Численный метод

Будем аппроксимировать перемещения $w(\theta)$ и $u(\theta)$ интерполяционными кубическими сплайнами [6]

$$S(g;\theta_i) = g_i, \;\; \theta_i = 2\pi i/n, \;\; i \in [1:n],$$

где

$$g_i = w(\theta_i) \;\text{ или }\; g_i = u(\theta_i).$$

Сплайн $S(g;\theta)$ для $\theta \in [\theta_i, \theta_{i+1}]$ задается формулой

$$S(g;\theta_i) = g_i(1-t^2)^2(1+2t) + g_{i+1}t^2(3-2t) + \\ + m_i ht(1-t)^2 - m_{i+1}ht^2(1-t), \tag{16}$$

где $h = 2\pi/n$, $t = (\theta - \theta_i)/h$. В (16) неизвестными являются коэффициенты m_i, которые определяются из условий непрерывности второй производной функции $S(g;\theta)$ в узлах сплайна. Также сплайн должен удовлетворять условиям периодичности, которые приводят к равенствам:

$$f_0 = f_n, \;\; f_{n+1} = f_1, \;\; m_0 = m_n.$$

Таким образом, для определения коэффициентов $m_1, m_2, ..., m_n$ необходимо решить систему уравнений

$$\begin{cases} 2m_1 + \frac{1}{2}m_2 + \frac{1}{2}m_n = c_1, \\ \frac{1}{2}m_{i-1} + 2m_i + \frac{1}{2}m_{i+1} = c_i, \;\; i \in [2; n-1], \\ \frac{1}{2}m_1 + \frac{1}{2}m_{n-1} + 2m_n = c_n, \end{cases} \tag{17}$$

где

$$c_i = \frac{3}{2h}(f_{i+1} - f_{i-1}), \;\; i \in [2; n-1],$$

$$c_1 = \frac{3}{2h}(f_2 - f_n),$$

$$c_n = \frac{3}{2h}(-f_1 + f_{n-1}).$$

Пусть $\xi \in R^n$, $\xi_1 = f_1, ..., \xi_n = f_n$, и

$$\eta \in R^n, \;\; \eta_1 = m_1, ..., \eta_n = m_n.$$

Введем матрицы порядка n.

$$A = \begin{pmatrix} 2 & 0.5 & 0 & 0 & ... & 0 \\ 0 & 0.5 & 2 & 0.5 & ... & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 2 & ... & 0 \\ ... & ... & ... & ... & ... & ... \\ 0 & 0 & ... & 0.5 & 2 & 0.5 \\ 0 & 0 & ... & 0 & 0.5 & 2 \end{pmatrix}, \tag{18}$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & ... & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & ... & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & ... & 0 \\ ... & ... & ... & ... & ... & ... \\ 0 & ... & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & ... & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}. \tag{19}$$

$$\xi = A^{-1}B\eta. \tag{20}$$

Формула (20) в вычислительном отношении экономична, ибо матрицу $A^{-1}B$ необходимо находить всего один раз.

Пусть $y \in R^m$, $m = 2n$ и

$$y_i = w(\theta_i), \;\; y_{i+n} = u(\theta_i), \;\; i \in 1:n.$$

Таким образом, подставляя интерполяционные сплайны в функционал полной энергии, вместо вариационной задачи получим задачу минимизации

$$f(y) \to \min_{y \in R^m}, \tag{21}$$

которую будем решать методом сопряженных градиентов [7]. Здесь

$$f(y) = J(S(w), S(u)).$$

Пусть y_k – некоторое начальное приближение. Обозначим

$$\mathbf{g}_0 = \frac{\partial f\,(y_0)}{\partial y} \tag{22}$$

градиент функции $f(y)$. Пусть уже получена точка $y_k \in R^m$. Если

$$r_k = \| \frac{\partial f\,(y_k)}{\partial y} \| = 0,$$

то выполнено необходимое условие минимума, и процесс прекращается. Если же

$$r_k > 0,$$

то на луче

$$y_k(\alpha) = y_k - \alpha g_k, \;\; \alpha \geqslant 0.$$

Найдем точку $y_k(\alpha)$ такую, что

$$f(y_k(\alpha)) = \min_{\alpha \geqslant 0} f(y_k(\alpha)), \tag{23}$$

где

$$g_k = \frac{\partial f\,(y_k)}{\partial y} + \beta_k g_{k-1},$$

$$\beta_k = \begin{cases} 0, \;\; k = 0; m; 2m; ..., \\ r_k^2/r_{k-1}^2, \;\; k \neq 0; m; 2m; ..., . \end{cases} \tag{24}$$

Если Лебегово множество

$$D(y_0) = \{y_0 \in R^m | f(y) \leqslant f(y_0)\}$$

ограничено, то любая предельная точка последовательности $\{y_k\}$, $k = 0, 1, 2, ...$ является стационарной точкой функции $f(y)$ на R^m, т.е. если $y_{k_s} \to y_*$ при $k_s \to 0$, то

$$r_* = \| \frac{\partial f\,(y_*)}{\partial y} \| = 0.$$

Кроме того, известно, что метод сопряженных градиентов обладает "квадратичной" скоростью сходимости [7]. Задача одномерной минимизации на луче решалась методом золотого сечения.

Обсуждение результатов

На рис.1 представлена зависимость максимального перемещения оболочки ($y_{max} = \max\limits_{i\in 1:n}\sqrt{w_i^2+u_i^2}$ – вдоль вертикальной оси) от внешнего нормального давления ($\tilde{P}$ – по горизонтальной оси) при параметрах

$$R=200,\ \ a=80,\ \ h=1.28,\ \ \tilde{P}=1000\frac{P}{D}.$$

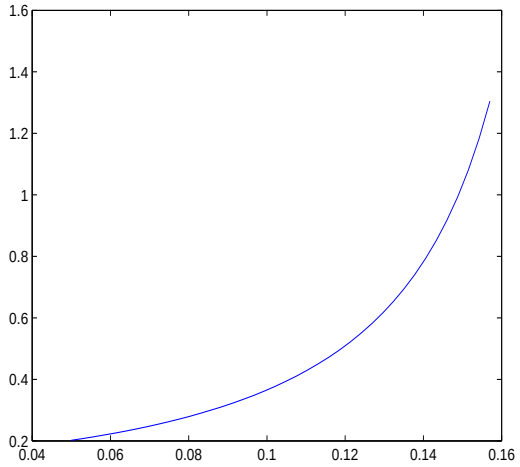


Рис. 1. Зависимость максимального перемещения торообразной оболочки от внешнего нормального давления.

Из графика можно сделать вывод, что вначале перемещение растет линейно с увеличением $\tilde{P}$, а начиная с некоторого значения, максимальное перемещение оболочки резко возрастает. Таким образом, кривая зависимости максимального перемещения от параметра $\tilde{P}$ хорошо аппроксимируется гиперболой

$$F(t)=\frac{c_1t^2+c_2t+c_3}{c_4t+1},$$

где $t=\tilde{P}$, $F(t)$ – максимальное перемещение. При заданных выше параметрах коэффициенты c_i имеют значения

$$c_1=2.6467,\ \ c_2=0.0554,\ \ c_3=0.1386,\ \ c_4=-5.3320.$$

Критическим следует считать то значение $\tilde{P}_*$, после которого $F(t)$ начинает резко возрастать. Из рис.1 видно, что $\tilde{P}_*\cong 0.13$.

При $E=2.05\times 10^6$ кг/см^2, $\nu=0.3$ критическое давление

$$P_*=\frac{0.13D}{12(1-\nu^2)1000}=\frac{0.13E\times 1.28^3}{12(1-\nu^2)1000}=52.42.$$

В работе [8] приведены результаты экспериментов над стальными, жестко закрепленными тороидальными оболочками. В введенных обозначениях

$$k=\frac{a}{R},\ \ \psi=\frac{(1-\nu^2)pa}{Eh}$$

при

$$k=0.4,\ \ a/h=62.5,\ \ R=200,\ \ a=80,\ \ h=1.28$$

экспериментально получено значение

$$\psi=0.32\times 10^{-3},$$

что соответствует давлению $P=11.81$. При

$$k=0.4,\ \ a/h=33,\ \ R=200,\ \ a=80,\ \ h=2.4242,$$

$$\psi=0.53\times 10^{-3},$$

что соответствует давлению $P=37.06$. Значение P_*, полученное решением задачи оптимизации (21), равно

$$P_*=164.39.$$

При этом отношение

$$P_*/P=4.4357.$$

Наконец, при

$$k=0.2,\ \ a/h=62.5,\ \ R=400,\ \ a=80,\ \ h=1.28$$

$$\psi=0.3\times 10^{-3},$$

$$P_*=32.26,\ \ P=11.07,\ \ P_*/P=2.91.$$

Таким образом, критическое давление, полученное в результате анализа вариационной задачи, от трех до пяти раз превышает экспериментальные значения. Однако при сравнительном анализе рисунков в [8] на стр. 677 можно сделать вывод, что закритическая деформация не является осесимметричной, то есть зависит от угла λ в плоскости параллельного круга. Задача об устойчивости тороидальной оболочки также рассматривалась в работе [9].

Устойчивость сферической оболочки при одностороннем подкреплении

Обозначим через $w(\theta)$ и $u(\theta)$ нормальное и касательное перемещения точек оболочки. Декартовы координаты точек сферы будут определяться уравнениями

$$\begin{cases} x=\varphi(\theta)=(R+w)\sin\theta-u\cos\theta,\\ z=\psi(\theta)=(R+w)\cos\theta+u\sin\theta. \end{cases} \qquad (25)$$

Используя формулы (3), (4), (7), (10), (25), можно получить нелинейные выражения для деформаций ε_1, ε_2 и кривизн κ_1, κ_2 [2]

$$\begin{cases} \varepsilon_1=\dfrac{1}{R}\left(2w-2u'\right)+\\ +\dfrac{1}{R^2}\left(w^2+u^2+2w'u+w'^2-2u'w+u'^2\right),\\ \varepsilon_2=\dfrac{1}{R}\left(2w-2u\operatorname{ctg}\theta\right)+\\ +\dfrac{1}{R^2}\left(w^2-2wu\operatorname{ctg}\theta+u^2\operatorname{ctg}^2\theta\right),\\ \kappa_1=\dfrac{1}{R}+\dfrac{1}{RK}\left(3u'+w''-R-2w\right)+\\ +\dfrac{1}{R^2K}\left(3wu'-u^2-w^2-3uw'+u''u-2w'^2\right)+\\ +\dfrac{1}{R^2K}\left(u''w'-2u'^2+w''w'-w''u'\right),\\ \kappa_2=\dfrac{1}{RK}\left(2w-u'+R-2u\operatorname{ctg}\theta-w'\operatorname{ctg}\theta\right)+\\ +\dfrac{1}{R^2K}\left(w^2-wu'+uu'\operatorname{ctg}\theta-2wu\operatorname{ctg}\theta\right)+\\ +\dfrac{1}{R^2K}\left(uw'\operatorname{ctg}^2\theta+u^2\operatorname{ctg}^2\theta-ww'\operatorname{ctg}\theta\right). \end{cases}$$

В выше приведенных формулах введено обозначение

$$K=(R^2+2Rw+w^2+u^2-2Ru'-2wu'+2uw'+w'^2+u'^2)^{1/2}.$$

Для вычисления работы внешних сил применим формулы (12), (13). Объем оболочки после деформации вычисляется по формуле [3]:

$$\tilde{V} = \frac{\pi}{3}\int_0^{\pi} \Phi_2\left(\theta, w, u, w^{'}, u'\right) d\theta,$$

где

$$\Phi_2\left(\theta, w, u, w^{'}, u'\right) = w^3\sin\theta + w^2\left(3R - u^{'}\right)\sin\theta +$$

$$+w\left(uw^{'} - 2Ru^{'} + u^2 + 3R^2\right)\sin\theta + R\left(u^2 + uw^{'}\right)\sin\theta +$$

$$+R^3\sin\theta + \left(wuu^{'} - w^2u - 2Rwu - u^2w^{'} - u^3 + Ruu^{'}\right)\cos\theta.$$

В устойчивом положении равновесия полная энергия принимает минимальное значение. Таким образом, приходим к вариационной задаче

$$J = \int_0^{\pi} \tilde{F}\left(\theta, w, u, w^{'}, u^{'}, w^{''}\right) d\theta \to \min_{w,u},$$

где $\tilde{F} = \Phi_1 - P\Phi_2$. Ниже приведен график зависимости максимального перемещения y_{max} сферической оболочки от внешнего нормального давления $\tilde{P}$ при $R = 80$, $h = 1.28$.

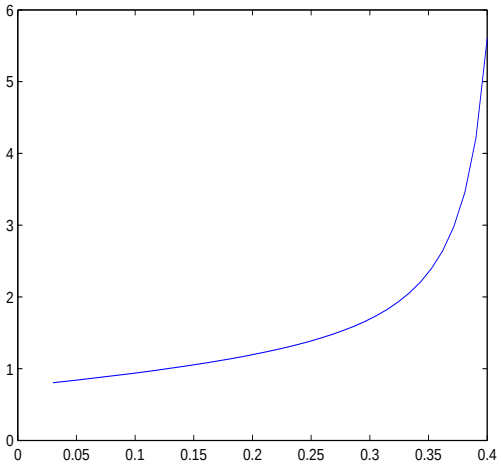


Рис. 2. Зависимость максимального перемещения сферической оболочки от внешнего нормального давления.

Из графика можно сделать вывод, что $\tilde{P}_{\text{кр}} = 0.35$, это соответствует при $E = 2.05\times10^6$ и $\nu = 0.3$ критическому значению $P_{\text{кр}} = 137.79$кг/см^2. Теоретическая формула для верхнего критического давления, полученная на основании упрощенной теории тонких пологих оболочек [8], дает значение

$$q_{\text{в}} = 1.21E(h/R)^2 = 635.008.$$

Заметим, что там же в [8] на стр.666 указано, что для отношения $h/R \leqslant 250$ критическое давление следует вычислять по формуле

$$q = 0.3E(h/R)^2.$$

Используя эту формулу, получаем $q = 155.44$, что дает достаточно хорошее совпадение с ранее полученным результатом $P_{\text{кр}} = 137.79$.

Литература

1. *Погорелов А.В.* Геометрическая теория устойчивости оболочек. М.: Наука, 1966. 296 с.
2. *Андрюкова В.Ю.* Некоторые задачи устойчивости упругих систем с односторонними ограничениями на перемещения // Вычислительная механика сплошных сред. 2014. Т. 7, №4. С. 412–422.
3. *Тарасов В.Н.* Об устойчивости упругих систем при односторонних ограничениях на перемещения // Труды ИММ УрО РАН. 2005. Т. 11, № 1. С. 177–188.
4. *Погорелов А.В.* Дифференциальная геометрия. М.: Наука, 1974. 176 с.
5. *Фихтенгольц Г.М.* Курс дифференциального и интегрального исчисления. М.: Гос. изд. физ.-мат. литературы, 1962. Т. 3. 656 с.
6. *Завьялов Ю.С., Квасов Б.И., Мирошниченко В.Л.* Методы сплайн-функций. М.: Наука, 1980. 352 с.
7. *Пшеничный Б.Н., Данилин Ю.М.* Численные методы в экстремальных задачах. М.: Наука, 1975. 284 с.
8. *Вольмир А.С.* Устойчивость деформируемых систем. М.: Наука, 1967. 984 с.
9. *Григолюк Э.И., Шалашилин В.И.* Проблемы нелинейного деформирования: Метод продолжения решения по параметру в нелинейных задачах механики твердого деформируемого тела. М.: Наука, 1988. 235 с.

References

1. *Pogorelov A.V.* Geometricheskaya teoriya ustoychivosti obolochek. [Geometric theory of stability of shells]. Moscow: Nauka, 1966. 296 p.
2. *Andryukova V.Yu.* Nekotorye zadachi ustoychivosti uprugikh sistem s odnostoronnimi ogranicheniyami na peremeshcheniya [Some structurally nonlinear problems of stability of elastic systems under one-sided movement restrictions] // Vychislitel'naya mekhanika sploshnykh sred. 2014. Vol. 7, № 4. P. 412–422.
3. *Tarasov V.N.* Ob ustoychivosti uprugikh sistem pri odnostoronnikh ogranicheniyakh na peremeshcheniya [Stability of elastic systems with unilateral constraints on displacements] // Trudy IMM UrO RAN [Proc. of IMM UrB RAS]. 2005. Vol. 11, № 1. P. 177–188.
4. *Pogorelov A.V.* Differentsial'naya geometriya [Differential geometry]. Noordhoff, 1960. 172 p.
5. *Fikhtengol'ts G.M.* Kurs differentsial'nogo i integral'nogo ischisleniya [Course of differential and integral calculus]. Moscow: Gosudarstvennoe izdatelstvo fiziko–matematicheskoy literaturyi [State Publishing House of Physical-Mathematical literature]. 1962. Vol. 3. 656 p.
6. *Zav'yalov Yu.S., Kvasov B.I., Miroshnichenko V.L.* Metody splayn-funktsiy. [Methods of spline functions]. Moscow: Nauka, 1980. 352 p.

7. *Pshenichnyy B.N., Danilin Yu.M.* Chislennye metody v ekstremal'nykh zadachakh [Numerical methods in extreme challenges]. Moscow: Nauka, 1975. 284 p.
8. *Vol'mir A.S.* Ustoychivost' deformiruemykh sistem [Stability of Deformable Systems]. Moscow: Nauka, 1967. 984 p.
9. *Grigolyuk E.I., Shalashilin V.I.* Problemy nelineynogo deformirovaniya: Metod prodolzheniya resheniya po parametru v nelineynykh zadachakh mekhaniki tverdogo deformiruemogo tela [Problems of nonlinear deformation: continuation method on parameter in nonlinear problems of mechanics of deformable bodies]. Moscow: Nauka, 1988. 235 p.

Статья поступила в редакцию 09.11.2015.

УДК 517.977 + 62-50

REMARK ON CONTINUED FRACTIONS, MOBIUS TRANSFORMATIONS AND CYCLES

V.V. KISIL

School of Mathematics, University of Leeds, Leeds, UK
kisilv@maths.leeds.ac.uk

We review interrelations between continued fractions, Möbius transformations and representations of cycles by 2×2 matrices. This leads us to several descriptions of continued fractions through chains of orthogonal or touching horocycles. One of these descriptions was proposed in a recent paper by A. Beardon and I. Short. The approach is extended to several dimensions in a way which is compatible to the early propositions of A. Beardon based on Clifford algebras.

Keywords: **continued fractions, Mobius transformations, cycles, Clifford algebra**

В.В. КИСИЛЬ. ЗАМЕЧАНИЕ О НЕПРЕРЫВНЫХ ДРОБЯХ, ПРЕОБРАЗОВАНИЯХ МЕБИУСА И ЦИКЛАХ

Рассмотрена взаимосвязь непрерывных дробей, преобразований Мебиуса и представлений циклов матрицами 2×2. В результате получено описание непрерывных дробей посредством цепей ортогональных или касательных орициклов. Одно из этих описаний было недавно предложено в статье A. Beardon и I. Short. Изложенный подход обобщается на высшие размерности способом, который согласуется с более ранним методом A. Beardon, основанным на алгебрах Клиффорда.

Ключевые слова: **непрерывные дроби, преобразования Мебиуса, циклы, алгебра Клиффорда**

Introduction

Continued fractions remain an important and attractive topic of current research [1−3], [4], § E.3. A fruitful and geometrically appealing method considers a continued fraction as an (infinite) product of linear-fractional transformations from the Möbius group. see Sec. 1. of this paper for an overview, papers [5−8], [9], Ex. 10.2 and in particular [10] contain further references and historical notes. Partial products of linear-fractional maps form a sequence in the Möbius group, the corresponding sequence of transformations can be viewed as a discrete dynamical system [10, 11]. Many important questions on continued fractions, e.g. their convergence, can be stated in terms of asymptotic behaviour of the associated dynamical system. Geometrical generalisations of continued fractions to many dimensions were introduced recently as well [3, 12].

Any consideration of the Möbius group introduces cycles − the Möbius invariant set of all circles and straight lines. Furthermore, an efficient treatment cycles and Möbius transformations are realised through certain 2×2 matrices, which we will review in Sec. 2., see also [9], [13], § 4.1, [14], [4], § 4.2, [15, 16]. Linking the above relations we may propose the main thesis of the present note:

Claim 1 (Continued fractions and cycles). Properties of continued fractions may be illustrated and demonstrated using related cycles, in particular, in the form of respective 2×2 matrices.

One may expect that such an observation has been made a while ago, e.g. in the book [9], where both topics were studied. However, this seems did not happen for some reasons. It is only the recent paper [17], which pioneered a connection between continued fractions and cycles. We hope that the explicit statement of the claim will stimulate its further fruitful implementations. In particular, Sec. 3. reveals all three possible cycle arrangements similar to one used in [17]. Secs. 4.−5. show that relations between continued fractions and cycles can be used in the multidimensional case as well.

As an illustration, we draw on Fig. 1 chains of tangent horocycles (circles tangent to the real line, see [17] and Sec. 3.) for two classical simple continued fractions:

$$e = 2 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{2 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{1 + \dots}}}},$$

$$\pi = 3 + \cfrac{1}{7 + \cfrac{1}{15 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{292 + \dots}}}}.$$

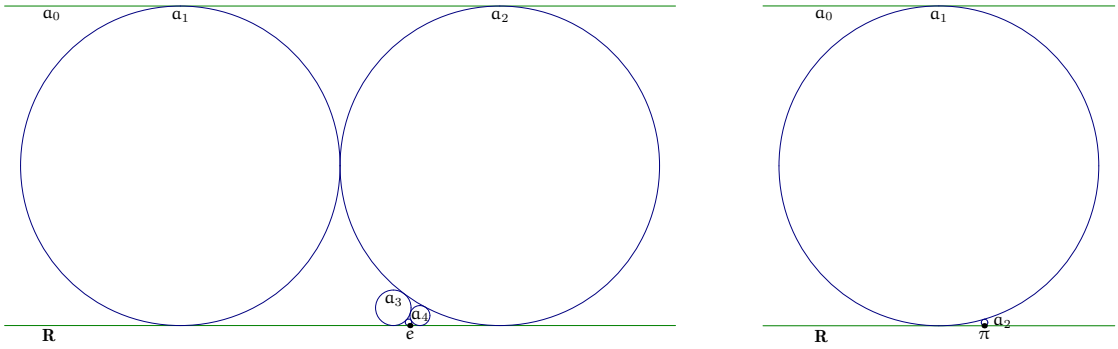


Fig. 1. Continued fractions for e and π visualised. The convergence rate for π is pictorially faster.

One can immediately see, that the convergence for π is much faster: already the third horocycle is too small to be visible even if it is drawn. This is related to larger coefficients in the continued fraction for π.

Paper [17] also presents examples of proofs based on chains of horocycles. This intriguing construction was introduced in [17] *ad hoc*. Guided by the above claim we reveal sources of this and other similar arrangements of horocycles. Also, we can produce multi-dimensional variant of the framework.

1. Continued Fractions

We use the following compact notation for a continued fraction:

$$K(a_n|b_n) = \cfrac{a_1}{b_1 + \cfrac{a_2}{b_2 + \cfrac{a_3}{b_3 + \dots}}} = \frac{a_1}{b_1} + \frac{a_2}{b_2} + \frac{a_3}{b_3} + \dots . \tag{1}$$

Without loss of generality we can assume $a_j \neq 0$ for all j. The important particular case of *simple* continued fractions, with $a_n = 1$ for all n, is denoted by $K(b_n) = K(1|b_n)$. Any continued fraction can be transformed to an equivalent simple one.

It is easy to see, that continued fractions are related to the following linear-fractional (Möbius) transformation, cf. [5–8]:

$$S_n = s_1 \circ s_2 \circ \dots \circ s_n, \qquad \text{where} \quad s_j(z) = \frac{a_j}{b_j + z}. \tag{2}$$

These Möbius transformations are considered as bijective maps of the Riemann sphere $\dot{\mathbb{C}} = \mathbb{C} \cup \{\infty\}$ onto itself. If we associate the matrix $\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$ to a liner-fractional transformation $z \mapsto \frac{az+b}{cz+d}$, then the composition of two such transformations corresponds to multiplication of the respective matrices. Thus, relation (2) has the matrix form:

$$\begin{pmatrix} P_{n-1} & P_n \\ Q_{n-1} & Q_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & a_1 \\ 1 & b_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & a_2 \\ 1 & b_2 \end{pmatrix} \cdots \begin{pmatrix} 0 & a_n \\ 1 & b_n \end{pmatrix}. \tag{3}$$

The last identity can be fold into the recursive formula:

$$\begin{pmatrix} P_{n-1} & P_n \\ Q_{n-1} & Q_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_{n-2} & P_{n-1} \\ Q_{n-2} & Q_{n-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & a_n \\ 1 & b_n \end{pmatrix}. \tag{4}$$

This is equivalent to the main recurrence relation:

$$\begin{matrix} P_n = b_n P_{n-1} + a_n P_{n-2} \\ Q_n = b_n Q_{n-1} + a_n Q_{n-2} \end{matrix}, \qquad \begin{matrix} P_1 = a_1, & P_0 = 0, \\ Q_1 = b_1, & Q_0 = 1, \end{matrix} \tag{5}$$

for $n = 1, 2, 3, \dots$.

The meaning of entries P_n and Q_n from the matrix (3) is revealed as follows. Möbius transformation (2)−(3) maps 0 and ∞ to

$$\frac{P_n}{Q_n} = S_n(0), \qquad \frac{P_{n-1}}{Q_{n-1}} = S_n(\infty). \tag{6}$$

It is easy to see that $S_n(0)$ is the *partial quotient* of (1):

$$\frac{P_n}{Q_n} = \frac{a_1}{b_1} + \frac{a_2}{b_2} + \dots + \frac{a_n}{b_n}. \tag{7}$$

Properties of the sequence of partial quotients $\left\{\frac{P_n}{Q_n}\right\}$ in terms of sequences $\{a_n\}$ and $\{b_n\}$ are the core of the continued fraction theory. Equation (6) links partial quotients with the Möbius map (2). Circles form an invariant family under Möbius transformations, thus their appearance for continued fractions is natural. Surprisingly, this happened only recently in [17].

2. Möbius Transformations and Cycles

If $M = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$ is a matrix with real entries then for the purpose of the associated Möbius transformations $M : z \mapsto \frac{az+b}{cz+d}$ we may assume that $\det M = \pm 1$. The collection of all such matrices form a group. Möbius maps commute with the complex conjugation $z \mapsto \bar{z}$. If $\det M > 0$ then both the upper and the lower half-planes are preserved; if $\det M < 0$ then the two half-planes are swapped. Thus, we can treat M as the map of equivalence classes $z \sim \bar{z}$, which are labelled by respective points of the closed upper half-plane. Under this identification we consider any map produced by M with $\det M = \pm 1$ as the map of the closed upper-half plane to itself.

The characteristic property of Möbius maps is that circles and lines are transformed to circles and lines. We use the word cycles for elements of this Möbius-invariant family [15, 16, 18]. We abbreviate a cycle given by the equation

$$k(u^2 + v^2) - 2lv - 2nu + m = 0 \tag{8}$$

to the point (k,l,n,m) of the three dimensional projective space $P\mathbb{R}^3$. The equivalence relation $z \sim \bar{z}$ is lifted to the equivalence relation

$$(k,l,n,m) \sim (k,l,-n,m) \tag{9}$$

in the space of cycles, which again is compatible with the Möbius transformations acting on cycles.

The most efficient connection between cycles and Möbius transformations is realised through the construction, which may be traced back to [9] and was subsequently rediscovered by various authors [13], § 4.1, [14], [4], § 4.2, see also [15, 16]. The construction associates a cycle (k,l,n,m) with the 2×2 matrix $C = \begin{pmatrix} l+\mathrm{i}n & -m \\ k & -l+\mathrm{i}n \end{pmatrix}$, see discussion in [16], § 4.4 for a justification. This identification is Möbius covariant: the Möbius transformation defined by $M = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$ maps a cycle with matrix C to the cycle with matrix MCM^{-1}. Therefore, any Möbius-invariant relation between cycles can be expressed in terms of corresponding matrices. The central role is played by the Möbius-invariant inner product [16], § 5.3:

$$\left\langle C, \tilde{C} \right\rangle = \Re\, tr(C\overline{\tilde{C}}), \tag{10}$$

which is a cousin of the product used in GNS construction of C^*-algebras. Notably, the relation:

$$\left\langle C, \tilde{C} \right\rangle = 0 \quad \text{or} \quad k\tilde{m} + m\tilde{k} - 2n\tilde{n} - 2l\tilde{l} = 0, \tag{11}$$

describes two cycles $C = (k,l,m,n)$ and $\tilde{C} = (\tilde{k},\tilde{l},\tilde{m},\tilde{n})$ orthogonal in Euclidean geometry. Also, the inner product (10) expresses the Descartes-Kirillov condition [4], Lem. 4.1(c), [16], Ex. 5.26 of C and $\tilde{C}$ to be externally tangent:

$$\left\langle C+\tilde{C}, C+\tilde{C} \right\rangle = 0 \quad \text{or}$$

$$(l+\tilde{l})^2 + (n+\tilde{n})^2 - (m+\tilde{m})(k+\tilde{k}) = 0, \tag{12}$$

where the representing vectors $C = (k,l,n,m)$ and $\tilde{C} = (\tilde{k},\tilde{l},\tilde{m},\tilde{n})$ from $P\mathbb{R}^3$ need to be normalised by the conditions $\langle C, C\rangle = 1$ and $\left\langle \tilde{C}, \tilde{C} \right\rangle = 1$.

3. Continued Fractions and Cycles

Let $M = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$ be a matrix with real entries and the determinant $\det M$ equal to ± 1, we denote this by $\delta = \det M$. As mentioned in the previous section, to calculate the image of a cycle C under Möbius transformations M we can use matrix similarity MCM^{-1}. If $M = \begin{pmatrix} P_{n-1} & P_n \\ Q_{n-1} & Q_n \end{pmatrix}$ is the matrix (3) associated to a continued fraction and we are interested in the partial fractions $\frac{P_n}{Q_n}$, it is natural to ask:

Which cycles C have transformations MCM^{-1} depending on the first (or on the second) columns of M only?

It is a straightforward calculation with matrices[1] to check the following statements:

Lemma 1. *The cycles $(0,0,1,m)$ (the horizontal lines $v = m$) are the only cycles, such that their images under the Möbius transformation $\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$ are independent from the column $\begin{pmatrix} b \\ d \end{pmatrix}$. The image associated to the column $\begin{pmatrix} a \\ c \end{pmatrix}$ is the horocycle $(c^2m, acm, \delta, a^2m)$, which touches the real line at $\frac{a}{c}$ and has the radius $\frac{1}{mc^2}$.*

In particular, for the matrix (4) the horocycle is touching the real line at the point $\frac{P_{n-1}}{Q_{n-1}} = S_n(\infty)$ (6).

Lemma 2. *The cycles $(k,0,1,0)$ (with the equation $k(u^2+v^2) - 2v = 0$) are the only cycles, such that their images under the Möbius transformation $\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$ are independent from the column $\begin{pmatrix} a \\ c \end{pmatrix}$. The image associated to the column $\begin{pmatrix} b \\ d \end{pmatrix}$ is the horocycle $(d^2k, bdk, \delta, b^2k)$, which touches the real line at $\frac{b}{d}$ and has the radius $\frac{1}{kd^2}$.*

In particular, for the matrix (4) the horocycle is touching the real line at the point $\frac{P_n}{Q_n} = S_n(0)$ (6). In view of these partial quotients the following cycles joining them are of interest.

Lemma 3. *A cycle $(0,1,n,0)$ (any non-horizontal line passing 0) is transformed by (2)−(3) to the cycle $(2Q_nQ_{n-1}, P_nQ_{n-1}+Q_nP_{n-1}, \delta n, 2P_nP_{n-1})$, which passes points $\frac{P_n}{Q_n} = S_n(0)$ and $\frac{P_{n-1}}{Q_{n-1}} = S(\infty)$ on the real line.*

The above three families contain cycles with specific relations to partial quotients through Möbius transformations. There is one degree of freedom in each family: m, k and n, respectively. We can use the parameters to create an ensemble of three cycles (one from each family) with some Möbius-invariant interconnections. Three most natural arrangements are illustrated by Fig. 2. The first row presents the initial selection of cycles, the second row − their images after a Möbius transformation (colours are preserved). The arrangements are as follows:

1. The left column shows the arrangement used in the paper [17]: two horocycles are tangent, the third cycle, which we call *connecting*, passes three points of pair-wise contact between horocycles and the real line. The connecting cycle is also orthogonal to horocycles and the real line. The arrangement corresponds to the following values $m = 2$, $k = 2$, $n = 0$. These parameters are uniquely defined by the above tangent and orthogonality conditions together with the requirement that the horocycles' radii agreeably depend from the consecutive partial quotients' denomina-

[1] This calculation can be done with the help of the tailored Computer Algebra System (CAS) as described in [16], App. B, [19].

tors: $\frac{1}{2Q_{n-1}^2}$ and $\frac{1}{2Q_n^2}$ respectively. This follows from the explicit formulae of image cycles calculated in Lemmas 1 and 2.

2. The central column of Fig. 2 presents two orthogonal horocycles and the connecting cycle orthogonal to them. The initial cycles have parameters $m = \sqrt{2}$, $k = \sqrt{2}$, $n = 0$. Again, these values follow from the geometric conditions and the alike dependence of radii from the partial quotients' denominators: $\frac{\sqrt{2}}{2Q_{n-1}^2}$ and $\frac{\sqrt{2}}{2Q_n^2}$.
3. Finally, the right column has the same two orthogonal horocycles, but the connecting cycle passes one of two horocycles' intersection points. Its mirror reflection in the real axis satisfying (9) (drawn in the dashed style) passes the second intersection point. This corresponds to the values $m = \sqrt{2}$, $k = \sqrt{2}$, $n = \pm 1$. The connecting cycle makes the angle 45° at the points of intersection with the real axis. It also has the radius $\frac{\sqrt{2}}{2}\left|\frac{P_n}{Q_n} - \frac{P_{n-1}}{Q_{n-1}}\right| = \frac{\sqrt{2}}{2}\frac{1}{|Q_n Q_{n-1}|}$ – the geometric mean of radii of two other cycles. This again repeats the relation between cycles' radii in the first case.

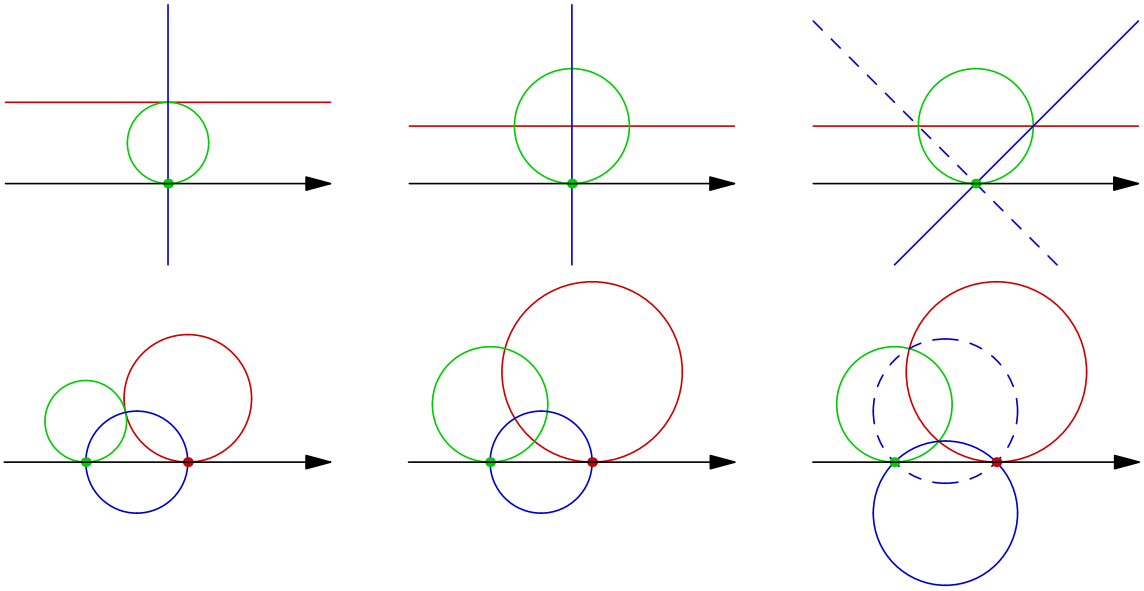


Fig. 2. Various arrangements for three cycles. The first row shows the initial position, the second row – after a Möbius transformation (colours are preserved). The left column shows the arrangement used in the paper [17]: two horocycles touching, the connecting cycle is passing their common point and is orthogonal to the real line. The central column presents two orthogonal horocycles and the connecting cycle orthogonal to them. The horocycles in the right column are again orthogonal but the connecting cycle passes one of their intersection points and makes 45° with the real axis.

Three configurations have fixed ratio $\sqrt{2}$ between respective horocycles' radii. Thus, they are equally suitable for the proofs based on the size of horocycles, e.g. [17], Thm. 4.1.

On the other hand, there is a tiny computational advantage in the case of orthogonal horocycles. Let we have the sequence p_j of partial fractions $p_j = \frac{P_j}{Q_j}$ and want to rebuild the corresponding chain of horocycles. A horocycle with the point of contact p_j has components $(1, p_j, n_j, p_j^2)$, thus only the value of n_j need to be calculated at every step. If we use the condition "to be tangent to the previous horocycle", then the quadratic relation (2.) shall be solved. Meanwhile, the orthogonality relation (11) is linear in n_j.

4. Multi-dimensional Möbius maps and cycles

It is natural to look for multidimensional generalisations of continued fractions. A geometric approach based on Möbius transformation and Clifford algebras was proposed in [12]. The Clifford algebra $\mathcal{C}\ell(n)$ is the associative unital algebra over $\mathbb{R}$ generated by the elements e_1,...,e_n satisfying the following relation:

$$e_i e_j + e_j e_i = -2\delta_{ij},$$

where δ_{ij} is the Kronecker delta. An element of $\mathcal{C}\ell(n)$ having the form $x = x_1 e_1 + \ldots + x_n e_n$ can be associated with vectors $(x_1, \ldots, x_n) \in \mathbb{R}^n$. The *reversion* $a \mapsto a^*$ in $\mathcal{C}\ell(n)$ [13], (1.19(ii)) is defined on vectors by $x^* = x$ and extended to other elements by the relation $(ab)^* = b^* a^*$. Similarly the *conjugation* is defined on vectors by $\bar{x} = -x$ and the relation $\overline{ab} = \bar{b}\bar{a}$. We also use the notation $|a|^2 = a\bar{a} \geq 0$ for any product a of vectors. An important observation is that any non-zero vectors x have a multiplicative inverse: $x^{-1} = \frac{\bar{x}}{|x|^2}$.

By Ahlfors [20] (see also [12], § 5, [13], Thm. 4.10) a matrix $M = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$ with Clifford entries defines a linear-fractional transformation of $\mathbb{R}^n$ if the following conditions are satisfied:

1. a, b, c and d are products of vectors in $\mathbb{R}^n$;

2. ab^*, cd^*, c^*a and d^*b are vectors in $\mathbb{R}^n$;
3. the pseudodeterminant $\delta := ad^* - bc^*$ is a non-zero real number.

Clearly we can scale the matrix to have the pseudodeterminant $\delta = \pm 1$ without an effect on the related linear-fractional transformation. Define, cf. [13], (4.7)

$$\bar{M} = \begin{pmatrix} d^* & -b^* \\ -c^* & a^* \end{pmatrix} \quad \text{and} \quad M^* = \begin{pmatrix} \bar{d} & \bar{b} \\ \bar{c} & \bar{a} \end{pmatrix}. \quad (13)$$

Then $M\bar{M} = \delta I$ and $\bar{M} = \kappa M^*$, where $\kappa = 1$ or -1 depending either d is a product of even or odd number of vectors.

To adopt the discussion from Section 2. to several dimensions we use vector rather than paravector formalism, see [13], (1.42) for a discussion. Namely, we consider vectors $x \in \mathbb{R}^{n+1}$ as elements $x = x_1e_1 + \ldots + x_ne_n + x_{n+1}e_{n+1}$ in $\mathcal{C}\ell(n+1)$. Therefore we can extend the Möbius transformation defined by $M = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$ with $a, b, c, d \in \mathcal{C}\ell(n)$ to act on $\mathbb{R}^{n+1}$. Again, such transformations commute with the reflection R in the hyperplane $x_{n+1} = 0$:

$$R: \quad x_1e_1 + \ldots + x_ne_n + x_{n+1}e_{n+1} \quad \mapsto$$

$$x_1e_1 + \ldots + x_ne_n - x_{n+1}e_{n+1}.$$

Thus we can consider the Möbius maps acting on the equivalence classes $x \sim R(x)$.

Spheres and hyperplanes in $\mathbb{R}^{n+1}$ – which we continue to call cycles – can be associated to 2×2 matrices [14], [13], (4.12):

$$k\bar{x}x - l\bar{x} - x\bar{l} + m = 0 \quad \leftrightarrow \quad C = \begin{pmatrix} l & m \\ k & \bar{l} \end{pmatrix}, \quad (14)$$

where $k, m \in \mathbb{R}$ and $l \in \mathbb{R}^{n+1}$. For brevity we also encode a cycle by its coefficients (k, l, m). A justification of (14) is provided by the identity:

$$\begin{pmatrix} 1 & \bar{x} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} l & m \\ k & \bar{l} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ 1 \end{pmatrix} = kx\bar{x} - l\bar{x} - x\bar{l} + m,$$

since $\bar{x} = -x$ for $x \in \mathbb{R}^n$. The identification is also Möbius-covariant in the sense that the transformation associated with the Ahlfors matrix M send a cycle C to the cycle MCM^* [13], (4.16). The equivalence $x \sim R(x)$ is extended to spheres:

$$\begin{pmatrix} l & m \\ k & \bar{l} \end{pmatrix} \quad \sim \quad \begin{pmatrix} R(l) & m \\ k & R(\bar{l}) \end{pmatrix}$$

since it is preserved by the Möbius transformations with coefficients from $\mathcal{C}\ell(n)$.

Similarly to (10) we define the Möbius-invariant inner product of cycles by the identity $\left\langle C, \tilde{C} \right\rangle = \Re tr(C\tilde{C})$, where $\Re$ denotes the scalar part of a Clifford number. The orthogonality condition $\left\langle C, \tilde{C} \right\rangle = 0$ means that the respective cycle is geometrically orthogonal in $\mathbb{R}^{n+1}$.

5. Continued fractions from Clifford algebras and horocycles

There is an association between the triangular matrices and the elementary Möbius maps of $\mathbb{R}^n$, cf. (2):

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & b \end{pmatrix} : \; x \; \mapsto \; (x + b)^{-1}, \quad (15)$$

where $x = x_1e_1 + \ldots + x_ne_n$, $b = b_1e_1 + \ldots b_ne_n$.

Similar to the real line case in Section 1., Beardon proposed [12] to consider the composition of a series of such transformations as multidimensional continued fraction, cf. (2). It can be again represented as the product (3) of the respective 2×2 matrices. Another construction of multidimensional continued fractions based on horocycles was hinted in [17]. We wish to clarify the connection between them. The bridge is provided by the respective modifications of Lem. 1–3.

Lemma 4. *The cycles $(0, e_{n+1}, m)$ (the "horizontal" hyperplane $x_{n+1} = m$) are the only cycles, such that their images under the Möbius transformation $\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$ are independent from the column $\begin{pmatrix} b \\ d \end{pmatrix}$. The image associated to the column $\begin{pmatrix} a \\ c \end{pmatrix}$ is the horocycle $(-m\,|c|^2, -ma\bar{c} + \delta e_{n+1}, m\,|a|^2)$, which touches the hyperplane $x_{n+1} = 0$ at $\frac{a\bar{c}}{|c|^2}$ and has the radius $\frac{1}{m|c|^2}$.*

Lemma 5. *The cycles $(k, e_{n+1}, 0)$ (with the equation $k(u^2 + v^2) - 2v = 0$) are the only cycles, such that their images under the Möbius transformation $\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$ are independent from the column $\begin{pmatrix} a \\ c \end{pmatrix}$. The image associated to the column $\begin{pmatrix} b \\ d \end{pmatrix}$ is the horocycle $(k\,|d|^2, kb\bar{d} + \delta e_{n+1}, -kb\bar{b})$, which touches the hyperplane $x_{n+1} = 0$ at $\frac{b\bar{d}}{|d|^2}$ and has the radius $\frac{1}{k|d|^2}$.*

The proof of the above lemmas are reduced to multiplications of respective matrices with Clifford entries.

Lemma 6. *A cycle $C = (0, l, 0)$, where $l = x + re_{n+1}$ and $0 \neq x \in \mathbb{R}^n$, $r \in \mathbb{R}$, that is any non-horizontal hyperplane passing the origin, is transformed into $MCM^* = (cx\bar{d} + d\bar{x}\bar{c}, ax\bar{d} + b\bar{x}\bar{c} + \delta re_{n+1}, ax\bar{b} + b\bar{x}\bar{a})$. This cycle passes points $\frac{a\bar{c}}{|c|^2}$ and $\frac{b\bar{d}}{|d|^2}$.*

If $x = \bar{c}d$, then the centre of

$$MCM^* =$$

$$= (2\,|c|^2\,|d|^2, a\bar{c}\,|d|^2 + b\bar{d}\,|c|^2, (a\bar{c})(d\bar{b}) + (b\bar{d})(c\bar{a}))$$

is $\frac{1}{2}(\frac{a\bar{c}}{|c|^2} + \frac{b\bar{d}}{|d|^2}) + \frac{\delta r}{2|c|^2|d|^2}e_{n+1}$, that is, the centre belongs to the two-dimensional plane passing the points $\frac{a\bar{c}}{|c|^2}$ and $\frac{b\bar{d}}{|d|^2}$ and orthogonal to the hyperplane $x_{n+1} = 0$.

Proof. We note that $e_{n+1}x = -xe_{n+1}$ for all $x \in \mathbb{R}^n$. Thus, for a product of vectors $d \in \mathcal{C}\ell(n)$ we have

$e_{n+1}\bar{d} = d^* e_{n+1}$. Then

$$ce_{n+1}\bar{d} + d\bar{e}_{n+1}\bar{c} = (cd^* - dc^*)e_{n+1} =$$

$$= (cd^* - (cd^*)^*)e_{n+1} = 0,$$

due to the Ahlfors condition 2. Similarly, $ae_{n+1}\bar{b} + b\bar{e}_{n+1}\bar{a} = 0$ and $ae_{n+1}\bar{d} + b\bar{e}_{n+1}\bar{c} = (ad^* - bc^*)e_{n+1} = \delta e_{n+1}$.

The image MCM^* of the cycle $C = (0, l, 0)$ is $(cl\bar{d} + d\bar{l}\bar{c}, al\bar{d} + b\bar{l}\bar{c}, al\bar{b} + b\bar{l}a)$. From the above calculations for $l = x + re_{n+1}$ it becomes $(cx\bar{d} + d\bar{x}\bar{c}, ax\bar{d} + b\bar{x}\bar{c} + \delta r e_{n+1}, ax\bar{b} + b\bar{x}\bar{a})$. The rest of statement is verified by the substitution. □

Thus, we have exactly the same freedom to choose representing horocycles as in Section 3.: make two consecutive horocycles either tangent or orthogonal. To visualise this, we may use the two-dimensional plane V passing the points of contacts of two consecutive horocycles and orthogonal to $x_{n+1} = 0$. It is natural to choose the connecting cycle (drawn in blue in Fig. 2) with the centre belonging to V, this eliminates excessive degrees of freedom. The corresponding parameters are described in the second part of Lem. 6. Then, the intersection of horocycles with V are the same as in Fig. 2.

Thus, the continued fraction with the partial quotients $\frac{P_n \bar{Q}_n}{|Q_n|^2} \in \mathbb{R}^n$ can be represented by the chain of tangent/orthogonal horocycles. The observation made at the end of Section 3. on computational advantage of orthogonal horocycles remains valid in multidimensional situation as well.

As a further alternative we may shift the focus from horocycles to the connecting cycle (drawn in blue in Fig. 2). The part of the space $\mathbb{R}^n$ encloses inside the connecting cycle is the image under the corresponding Möbius transformation of the half-space of $\mathbb{R}^n$ cut by the hyperplane $(0, l, 0)$ from Lem. 6. Assume a sequence of connecting cycles C_j satisfies the following two conditions, e.g. in Seidel-Stern-type theorem [17], Thm 4.1:

1. for any j, the cycle C_j is enclosed within the cycle C_{j-1};
2. the sequence of radii of C_j tends to zero.

Under the above assumption the sequence of partial fractions converges. Furthermore, if we use the connecting cycles in the third arrangement, that is generated by the cycle $(0, x + e_{n+1}, 0)$, where $\|x\| = 1$, $x \in \mathbb{R}^n$, then the above second condition can be replaced by following

(2′) the sequence of $x_{n+1}^{(j)}$ of $(n+1)$-th coordinates of the centres of the connecting cycles C_j tends to zero.

Thus, the sequence of connecting cycles is a useful tool to describe a continued fraction even without a relation to horocycles.

Summing up, we started from multidimensional continued fractions defined through the composition of Möbius transformations in Clifford algebras and associated to it the respective chain of horocycles. This establishes the equivalence of two approaches proposed in [12] and [17] respectively.

References

1. *Khrushchev S.* Orthogonal polynomials and continued fractions: from Euler's point of view. Encyclopedia of Mathematics and its Applications. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. Vol. 122.
2. *Borwein J., van der Poorten Alf, Shallit J., Zudilin W.* Neverending fractions. An introduction to continued fractions. Australian Mathematical Society Lecture Series. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. Vol. 23.
3. *Karpenkov O.* Geometry of continued fractions. Algorithms and Computation in Mathematics. Heidelberg: Springer, 2013. Vol. 26.
4. *Kirillov A. A.*. A tale of two fractals. New York: Springer, 2013.
5. *Paydon J. Findlay, Wall H. S.* The continued fraction as a sequence of linear transformations // Duke Math. J., 1942. Vol. 9. P. 360–372.
6. *Schwerdtfeger H.* Möbius transformations and continued fractions // Bull. Amer. Math. Soc., 1946. Vol. 52. P. 307–309.
7. *Piranian G., Thron W. J.* Convergence properties of sequences of linear fractional transformations // Michigan Math. J., 1957. Vol. 4. P. 129–135.
8. *Beardon A. F., Lorentzen L.* Continued fractions and restrained sequences of Möbius maps // Rocky Mountain J. Math., 2004. Vol. 34. No. 2. P. 441–446.
9. *Schwerdtfeger H.* Geometry of complex numbers: Circle geometry, Möbius transformation, non-Euclidean geometry. Dover Books on Advanced Mathematics. New York: Dover Publications Inc., 1979.
10. *Beardon A. F.* Continued fractions, discrete groups and complex dynamics // Comput. Methods Funct. Theory, 2001. Vol. 1. No. 2. P. 535–594.
11. *Magee M., Oh H., Winter D.* Expanding maps and continued fractions, 2014; arXiv: 1412.4284.
12. *Beardon A. F.* Continued fractions, Möbius transformations and Clifford algebras // Bull. London Math. Soc., 2003. Vol. 35. No. 3. P. 302–308; http://dx.doi.org/10.1112/S0024609302001807.
13. *Cnops J.* An introduction to Dirac operators on manifolds. Progress in Mathematical Physics. Boston MA: Birkhäuser Boston Inc., 2002. Vol. 24.
14. *Fillmore J. P., Springer A.* Möbius groups over general fields using Clifford algebras associated with spheres // Int. J. Theor. Phys., 1990. Vol. 29. No. 3. P. 225–246.
15. *Kisil V. V.* Erlangen program at large-0: Starting with the group $\mathrm{SL}_2(\mathbf{R})$ // Notices Amer. Math. Soc., 2007. Vol. 54. No. 11. P. 1458–1465; arXiv:0607387.
16. *Kisil V. V.* Geometry of Möbius transformations: Elliptic, parabolic and hyperbolic actions of $\mathrm{SL}_2(\mathbf{R})$. London: Imperial College Press, 2012.
17. *Beardon Alan F., Short I.* A geometric repre-

sentation of continued fractions // Amer. Math. Monthly, 2014. Vol. 121. No. 5. P. 391–402.
18. *Yaglom I. M.* A simple non-Euclidean geometry and its physical basis. Heidelberg Science Library. New York: Springer-Verlag, 1979.
19. *Kisil V. V.* Schwerdtfeger-Fillmore-Springer-Cnops construction implemented in GiNaC // Adv. Appl. Clifford Algebr., 2007. Vol. 17. No. 1. P. 59–70.
20. *Ahlfors L. V.* Möbius transformations in $\mathbb{R}^n$ expressed through 2×2 matrices of Clifford numbers // Complex Variables Theory Appl., 1986. Vol. 5. No. 2. P. 215–224.

Статья поступила в редакцию 05.09.2015.

Известия Коми научного центра УрО РАН
№ 1(25). Сыктывкар, 2016.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 547.912.4.678

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СОЗДАНИЯ НОВЫХ ГИБРИДНЫХ ЭПОКСИПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ С ПОВЫШЕННЫМИ ПРОЧНОСТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

П.А. СИТНИКОВ, Ю.И. РЯБКОВ, А.Г. БЕЛЫХ, И.Н. ВАСЕНЕВА, А.В. КУЧИН

Институт химии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
sitnikov-pa@chemi.komisc.ru, ryabkov-yi@chemi.komisc.ru

Методом pK-спектроскопии исследованы кислотно-основные свойства поверхности оксидов алюминия, железа, кремния. Изучены физико-химические закономерности реакций между эпоксидными олигомерами и модифицирующими наполнителями. Отмечена наивысшая реакционная способность γ-Al_2O_3 и γ-AlO(OH) за счет наличия наиболее активных поверхностных групп с $pK_1 \approx 4$. Дано обоснование повышения прочностных характеристик гибридных эпоксиполимерных нанокомпозитов.

Ключевые слова: **кислотно-основные свойства; оксиды алюминия, железа, кремния; наномодификаторы; эпоксидные полимеры, композиты**

P.A. SITNIKOV, YU.I. RYABKOV, A.G. BELYKH, I.N. VASENEVA, A.V. KUCHIN. **PHYSICAL AND CHEMICAL REGULARITIES OF CREATING NEW HYBRID EPOXY POLYMER NANOCOMPOSITES WITH INCREASED STRENGTH CHARACTERISTICS**

By the method of pK-spectroscopy the acid-base properties of the surface of oxides of aluminium, iron, silicon are investigated. Physical and chemical regularities of the reactions between epoxy oligomers and modified fillers are studied. Higher reactivity of γ-Al_2O_3 and γ-AlO(OH) is observed due to the presence of the most active surface groups with $pK_1 \approx 4$. Substantiation for increasing the strength characteristics of hybrid epoxy polymer nanocomposites is given.

Keywords: **acid-base properties; oxides of aluminium, iron, silica; epoxy resins, nanocomposites**

В настоящий момент для новых инфраструктурных проектов, например, морских объектов в Арктике, требуются новые материалы и технологии производства изделий. Эксплуатация ледовых платформ, конструкционных элементов трубопроводов и других изделий в экстремальных природно-климатических условиях, жесткие требования по безопасности и необходимость выдерживать максимальные ледовые нагрузки остро ставят вопрос о постоянном совершенствовании применяемых при их изготовлении и эксплуатации материалов. Композиты на основе эпоксидных олигомеров успешно используются на ледостойких платформах в качестве защитных оболочек металлических конструкций, а также при изготовлении райзерных узлов и компонентов трубопроводов из стеклопластика [1].

На основе эпоксидов активные наполнители способны существенно менять эксплуатационные характеристики полимерных материалов (механическую прочность, тепло- и термостойкость, электропроводность) за счет образования межфазного адсорбционного слоя на границе раздела полимер–наполнитель [2–6]. К сожалению, единого подхода, который позволял бы оценивать взаимодействия на межфазной границе, прогнозировать и регулировать такие взаимодействия, а значит, направленно совершенствовать качество материалов и эффективность технологий производства изделий, до сих пор не разработано.

Анализ литературных данных позволяет утверждать, что систематические исследования по изучению влияния поверхностных реакционных центров (гидроксильные группы, координационно-ненасыщенные центры и пр.) дисперсных частиц модифицирующего наполнителя на адгезионную способность, физико-механические характеристики полимерной матрицы до настоящего времени не осуществлены, несмотря на то, что даже незначительное варьирование химического состава поверхности вызывает значительное изменение адсорбционной способности [7]. Поэтому предметом исследования авторов является разработка мето-

дов направленной модификации поверхности наполнителей с использованием современных методов их синтеза, эффективных способов контроля параметров межфазного взаимодействия, выявление физико-химических закономерностей при получении полимерного композиционного материала. Оксиды металлов нашли широкое применение в качестве наполнителей термо- и реактопластов. В представленной работе изучены оксид кремния (аэросил), а также различные модификации оксидов алюминия (γ-AlO(OH), γ-Al_2O_3, α-Al_2O_3) и железа (γ-FeO(OH), γ-Fe_2O_3, α-Fe_2O_3), химия поверхности которых хорошо изучена [8–10]. Непосредственной целью работы является исследование влияния кислотно-основных свойств поверхности оксидов на физико-химические процессы, протекающие при их введении в эпоксидные соединения.

Методика исследования

В работе использовался оксид алюминия, полученный методом осаждения из насыщенного раствора нитрата алюминия (ЧДА) водным раствором гидроксида аммония (ω=23 %, ХЧ). Добавление осадителя проводили до pH 7,5. Для получения различных полиморфных модификаций оксида алюминия синтезированный гидроксид алюминия прокаливали при температурах 300 (γ-AlO(OH)), 650 (γ-Al_2O_3), 1200°C (α-Al_2O_3) в течение 1 час, со скоростью нагрева 60°C/час.

Производные гидроксида железа ситезировали золь-гель способом из хлорида железа (III) (ХЧ). Полученные дисперсные системы были охарактеризованы по ряду параметров, таких как: значение pH (1,42 ± 0,02), средний размер частиц (9,3 ± 0,3 нм), содержание дисперсной фазы (0,52 ± 0,05 %), электрокинетический потенциал (+27,3 ± 2,17 мВ). Оксид кремния получен разложением паров хлорида кремния (ХЧ) в атмосфере водяного пара при температуре 1000 °C.

Кислотно-основные свойства оксидов изучали методом pK-спектроскопии. Для анализа проводился отбор образцов суспензий с размером частиц 1–2 мкм. Перед титрованием аликвот суспензий pH доводили до 2–3, и в этих условиях выдерживались в течение 1 сут. Ионную силу в процессе титрования поддерживали равной 0.1 моль/л. Титрование осуществлялось в термостатируемых (±0.2°C) полипропиленовых стаканах в токе аргона. Обычно проводили два параллельных титрования, на основании которых рассчитывали погрешность кривой титрования, учитываемую в дальнейшем при расчете pK-спектров.

Кислотно-основные свойства изучаемого материала удобно охарактеризовать с помощью метода pK-спектроскопии [11, 12]. По оси ординат pK-спектра откладывается доля кислотно-основных центров с соответствующим pK (либо удельное содержание таких центров q, ммоль/г), в зависимости от pK. Расчет pK-спектров проводится по кривым титрования:

$$\Gamma_{\text{H}}(\text{pH}) = n_b(pH) + n_H^0 = \frac{c_{\text{HA}}V_0 - c_{\text{BOH}}V - [\text{H}^+]\cdot(V_0+V)}{m} + n_H^0$$

В этой формуле: n_H^0 – количество ионов водорода (ммоль/г), адсорбированных на частицах суспензии в начальной точке титрования pH_0, $n_b(pH)$ – количество ионов водорода (ммоль/г), адсорбированных на частицах суспензии в ходе титрования до текущей величины pH, V_0 – объем суспензии, C_{HA} – концентрация одноосновной сильной кислоты в ней, V – объем добавленной щелочи с концентрацией C_{BOH}, m – масса твердой фазы суспензии в образце.

Кислотно-основные свойства оксидных материалов были интерпретированы на основе 2pK-модели [13]. Исследование процессов, протекающих при термическом воздействии на исследуемые системы, осуществлялось с помощью дифференциального сканирующего калориметра Shimadzu DSC-60 (скорость подъема температуры 2 °C/мин в воздушной атмосфере). ИК-спектры модельных систем на основе фенилглицидилового эфира и оксидов снимали после их предварительной изотермической выдержки при 90 °C в течение 1 ч при помощи спектрометра IR Prestige 21, в тонком слое, между окошками KBr.

В качестве модельного эпоксисодержащего соединения выбран фенилглицидиловый эфир (ТУ 6-08-3321-73, содержание эпоксидных групп 26%). Наличие в его структуре единственного типа функциональных групп упрощает исследование взаимодействия поверхности наполнителя с эпоксидным олигомером.

Результаты и обсуждение

Типичные зависимости n_b (pH), рассчитанные из кривых прямого и обратного потенциометрического титрования суспензии (на примере γ-Al_2O_3), показаны на рис. 1. Из него видно, что последовательно выполненные прямые и обратные титрования дают идентичные результаты, значит, процессы, протекающие при титровании, обратимы.

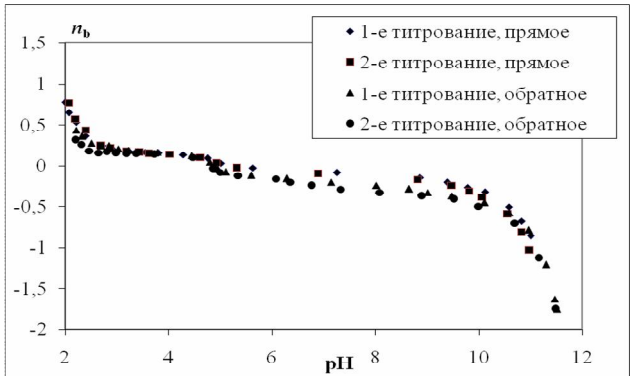


Рис.1. Адсорбция ионов водорода на поверхности Al_2O_3 как функция pH.

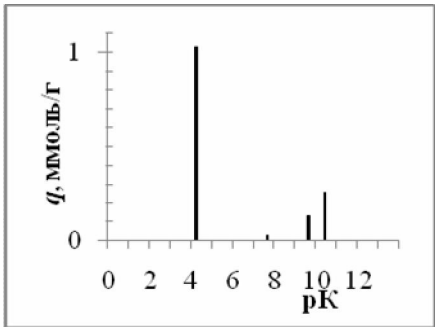
На рис. 2 представлены рК-спектры модификаций оксида алюминия. В соответствии моделью 2рК [10] пики спектров можно отнести к следующим равновесиям:

$–Al–OH_2^+ \rightleftarrows –Al–OH + H^+$ ($pK_1 \approx 4$)

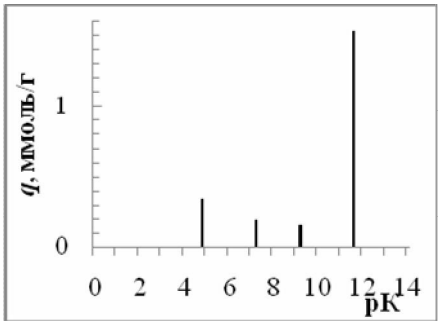
$–Al–OH \rightleftarrows –Al–O^- + H^+$ ($pK_2 \approx 10$-12)

$–Al–OH_2^+ Cl^- \rightleftarrows –Al–OH+H^+ + Cl^-$ ($pK_3 \approx 7$-8)

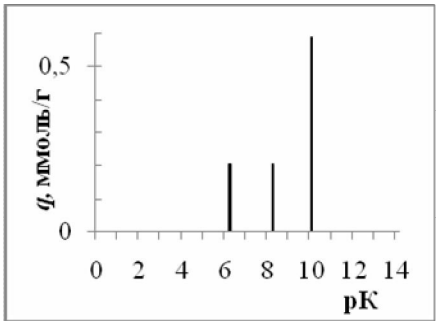
$–Al–OH + Na^+ \rightleftarrows –Al–O^-Na^+ + H^+$ ($pK_4 \approx 8$-10) .



а)



б)



в)

Рис. 2 рК-спектры γ-AlO(OH) (*а*), γ-Al_2O_3 (*б*), α-Al_2O_3 (*в*).

Величина pK_1 в ряду γ-AlO(OH) – γ-Al_2O_3 – α-Al_2O_3 заметно уменьшается вплоть до полного ее исчезновения у корунда, а равновесие, соответствующее pK_2, практически не зависит от модификации оксида алюминия.

В случае с производными гидроксида железа (III), с увеличением температуры прокаливания происходит удаление воды с образованием в конечном счете поверхностных кислотно-основных центров, поведение которых описывается уравнением: $–Fe–OH \rightleftarrows –Fe–O^- + H^+$ ($pK_2 \approx 11$).

При анализе кислотно-основных свойств SiO_2 обычно принимается, что заряд его поверхности изменяется за счет диссоциации поверхностных силанольных групп в соответствии с реакциями:

$–Si–OH_2^+ \rightleftarrows –Si–OH + H^+$ ($pK_1 \approx 6$)

$–Si–OH \rightleftarrows –Si–O^- + H^+$ ($pK_2 \approx 10$).

Известно, что ионы фонового электролита образуют с поверхностными гидроксильными группами оксида кремния комплексы. Весьма вероятно, что между этими слабо сорбирующимися ионами и поверхностью расположен, как минимум, один слой молекул воды, который отделяет эти ионы от атомов кислорода или кремния на поверхности, т.е. они образуют ионные пары или внешнесферные комплексы [14]. Поэтому для описания протолитических свойств оксида кремния, кроме реакции диссоциации, необходимо учитывать реакцию образования внешнесферных комплексов с катионами электролита:

$–Si–OH + Na^+ \rightleftarrows –Si–O^-Na^+ + H^+$ ($pK_4 \approx 9$-10).

Методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) исследованы физико-химические процессы, протекающие при добавлении к фенилглицидиловому эфиру (ФГЭ) порошков оксидов. На основании данных ДСК представлены параметры взаимодействия в модельных системах Al_2O_3–ФГЭ (см. таблицу).

Температурные параметры и тепловой эффект процесса взаимодействия в модельных системах ФГЭ – γ-AlO(OH) и ФГЭ – γ-Al_2O_3

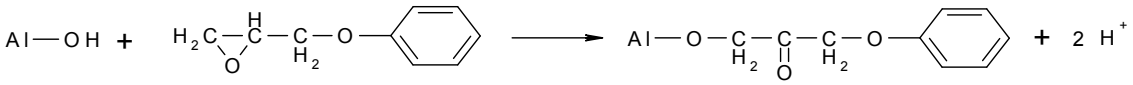
	T_{start}, °C	T_{max}, °C	T_{end}, °C	Q, Дж/г
γ-AlO(OH)	80	105	125	8.6
γ-Al_2O_3	76	105	125	6.2

В случае γ-AlO(OH) и γ-Al_2O_3 имеется экзотермический пик химического взаимодействия эпоксидных групп с поверхностными кислотно-основными центрами, а у α-Al_2O_3 такого пика не наблюдается. Для оксидов железа и кремния на кривых ДСК, как и в случае α-Al_2O_3, процессы химического взаимодействия эпоксидных групп с активными центрами поверхности наполнителя не обнаруживаются.

Так как константы равновесия K_1 и K_2 характеризуют силу кислотно-основных центров, наличие на рК-спектре линии с pK_1 около 4 для γ-AlO(OH) и γ-Al_2O_3 свидетельствует о более высокой их реакционной способности по сравнению с остальными изученными оксидами.

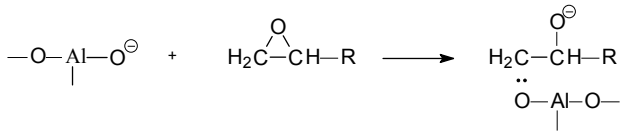
Это подтверждается также данными ИК-спектроскопии (IR Prestige 21). При нагревании смеси ФГЭ–γ-AlO(OH) (90°C, 1 час) интенсивность полос поглощения, соответствующих колебаниям эпоксидных групп (750–950 $см^{-1}$), заметно снижается, что свидетельствует об исчезновении эпоксидных циклов и полимеризации фенилглицидилового эфира на поверхности оксида алюминия.

Появление полосы поглощения в области 1650–1600 $см^{-1}$, отвечающей валентному колебанию связи C=O, сопряженной с атомом кислорода, позволяет предположить, что раскрытие эпоксидного цикла происходит по схеме:



где Al – атом алюминия на поверхности наполнителя.

При нагревании системы ФГЭ–γ-Al_2O_3 заметно уменьшается интенсивность полос поглощения эпоксидных групп. Кроме того, в интервале 1150–1060 $см^{-1}$ появляются полосы поглощения, отвечающие алифатическим простым эфирным связям –С–О–С–. Эти изменения спектров указывают на то, что при нагревании системы происходит гомополимеризация фенилглицидилового эфира с образованием простого полиэфира, а активные центры на поверхности оксида алюминия выступают как инициаторы полимеризации:



Кроме указанных взаимодействий, в ИК-спектрах проявляются поверхностные гидроксильные группы, аналогично имеющимся в γ-AlO(OH) (слабый пик в области 1640–1630 $см^{-1}$). Появление гидроксильных групп связано с гидролизом [7]:

$$–Al–O–Al– + H_2O \rightleftarrows 2–Al–OH.$$

При нагревании смесей ФГЭ с другими оксидами заметных изменений в ИК-спектрах не наблюдается.

Заключение

Таким образом, в настоящей работе показано, что из изученных модификаций оксидов алюминия, железа и кремния лишь в γ-Al_2O_3 и γ-AlO(OH) имеются кислотно-основные центры, поведение которых описывается уравнением $–Al–OH_2^+ \rightleftarrows –Al–OH + H^+$ с $pK_1 \approx 4$. Эти модификации за счет наличия активных поверхностных групп являются наиболее реакционноспособными наполнителями эпоксидных олигомеров, вступая с ними в химические реакции. При этом происходит как химическое взаимодействие эпоксида с гидроксильными группами на поверхности оксида алюминия, так и гомополимеризация фенилглицидилового эфира, инициированная поверхностно активными центрами наполнителя. Менее активные оксиды железа, кремния и корунд в непосредственное химическое взаимодействие с эпоксидными соединениями не вступают. Модифицирующее действие этих наполнителей может быть связано с образованием водородных связей между эпоксидными группами и поверхностными кислотно-основными центрами оксидов.

Результаты изучения физико-химических закономерностей процессов полимеризации матрицы композиционных материалов, модифицированной субмикро- (оксид алюминия) и нанодисперсными минеральными компонентами (наночастицы и нановолокна оксидов алюминия, железа, кремния), процессов, идущих с участием активных поверхностных групп нанооксидов, использованы для направленного получения образцов композиционных материалов с повышенной теплостойкостью (до 160 °С), прочностными характеристиками ($\sigma_{изг}$= 120 МПа, $\sigma_{разр}$= 260 МПа), относительным удлинением для клеевых составов, увеличенным со 100 до 700 %.

Работа выполнена при поддержке программ фундаментальных исследований РФФИ (проект 13-03-00132), УрО РАН (проекты № 12-33-004-АРКТИКА, 12-И-3-2005).

Работа выполнена с использованием оборудования Центра Коллективного Пользования (ЦКП) «Химия» Института химии Коми НЦ УрО РАН.

Литература

1. *Ягубов Э.З.* Композиционно-волокнистые трубы в нефтегазовом комплексе. М.: Изд-во ЦентрЛитНефтеГаз, 2008. 271 с.
2. *Хозин В.Г.* Усиление эпоксидных полимеров. Казань: Изд-во ПИК «Дом печати», 2004. 446 с.
3. *Novak B.M.* Hybrid nanocomposite Materials – Between Inorganic Glasses and Organic Polymers//Adv.Mater. Vol.5. 1993. №6. P. 422–433.
4. *Дебердеев Т.Р., Гарипов Р.М., Гарипова Л.Р.* Моделирование процесса отверждения эпоксиаминных композиций, содержащих активные модификаторы // Структура и динамика молекулярных систем. 2003. Вып. X. Ч. 1. С. 59–61.
5. *Baller J., Thomassey M., Ziehmer M. et al.* The catalytic influence of alumina nanoparticles on epoxy curing // Thermochimica Acta. 2011. Vol. 517. № 1–2. P. 34–39.
6. *Pestov A.V., Kuznetsov V.A., Mekhaev A.V. et al.* Designing new adhesive materials based on epoxy oligomers filled with organic compounds// Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2015. Vol. 8. No. 2. P. 149–152.
7. *Bekir S., Özkanat Ö., Mol J. et al.* Role of Surface Oxide Properties on the Aluminum/Epoxy Interfacial Bonding // J. Phys. Chem. 2013. Vol. 117. P. 4480−4487.
8. *Yates D. E., Levine S., and Healy T. W.* Site-binding Model of the Electrical Double Layer at the Oxide/Water Interface. J. Chem. Soc. Faraday Trans. 1974. Vol. 70. P. 1807–1818.
9. *Химия привитых поверхностных соединений* / Под ред. Г.В. Лисичкина. М.: Физматлит, 2003. 592 с.
10. *Hiemstra T., Wit J.C.M.D., Riemsdijk W.H.V.* Multisite proton adsorption modeling at the solid/solution interface of (hydr)oxides: A new approach II. Applications to various important (hydr)oxides. J. Colloid. Interface Sci. 1989. Vol. 133. P. 105–117.
11. *Рязанов М.А.* Кислотно-основные свойства поверхности оксидных материалов // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2011.Вып. 2(6). С. 25–29.
12. *Рязанов М.А., Дудкин Б.Н.* Использование pK-спектроскопии для изучения кислотно-

основных свойств золей гидратированного оксида алюминия // Коллоидный журнал. 2004. Т. 66. № 6. С. 807–810.

13. *Davis J.A., James R. and Leckie J.O.* Surface Ionization and Complexation at the Oxide/ Water Interface. I Computation of Electrical Double Layer Properties in Simple Electrolytes. J. Colloid Interf. Sci. 1978. Vol. 63. P. 480–499.
14. *Власова Н.Н.* Сравнение моделей комплексообразования на поверхности для количественного описания кислотных свойств высокодисперсного кремнезема // Химия, физика и технология поверхности. 2008. Вып. 14. С. 6–15.

References

1. *Yagubov E.Z.* Kompozitsionno-voloknistye truby v neftegazovom komplekse [Composite-fiber pipes in the oil and gas industry]. Moscow: Izd-vo TsentroLitNefteGaz, 2008. 271 p.
2. *Khazin V.G.* Usilenie epoksidnykh polimerov [The reinforcement of epoxy polymers]. Kazan: PIK Publishers "Press House", 2004. 446 p.
3. *Novak B.M.* Hybrid nanocomposite Materials – Betseen Inorganic Clases and Organic Polymers// Adv.Mater. Vol. 5. 1993. No.6. P. 422-433.
4. *Deberdeev T.R., Garipov R.M., Garipova L.P.* Modelirovanie protsessa otverzhdeniya epoksiaminnykh kompozitsii, soderzhashchikh aktivnye modifikatory // Struktura i dinamika molekulyarnykh sistem [Modeling of curing process of epoxy-amine compositions containing active modifiers // Structure and dynamics of molecular systems]. 2003. Issue X. Pt.1. P. 59-61.
5. *Baller J., Thomassey M., Ziehmer M. et al.* The catalytic influence if alumina nanoparticles on epoxy curing // Thermochimica Acta. 2011. Vol. 517. No. 1-2. P. 34-39.
6. *Pestov A.V., Kuznetsov V.A., Mekhaev A.V. et al.* Designing new adhesive materials based on epoxy oligomers filled with organic com-pounds// Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2015. Vol. 8. No. 2. P. 149-152.
7. *Bekir S., Orkanat O., Mol J. et al.* Role of Surface Oxide Properties on the Aluminium / Epoxy Interfacial Bonding // J. Phys. Chem. 2013. Vol. 117. P. 4480-4487.
8. *Yates D.E., Levine S., and Healy T.W.* Site-binding Model of the Electrical Double Layer at the Oxide / Water Interface. J. Chem. Soc. Faraday Trans. 1974. Vol. 70. P. 1807-1818.
9. *Khimiya privitykh* poverkhnostnykh soedinenii [Chemistry of grafted surface compounds] / Ed. G.V.Lisichkin. Moscow: Fizmatlit, 2003. 592 p.
10. *Hiemastra T., Wit J.C.D., Riemsdijk W.H.V.* Multisite proton adsorption modeling at the solid / solution interface of (hydr)oxides: A new approach II. Applications to various important (hydr)oxides. J. Colloid. Interface Sci. 1989. Vol. 133. P. 105-117.
11. Ryazanov M.A. Kislotno-osnovniye svoistva poverkhnosti oksidnykh materialov [Acid-base properties of oxide materials surface] // Proc. Of Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. 2011. Issue 2(6). P. 25-29.
12. *Ryazanov M.A., Dudkin B.N.* Ispol'zovanie rK-spektroskopii dlya izucheniya kislotno-osnovnykh svoistv zolei gidratirovannogo oksida alyuminiya [The use of pK-spectroscopy to study the acid-base properties of sols of hydrated alumina oxide // Colloid J.]. 2004. Vol. 66. No. 6. P. 807-810.
13. *Davis J.A., James R. and Leckie J.O.* Surface Ionization and Complexation at the Oxide / Water Interface/ I Computation of Eldectrical Double Layer Properties in Simple Electrilytes. J. Colloid Interf. Sci. 1978. Vol. 63. P. 480-499.
14. *Vlasova N.N.* Sravnenie modelei komplekso-obrazovaniya na poverkhnosti dlya kolichestvennogo opisaniya kislotnykh svoistv vysokodispersnogo kremnezema // Khimiya, fizika i tekhnologiya poverkhnosti [The comparison of complex-formation on the surface for quantitative description of acidic properties of highly dispersed silica// Chemistry, physics and technology of surface]. 2008. Issue 14. P. 6-15.

Статья поступила в редакцию 07.07.2015.

Известия Коми научного центра УрО РАН
№ 1(25). Сыктывкар, 2016.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 551.525.5

ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА СВЕТЛОЗЕМОВ СЕВЕРОТАЕЖНЫХ ЛАНДШАФТОВ (ЕВРОПЕЙСКИЙ СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)

Д.А. КАВЕРИН, А.В. ПАСТУХОВ, Е.В. ЖАНГУРОВ

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
dkav@mail.ru, alpast@mail.ru, zhan.e@mail.ru

Охарактеризованы параметры зимнего, летнего и годового температурного режимов светлоземов северотаежных ландшафтов в пределах экотона «лесотундра – крайнесеверная тайга – северная тайга». В зональном аспекте показана взаимосвязь между выраженностью криометаморфического горизонта и зимним температурным режимом почв.

Ключевые слова: **температурный режим, светлоземы, северотаежные ландшафты, криометаморфический горизонт**

D.A. KAVERIN, A.V. PASTUKHOV, E.V. ZHANGUROV. FEATURES OF TEMPERATURE REGIME IN SVETLOZEMS OF NORTHERN TAIGA LANDSCAPES (EUROPEAN NORTHEAST OF RUSSIA)

Parameters of winter, summer and annual temperature regime have been characterized in svetlozems of northern taiga landscapes within the ecotone "forest-tundra - northernmost taiga - northern taiga". In terms of zonal aspect, the relation between the manifestation of cryometamorphic horizon and soil winter temperature regime has been revealed.
The genesis of cryometamorphic (CRM) horizon is associated with long-term period of near-zero temperatures at the depth of the formation of CRM is oberved. In svetlozems of the studied ecotone belt "forest-tundra - northern taiga" from north to south the reduction in morphological manifestation of cryometamorphic horizon is accompanied with an increase in winter temperatures. Svetlozems in forest-tundra zone are characterized by rapid seasonal freezing and colder winter temperature regime as compared to analogous upland soils of northern taiga. Soils of the forest-tundra and taiga have a similar mean annual temperature regime in the surface horizons, but the differences in the sums of Degree Days Thaw (DDT) increase down the profile. Mean annual soil temperatures of svetlozems in forest tundra are 1.5 times lower than those in northern taiga.

Keywords: **temperature regime, svetlozems, northern taiga landscapes, cryometamorphic horizon**

Введение

Климат для лесных почв с низкой энергетической обеспеченностью является одним из важнейших экологических факторов [1]. Особый интерес представляют северотаежные и лесотундровые экосистемы, т.к. они находятся в жестких климатических условиях и начинают раньше реагировать на изменение климата по сравнению с сообществами, расположенными в более низких широтах [2]. В последние десятилетия в связи с изменением климата наблюдается постепенное продвижение лесной растительности на север [3], соответственно изменяется температурный режим лесных почв. Мониторинг температурного режима позволяет оценить современное экологическое состояние почв северных лесных ценозов, выявить отклик на межгодовую динамику температуры воздуха, а в перспективе, при наличии более длительного ряда наблюдений, и на изменение климата.

Во второй половине XX в. на европейском Северо-Востоке России изучался температурный режим глееподзолистых почв северной тайги. И.В. Забоевой [4] показана сравнительная характеристика температурных режимов целинной и освоенной глееподзолистых почв. В работе А.В. Кононенко [5] проведен детальный анализ закономерностей изменения гидротермического режима целинных подзолистых почв при их освоении, показана связь почвенных режимов с продуктивностью сельскохозяйственных культур.

В настоящее время в соответствии с принципами новой классификации почв России [6] в пределах экотона «северная тайга – южная тундра» активно выделяются светлоземы [7, 8]. Они позиционируются как автоморфные почвы северной тайги и редколесий лесотундры европейского Северо-Востока [6], широко распространенные на легких пылеватых суглинках. В подзональном аспекте светлоземы характеризуются усилением морфологических признаков криогенного оструктуривания в средней части профиля. Тем не менее, светлоземы остаются относительно слабо исследованными почвами в отношении режимов, в т.ч. и температурных. Это обусловливает актуальность исследований современного температурного режима светлоземов с учетом их зональных (подзональных) особенностей.

С 2008 г. сотрудниками Института биологии Коми НЦ УрО РАН начато проведение долгосрочного температурного мониторинга светлоземов, формирующихся в автоморфных условиях северотаежных ценозов: в лесотундре, крайнесеверной и северной тайге. Цель статьи – охарактеризовать основные параметры температурного режима северотаежных и лесотундровых светлоземов с учетом их подзональных особенностей.

Объекты и методы исследований

Район исследований расположен в северной части Республики Коми, которая характеризуется умеренно-континентальным умеренно-холодным климатом. Зона лесотундры находится в пределах субарктического климатического пояса, зона тайги – в умеренном. Климатические параметры участков исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные климатические параметры ключевых участков (Атлас..., 1997)

Участок/ параметр	Среднегодовая температура воздуха, °С	Средняя температура июля, °С	Средняя температура января, °С	Суммы среднесуточных температур воздуха > 0, °С-дней	Годовое кол-во осадков, мм	Сумма осадков холодного периода, мм	Число дней со снежным покровом	Средняя высота снежного покрова, см
Сейда	-5,5	12,5	-21,5	1000	650	230	230	80
Пышор	-5,5	13	-21,5	1050	650	230	220	70
Инта	-4	13,5	-19,5	1250	700	230	210	50
Троицко-Печорск	-1,5	16	-18	1700	700	270	200	80
Чиньяворык	-2	14	-17,5	1500	700	250	195	70

Исследования температурного режима автоморфных светлоземов проводились в 2008–2011 гг. на двух ключевых участках в зоне лесотундры и трех участков в зоне тайги: одном в подзоне крайнесеверной тайги и двух – в северной тайге (рис. 1, табл. 2).

Выбор объектов исследования обусловлен расположением профилей в пределах экотона «лесотундра – северная тайга». В пределах переходной полосы с севера на юг постепенно увеличивается температура воздуха, повышается бонитетность лесов, изменяется структура почвенно-растительного покрова. Лесотундра на европейском Северо-Востоке представлена чередованием низкорослых (7–8 м) елово-березовых редколесий и тундровых сообществ. Лесные сообщества здесь приурочены к наиболее теплым и дренированным местообитаниям. На севере таежной зоны вдоль Полярного круга выделяется узкая полоса крайнесеверной тайги, где формируются разреженные зеленомошные и лишайниково-зеленомошные леса паркового облика. Древостой отличается большей сомкнутостью (0,3–0,5) и высотой деревьев (8–12 м). Крайнесеверная тайга сменяется сплошной полосой северной тайги, где господствуют сомкнутые зеленомошно-черничные ельники IV–V класса бонитетов. Средняя высота деревьев в северной тайге достигает 15–20 м [9].

Названия почв и индексы горизонтов даны по классификации почв России [6]. В табл. 2 приведены используемые далее по тексту краткие названия почв. Исследования почвенных температур проводили с помощью цифровых логгеров HOBO, установленных на глубине 0, 20, 50, 100 см и запрограммированных на восемь измерений в сутки. Датчики логгеров закреплены на деревянной палке, которая погружена в скважину (отверстие) диаметром 3 см и глубиной 100 см. Определение мощности снежного покрова проводили в марте. Температуру воздуха для расчетов брали по материалам Атласа Республики Коми по климату и гидрологии [10] и данным цифровых логгеров Hobo, установленных на участках исследований. При расчете основных показателей температуры воздуха, почв и осадков учитывались данные за гидрологический год (1 октября – 30 сентября).

Результаты и обсуждение

Зимний температурный режим почв. Сезонное промерзание верхней части лесных почв начинается с приходом устойчивых отрицательных температур воздуха. В лесотундре отрицательные температуры на поверхности почвы устанавливаются в конце октября – первой половине ноября. В почвах таежной зоны этот период приходится на ноябрь. Наиболее поздние сроки замерзания поверхности почвы отмечены в Троицко-Печорском районе (конец ноября – начало декабря).

В исследуемых почвах осеннее промерзание происходит постепенно, на глубине 20 см устойчивые отрицательные температуры обычно устанав-

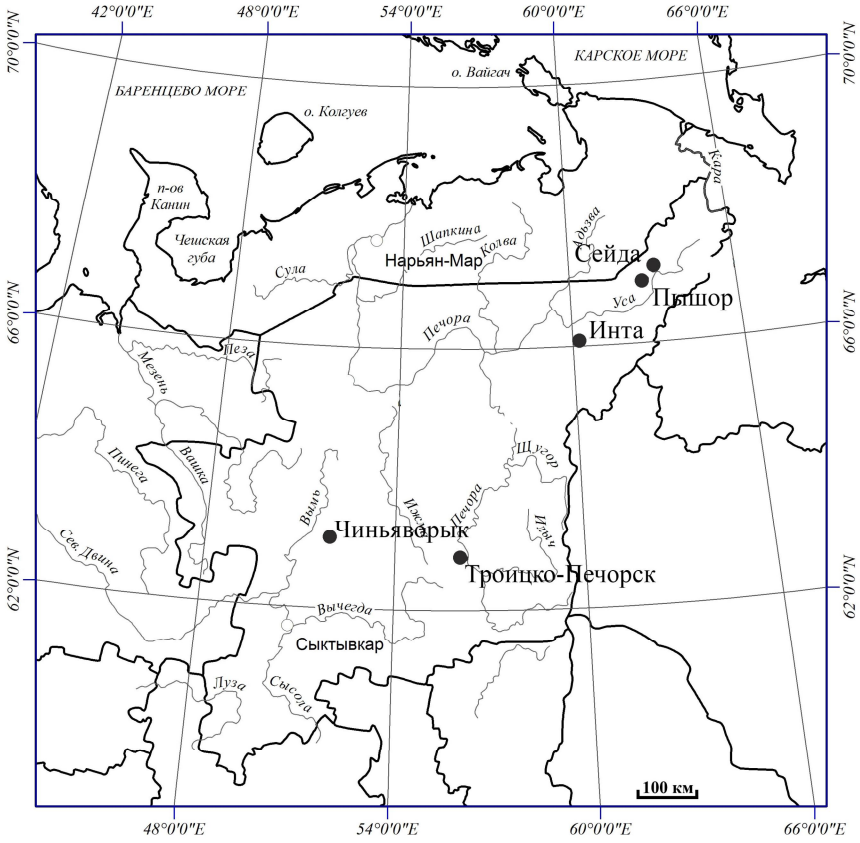


Рис. 1. Географическое положение участков исследований.

Таблица 2

Характеристика объектов исследования

Номер и индекс почвенного профиля	Координаты	Административный район Республики Коми	Ландшафт	Средняя максимальная мощность снега, см	Строение профиля почвы	Название почвы (Классификация почв России, 2004)	Название почвы по тексту статьи
5-ПА	67°02′ с. ш., 63°03′ в. д.	Воркутинский	Лесотундра. Бассейн р. Усы. Пологий склон плоского холма восточной экспозиции. Березово-еловое редколесье. Кустарниковый ярус представлен ивами и ерником. Кустарнички: багульник, голубика, водяника, брусника, черника. В наземном покрове – зеленые и политриховые мхи, ягель.	145-175	O (0-4) – Eg (4-8) – BF (8-14) – CRMg (14-33) – CRM (33-58) – CRMC (58-85+)	Светлозём иллювиально-железис-тый глееватый	Почва участка Сейда
9-ПА	66°53′ с. ш., 62°49′ в. д.	Воркутинский	Лесотундра. Бассейн р. Усы. Склон пологого холма. Низкобонитетный разреженный березово-еловый лес. Кустарниковый ярус представлен ивой и ерником. Кустарнички: шиповник, черника, голубика, водяника, брусника. В наземном покрове – хвощ, лишайники, зеленые и политриховые мхи.	>200	O (0-5) – Eg (5-7) – BF (7-15) – CRM_1 (15-25) – CRM_2 (25-45) – CRM_3 (45-70) - CRMCg (70-110)	Светлозём иллювиально-железистый	Почва участка Пышор
32-ПА	65°56′ с. ш., 60°18′ в. д.	Интинский	Крайнесеверная тайга. Дренированная приречная часть водораздела. Березово-еловый лес. Кустарничковый ярус представлен черникой, брусникой, багульником, водяникой. Встречаются куртины политрихового мха и ягеля, плаун и хвощ.	Нет данных	O (0-6) – Eg (6-10) – BF (10-20) – CRMf (20-35) – CRM (35-55) – 2CRMt (55-75) - Dg (75-160)	Светлозем иллювиально-железистый глинисто-иллювиированный глееватый	Почва участка Инта

Окончание табл. 2

Номер и индекс почвенного профиля	Координаты	Административный район Республики Коми	Ландшафт	Средняя максимальная мощность снега, см	Строение профиля почвы	Название почвы (Классификация почв России, 2004)	Название почвы по тексту статьи
30-ПА	62°42′30″с. ш., 56°08′ в. д.	Троицко-Печорский	Северная тайга. Плоская вершина холма. Еловый лес с примесью березы, пихты. Подлесок: можжевельник, жимолость, шиповник. Наземный покров мохово-кустарничковый: черника, брусника, зеленые мхи с куртинами политриховых мхов, хвощ, разреженный травяной покров: майник двулистный, костяника, кислица.	70	O (0-5) – E (5-16) – Ef (16-30) – CRM_1 (30-45) – CRM_2 (45-80) – 2CRM (80-105) – CRMt (105-150) – CRMC (150-170)	Светлозем иллювиально-железистый глинисто-иллювиированный поверхностно-глееватый	Почва участка Троицко-Печорск
2-Ж	63°51′с.ш., 52°09′в.д.	Княжпогостский	Северная тайга. Верхняя часть дренированного увала. Еловый лес с примесью березы, лиственницы. В подросте ель, в подлеске рябина, можжевельник. Напочвенный покров: зеленые мхи, кустарнички черники, брусника, майник двулистный, папоротники.	Нет данных	O (0-8) – E (8-13) – BF (13-23) – CRM_1 (23-33) – CRM_2 (33-48) – BT (48-100) - BC (100-140)	Светлозем иллювиально-железистый текстурно-дифференцированный	Почва участка Чиньяворык

ливаются в декабре или январе. Наиболее быстрое промерзание происходит в почве участка Сейда. Только в профиле этой почвы под елово-березовым редколесьем с середины февраля до конца апреля суботрицательные температуры фиксируются на глубине 50 см. В другом лесотундровом профиле (участок Пышор) на глубине 50 см отмечаются только околонулевые субположительные температуры.

Наиболее холодной оказалась почва участка Сейда с минимальными температурами на поверхности почвы до -10 °С, на глубине 20 см температура снижается до -1 °С. Значительное зимнее охлаждение также характерно для профиля на участке Чиньяворык. Участок Троицко-Печорск характеризуется наиболее мягким зимним температурным режимом.

Диапазон сумм отрицательных температур рассматриваемых почв на поверхности составил -65…-429 °С·дней (табл. 3). Суммарный диапазон значений этого показателя в почвах лесотундры частично перекрывается с диапазоном в северотаежных профилях. В почвах лесотундры и тайги на глубине 20 см диапазоны сумм отрицательных температур перекрываются на 75% (табл. 3). Наибольшее охлаждение происходит в почвах лесотундры и крайнесеверной тайги. Наименьшими суммами отрицательных температур характеризуются почвы двух северотаежных участков (табл. 3).

«Нулевые завесы» – субположительные (+0 +0,1 ºС) или суботрицательные (-0 -0,1 ºС) температуры в таежных почвах выражены в верхней части профиля (глубина 20 см). На данной глубине обычно залегает криометаморфический горизонт CRM. Продолжительность периода «нулевых завес» здесь обычно варьирует от 15 до 30 дней. Исключение составила почва на участке Инта, где околонулевые температуры на глубине 20 см в 2008 г. продержались более трех месяцев. Для почв лесотундры длительные нулевые завесы наблюдаются на глубине 50 см (горизонт CRM), что связано с их более глубоким промерзанием. В криометаморфическом горизонте такие температуры устанавливаются относительно поздно и сохраняются на протяжении всей весны.

Таким образом, глубина проникновения и продолжительность периода околонулевых температур определяются холодностью температурного режима зимой. При исследовании температурного режима почв региона Г.Г. Мажитова [11] отмечает, что слой длительных околонулевых температур примерно совпадает с оструктуренным горизонтом, хорошо выраженным во многих суглинистых почвах.

В относительно холодных почвах лесотундры околонулевые температуры проникают в криометаморфический горизонт гораздо чаще в сравнении с более теплыми почвами таежных участков. Морфологическая выраженность криометаморфического горизонта в светлоземах возрастает к северу, достигая максимума в почвах лесотундры и южной тундры [8]. Наиболее продолжительные нулевые завесы в средней части профиля фиксируются в почвах лесотундры.

Таким образом, в светлоземах в пределах рассматриваемого экотона «лесотундра – северная тайга» с севера на юг уменьшение морфологической выраженности криометаморфического горизонта сопровождается повышением его зимних температур от суботрицательных до положительных значений. Очевидно, что генезис криометаморфического горизонта связан с продолжительным периодом околонулевых температур на глубине формирования CRM.

Самым холодным месяцем на поверхности почвы может быть любой из зимних (декабрь, январь, февраль), диапазон минимальных среднемесячных температур составил -0,7…-4,2 ºС. На глубине 20 см минимальные среднемесячные температуры (+0,1…-1,1 ºС) обычно фиксируются в феврале и марте. На глубине 50 см в лесотундровых почвах

Таблица 3

Суммы отрицательных и положительных среднесуточных температур почв, °С·дней

Глубина, см	Почвенный горизонт	Гидрологические годы					
		2008-2009		2009-2010		2010-2011	
		отриц.	полож.	отриц.	полож.	отриц.	полож.
1. Почва участка Сейда							
0	O	-178	886	не опр.	1164	-429	1166
20	CRMg	-83	766	не опр.	861	-82	699
50	CRM	-16	708	не опр.	789	-3	553
100	CRMC	0	719	не опр.	726	0	553
2. Почва участка Пышор							
0	O	не опр.	не опр.	-190	1164	-137	1181
20	CRM1	не опр.	не опр.	-31	861	-18	819
50	CRM3	не опр.	не опр.	0	789	0	731
100	CRMCg	не опр.	не опр.	0	726	0	648
3. Почва участка Инта							
0	O	-94	1448	-145	1519	-209	1036
20	CRMf	0	1247	-8	1238	-64	598
50	CRM	0	1370	0	1451	0	629
100	Dg	0	1172	0	1230	0	не опр.
4. Почва участка Троицко-Печорск							
0	O	не опр.	не опр.	-149	1601	-146	1510
20	Ef	не опр.	не опр.	-25	1282	-26	1198
50	CRM2	не опр.	не опр.	0	1209	0	1139
100	2CRM	не опр.	не опр.	0	1155	0	1084
5. Почва участка Чиньяворык							
0	O	-65	1468	-157	1577	-171	1767
20	CRM1	0	1444	-15	1385	-18	1411
50	BT	0	1431	0	1352	0	1417
100	BC	0	1388	0	1323	0	1352

минимальные среднемесячные температуры (+0,1… -0,2 ºС) отмечаются в весенние месяцы, в таежных профилях этот период сдвигается к февралю – апрелю (+0,8…+0,1 ºС). На глубине 100 см период минимальных среднемесячных температур (+0,9… +0,2 ºС) приходится на апрель – май.

На глубине 0 и 20 см диапазоны минимальных среднемесячных температур почв лесотундры и тайги перекрываются частично. На глубине 50 и 100 см они не перекрываются. Этот факт связан с большим охлаждающим эффектом подстилающих почвообразующих пород в зоне лесотундры.

Летний температурный режим почв. Оттаивание почв на участках в лесотундре и тайге начинается со сходом снежного покрова (конец апреля – первая половина мая). Самый теплый месяц на поверхности почвы (+9…+15 ºС) и глубине 20 см (+6…+12 ºС) – июль или август. Максимальные среднемесячные температуры на глубине 50 см (+4…+11 ºС) наблюдаются преимущественно в августе. На глубине 1 м в почвах лесотундры максимальные температуры (+4…+6 ºС) фиксируются в сентябре или августе, в таежных почвах – в августе (+7…+10 ºС). На этой глубине их интервалы не перекрываются. Это связано с замедленным распространением теплового импульса в почвогрунтах лесотундровых ландшафтов.

Диапазон сумм температур >0 °С на глубине 0 см за все годы наблюдений во всех почвах составил 886…1767 °С·дней (табл. 3). Приход тепла на поверхность таежных и лесотундровых почв несколько отличается, их диапазоны перекрываются лишь частично. Сравнивая группы почв зон лесотундры и тайги, необходимо отметить, что первые

получают меньше тепла, что связано с более высокими температурами воздуха в таежной зоне.

На глубине 20 см суммы положительных температур в 1,2-2 раза ниже по сравнению с поверхностью (табл. 3). Минимальные суммы характерны соответственно для лесотундровых участков. На глубине 50 см суммы положительных температур в таежных участках (886…1767 °С·дней) почти в два раза выше, чем в лесотундровых (553…789 °С·дней). Данные различия максимально выражены на глубине 1 м, где диапазоны лесотундровых и таежных почв значительно различаются (табл. 3). Максимальные суммы положительных температур по всему профилю зафиксированы в светлоземе на участке Чиньяворык.

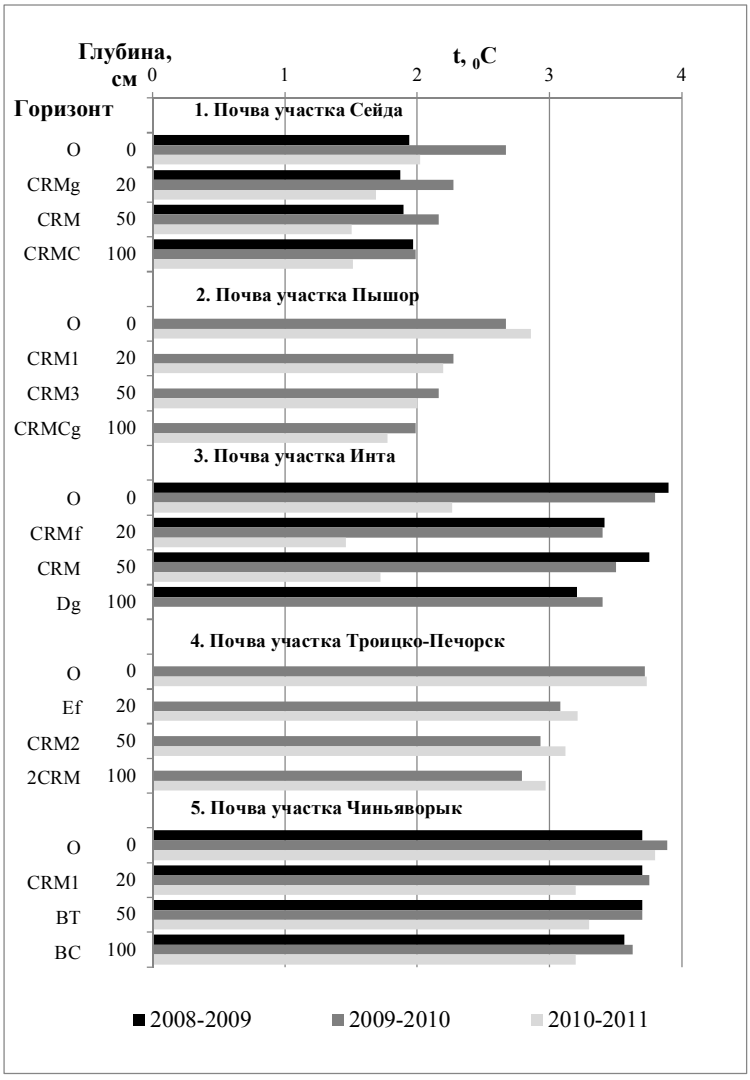


Рис. 2. Среднегодовые температуры почв, ˚С.

Годовые показатели температурного режима почв. Общий диапазон среднегодовых температур на глубинах 20 и 50 см в исследуемых почвах составил 1,5…3,8 °С, и 1,5…3,7° С соответственно (рис. 2). На глубинах от 0 до 50 см диапазоны среднегодовых температур почв лесотундры и тайги частично перекрываются. В целом, в почвах зоны тайги среднегодовые температуры выше в 1,5 раза. На глубине 1 м выявлены наибольшие различия по среднегодовым температурам. Значения среднегодовых температур (около +2 ºС) в почвах редколесий лесотундры ближе к таковым тундровых немерзлотных почв [11]. Северотаежные автоморфные почвы со среднегодовыми температурами в интервале +2…+4 °С составляют самую теплую ступень температурного ряда автоморфных почв в пределах обширного тундрово-таежного экотона.

Диапазон сезонных колебаний температуры постепенно снижается от поверхности почвы вниз по профилю. Коридор сезонных колебаний температуры по сравнению с тундровыми почвами смещается в положительную сторону и становится более узким. В отличие от тундровых почв [12] выраженные сезонные колебания в отрицательном диапазоне температур характерны только для поверхностных горизонтов почвы. Сезонные колебания температуры еще четко выражены на глубине 1 м, однако их годовая амплитуда не превышает 10 °С.

Тем не менее, для исследуемых почв среднегодовая температура практически одинакова по всей толще профиля. Это связано с компенсирующим действием друг на друга сумм положительных и отрицательных температур, значения которых пропорционально уменьшаются с глубиной.

Заключение

Генезис криометаморфического горизонта связан с продолжительным периодом околонулевых температур на глубине формирования CRM. В светлоземах рассматриваемого экотона «лесотундра – северная тайга» с севера на юг уменьшение морфологической выраженности криометаморфического горизонта сопровождается повышением его зимних температур.

Светлоземы лесотундры отличаются более быстрым промерзанием и холодным зимним температурным режимом по сравнению с автоморфными почвами северной тайги. Почвы лесотундры и тайги имеют схожий летний температурный режим в поверхностных горизонтах, однако различия в сумме положительных температур увеличиваются вниз по профилю. Среднегодовые температуры светлоземов лесотундры в 1,5 раза ниже аналогичных северотаежных профилей.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Президиума РАН №15-15-4-46 "Взаимосвязь биоразнообразия и биопродукционного потенциала наземных экосистем Европейской Арктики с особенностями формирования мерзлотных почв и динамическими аспектами их

трансформации в современных условиях климата", проекта Thermal State of Permafrost (TSP) Университета Аляски (Фербенкс, США).

Литература

1. *Решоткин О.В., Худяков О.И., Бедрина Т.Н.* Температурный режим подзолистых почв Предуралья в связи с потеплением климата// Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т.12. №1(4). С.1059–1063.
2. *Изменение климата, 2001 г.:* Обобщенный доклад / Под ред. Р.Т. Уотсон. Женева: Всемирная Метеорологическая Организация, 2003. 220 с.
3. *Сергиенко В.Г.* Динамика границ лесорастительных зон России в условиях изменения климата // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2015. № 1. С. 5–19.
4. *Забоева И.В.* Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар: Коми книжное издательство, 1975. 344 с.
5. *Кононенко А.В.* Гидротермический режим таежных и тундровых почв европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1986. 144 с.
6. *Классификация и диагностика* почв России/ Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
7. *Тонконогов В.Д., Пастухов А.В., Забоева И.В.* О генезисе и классификационном положении автоморфных почв на покровных суглинках северной тайги Европы // Почвоведение. 2006. № 1. С. 29–36.
8. *Тонконогов В.Д.* Автоморфное почвообразование в тундровой и таежной зонах Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2010. 304 с.
9. *Юдин Ю.П.* Геоботаническое районирование Коми АССР // Производительные силы Коми АССР. Т. 3. Ч. 1. Сыктывкар, 1954. С. 323–359.
10. *Атлас Республики Коми* по климату и гидрологии / А.П. Братцев и др.; Отв. ред. А.И.Таскаев. М.: Дрофа; Дик, 1997. 115 с.
11. *Мажитова Г.Г.* Температурные режимы почв в зоне несплошной многолетней мерзлоты европейского Северо-Востока России // Почвоведение. 2008. №1. С. 54–67.
12. *Каверин Д.А., Пастухов А.В., Мажитова Г.Г.* Температурный режим тундровых почв и подстилающих многолетнемерзлых пород (европейский Северо-Восток России) // Криосфера Земли. 2014. Т.XVIII. №3. С. 23–32.

References

1. *Reshotkin O.V., Khudyakov O.I., Bedrina T.N.* Temperaturnyj rezhim podzolistyh pochv predural'ja v svjazi s potepleniem klimata [The temperature regime of podzolic soils in the Urals due to climate warming] // Proc. of Samara Sci. Centre, RAS. 2010. Vol.12. №1(4). P.1059-1063.
2. *Izmenenie klimata*, 2001 g.: Obobshhennyj doklad [Climate Change 2001 Synthesis Report] / Ed.: R.T. Uotson. Zheneva: Vsemirnaja Meteorologicheskaja Organizacija [World Meteorological Org.], 2003. 220 p.
3. *Sergienko V.G.* Dinamika granic lesorastitel'nyh zon Rossii v uslovijah izmenenija klimata [The dynamics of the boundaries of forest growth zones of Russia in conditions of climate change] // Trans. of St.Petersburg Research Forestry Inst. 2015. № 1. P. 5-19.
4. *Zaboeva I.V.* Pochvy i zemel'nye resursy Komi ASSR. [Soils and land resources of the Komi ASSR]. Syktyvkar: Komi knizhnoe izdatel'stvo, 1975. 344 p.
5. *Kononenko A.V.* Gidrotermicheskij rezhim taezhnyh i tundrovyh pochv Evropejskogo Severo-Vostoka. [The hydrothermal regime of taiga and tundra soils of the European Northeast]. Leningrad: Nauka, 1986. 144 p.
6. *Klassifikacija i diagnostika* pochv Rossii [Classification and diagnostics of soils of Russia] / Authors and compilers: L.L. Shishov, V.D. Tonkonogov, I.I. Lebedeva, M.I. Gerasimova. Smolensk: Ojkumena, 2004. 342 p.
7. *Tonkonogov V.D., Pastukhov A.B., Zaboeva I.V.* O genezise i klassifikacionnom polozhenii avtomorfnyh pochv na pokrovnyh suglinkah severnoj tajgi Evropy [On genesis and classification of automorphic soils on cover loams of northern European taiga] // Pochvovedenie [Soil Science]. 2006. № 1. P. 29-36.
8. *Tonkonogov V.D.* Avtomorfnoe pochvoobrazovanie v tundrovoj i taezhnoj zonah Vostochno-Evropejskoj i Zapadno-Sibirskoj ravnin. [Automorphic soil formation in the tundra and taiga zones of the East European and West Siberian plains]. Moscow: V.V.Dokuchaev Soil Inst., 2010. 304 p.
9. *Yudin Yu.P.* Geobotanicheskoe rajonirovanie Komi ASSR [Geobotanical zoning of the Komi ASSR] // Proizvoditel'nye sily Komi ASSR [Productive forces of the Komi ASSR]. Vol. 3. Pt. 1. Syktyvkar, 1954. P. 323-359.
10. *Atlas Respubliki Komi* po klimatu i gidrologii [Atlas of the Republic of Komi on Climate and Hydrology] / A.P. Bratsev et al.; Ed. A.I.Taskaev. Moscow: Drofa; Dik, 1997. 115 p.
11. *Mazhitova G.G.* Temperaturnye rezhimy pochv v zone nesploshnoj mnogoletnej merzloty evropejskogo Severo-Vostoka Rossii [The temperature regime of the soil in the zone of discontinuous permafrost of the European North-East of Russia] // Pochvovedenie {Soil Science]. 2008. №1. P. 54-67.
12. *Kaverin D.A., Pastukhov A.V., Mazhitova G.G.* Temperaturnyj rezhim tundrovyh pochv i podstilajushhih mnogoletnemerzlyh porod (evropejskij Severo-Vostok Rossii) [Temperature regime of tundra soils and underlying permafrost (European Northeast of Russia)] // Kriosfera Zemli. 2014. Vol.XVIII. №3. P. 23-32.

Статья поступила в редакцию 09.09.2015.

УДК 635.925(470.13)

ВИДЫ РОДА КИЗИЛЬНИК (*COTONEASTER* MEDIK.) ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЕ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Л.А. СКУПЧЕНКО, А.Н. ПУНЕГОВ, К.С. ЗАЙНУЛЛИНА

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
zainullina@ib.komisc.ru, apunegov@ib.komisc.ru

В статье приведена биоморфологическая характеристика 16 интродуцированных видов рода кизильник (*Cotoneaster* Medik.) при культивировании на Севере. В процессе сезонного развития изучены ритмика роста побегов, зимостойкость, определена семенная продуктивность и выявлена возможность вегетативного размножения изучаемых видов кизильника в новых условиях. Отобраны наиболее перспективные для культивирования виды.

Ключевые слова: **виды рода *Cotoneaster*, интродукция, фенология, зимостойкость, рост побегов, семенная продуктивность**

L.A. SKUPCHENKO, A.N. PUNEGOV, K.S. ZAINULLINA. THE *COTONEASTER* MEDIK. SPECIES GROWN IN THE MIDDLE TAIGA SUBZONE OF THE KOMI REPUBLIC (RUSSIA)

The paper includes biomorphological description of 16 *Cotoneaster* Medik. species introduced in the middle taiga subzone of the Komi Republic (Russia). Seven of them (*Cotoneaster lucidus, C. melanocarpus, C. integerrimus, C. dammeri, C. horizontalis, C. x hybrida* (*C. uniflorus* × *C. melanocarpus*), *C. buxifolius*) for more than 10 years grow and bear fruit in the Arboretum of the Botanical Garden at the Institute of Biology. The other 9 new species (*C. roseus, C. bullatus, C. camilli-schneideri, C. allochrous, C. alaunicus, C. amoenus, C. cinnabarinus, C. ascendens, C. niger*) were grown from seeds, sown in 2009 and replanted in 2013 to the permanent place in the Arboretum reasoning from the geographical principle of their origin. The studied species were examined for winter resistance in new growth conditions. Average values of phenological dates obtained throughout years of research are given. The seasonal dynamics of shoot growth in 7 fruit-bearing species was studied. They were tested for seed productivity and vegetative reproduction ability. Promising species such as *Cotoneaster lucidus, C. melanocarpus, C. integerrimus, C. dammeri, C. horizontalis,* and *C. x hybrida* (*C. uniflorus* × *C. melanocarpus*) were selected and recommended for cultivation and use in landscaping in Northern cities.

Keywords: ***Cotoneaster* species, introduction, phenology, winter resistance, shoot growth, seed productivity**

Обогащение культурной флоры Севера древесными и декоративными растениями различного использования является актуальной задачей, над решением которой много лет трудятся сотрудники отдела Ботанического сада Института биологии Коми НЦ УрО РАН [1]. К числу перспективных декоративных древесных растений относятся представители полиморфного рода *Cotoneaster* Medik. (Кизильник), содержащего около 60 видов растений [2], а по данным А.И. Колесникова [3] – 40, из которых около 10 видов естественно произрастают в нашей стране. Во флоре Республики Коми встречается два вида кизильника [4]: *Cotoneaster melanocarpus Fisch. ex. Blytt.* (кизильник черноплодный) и *C. uniflorus Bunge.* (к. одноцветковый). Естественный ареал рода охватывает умеренные области Европы, Северной и Центральной Азии и Северной Африки [3].

Кизильники – это красивые кустарники, редко – деревья, которые широко используются для создания художественных композиций в садах и парках. Представители данного рода отличаются разнообразием габитуса и особую ценность как высокодекоративные растения приобретают в осенний период. В это время года кусты растений усыпаны красными, оранжевыми, черными, округлыми, грушевидными плодами на фоне ярко выраженной осенней окраски листьев [5]. Плоды некоторых видов съедобны, другие могут использоваться для приготовления лекарственных средств. К примеру, плоды *C. lucidus Schlecht.* (к. блестящего) [6] улучшают обмен веществ и обладают успокаивающим действием. В народной медицине отвар плодов применяют при заболеваниях желудочно-кишечного тракта. Наиболее изучен *C. melanocarpus*. Ветви этого кустарника содержат цианогенные соедине-

ния [5] – пруназин, листья – витамин С, фенолкарбоновые кислоты и их производные, плоды – флавоноиды, антоцианы и витамин С. Многие виды отличаются повышенной медопродуктивностью [5].

Целью исследований являлось изучение биоморфологии, динамики роста побегов, зимостойкости видов рода *Cotoneaster* Medik. в новых для них условиях культивирования и отбор наиболее перспективных для зеленого строительства.

Материал и методы

Исследования проводили в дендрарии Ботанического сада Института биологии Коми НЦ УрО РАН, расположенном в среднетаежной подзоне Республики Коми. Северо-восточное положение республики определяет сравнительно низкий уровень солнечной радиации, а удаленность от Атлантического океана – континентальность климата [7]. Безморозный период с температурами воздуха выше 0°С (весна, лето, осень) составляет в среднем 180–190 дней. Средняя температура самого теплого месяца (июль) – 16-17°С, самого холодного (январь) –15°С, а абсолютный минимум равен –51°С [7].

Объектами исследований были 16 видов рода *Cotoneaster* семейства *Rosaceae Juss.* (Розоцветные), из которых семь видов и образцов изучаются длительное время и являются плодоносящими: *Cotoneaster melanocarpus, C. lucidus, C. dammeri C. K. Schneid* (к. Даммера), *C. buxifolius Wall. ex Lindl* (к. самшитолистный), *C. horizontalis* Decne (к. горизонтальный), *C. integerrimus* Medik. (к. цельнокрайний), *C. x hybrida* (*C. uniflorus* × *C. melanocarpus*) - к. гибрид (к. одноцветковый × к. черноплодный) и девять новых для коллекции: *C. ascendens Frink et Hylmo* (к. приподнимающийся), *C. alaunicus* Golits (к. алаунский), *C. allochrous Pojark*. (к. инакоцветный), *C. bullatus Bois* (к. пузырчатый), *C. roseus Edgew* (к. розовый), *C. cinnabarinus* Juz. (к. киноварно-красный), *C. niger* (Wahlenb.) Fries (к. черный), *C. amoenus E. H. Wilson* (к. прелестный), *C. camilli-schnederi Pojark.*, выращенных из семян в питомнике и пересаженных в 2013 г. на постоянное место в дендрарий с учетом географического принципа происхождения растений.

Фенологические наблюдения проводили по «Методике…» [8]. В статье приведены средние значения фенологических дат, которые варьируют в зависимости от срока привлечения изучаемого вида в дендроколлекцию. К примеру, для *Cotoneaster lucidus, C. melanocarpus, C. dammeri, C. buxifolius, C. horizontalis* и *C. x hybrida* (*C. uniflorus* × *C. melanocarpus*) срок фенонаблюдений составляет 10–11 лет, а *C. integerrimus* – 38 лет. Динамику роста побегов изучали по методике А.А. Молчанова и В.В. Смирнова [9] у семи видов рода кизильник: *C. lucidus, C. melanocarpus, C. integerrimus, C. dammeri, C. buxifolius, C. horizontalis, C. x hybrida* (*C. uniflorus* × *C. melanocarpus*). Данные по динамике роста побегов приведены за пять лет. Зимостойкость интродуцированных растений определяли по VII-балльной шкале, разработанной Главным ботаническим садом АН СССР [10]. Математическая обработка данных проводилась по методике Н.Г.Зайцева [11].

Результаты и обсуждение

Температура воздуха является одним из основных факторов, лимитирующих успешное культивирование интродуцентов на Севере. Продолжительность роста побегов древесных растений зависит от суммы температур за вегетационный период и их распределения по месяцам вегетации. Продолжительный рост побегов у интродуцированных особей задерживает их одревеснение и подготовку к неблагоприятному периоду года. Изучением особенностей роста и сезонного прироста побегов древесных растений занимались многие исследователи: П.И. Лапин, В.М. Тагильцева [12, 13] и др. В данных работах было показано, что интенсивность и продолжительность роста побегов оказывают влияние на морозоустойчивость особей и характеризуют успешность интродукции древесных растений в новых условиях среды, а их способность к адаптации связана с изменениями ритма роста и развития. Декоративные древесные растения, интродуцированные в среднетаежную подзону Республики Коми, также в той или иной степени меняют свою ритмику в зависимости от длины светового дня и накопления суммы положительных температур в период вегетации.

За начало роста побегов видов кизильников принята фаза раскрывания почечных чешуй, а за окончание – максимальное, статистически достоверное увеличение их длины [13]. При завершении роста побегов прекращается формирование верхушечных почек, и верхние листья достигают нормальных размеров и плотности. В районе исследований рост побегов изучаемых видов кизильников начинается в первой декаде июня и заканчивается в разные сроки в зависимости от принадлежности к виду. Как видно из данных таблицы, максимальная сумма эффективных температур для завершения роста побегов необходима растениям *Cotoneaster dammeri*, минимальная – *C. lucidus*. Из семи изучаемых видов кизильника только *C. buxifolius* в течение всего вегетационного периода не прекращает роста побегов, что в отдельные годы приводит к подмерзанию их побегов.

В течение пяти лет наблюдений за ростом побегов изучаемых видов суммы среднесуточных температур и осадков за вегетационные периоды значительно варьировали: от 1987°С – в 2014 г. до 2329°С – в 2010 г. и от 216 мм – в 2013 г. до 577 мм в 2012 г. соответственно. 2010-й год был отмечен как самый жаркий и сухой (2329°С и 271 мм). Например, линейный прирост терминальных однолетних побегов *Cotoneaster integerrimus*, *C. buxifolius*, *C. dammeri* к концу вегетационного периода этого года составил 5,5; 19,2 и 49,3 см, в 2011 г. он был значительно выше и для тех же видов равнялся соответственно: 15,7; 25,8 и 72,2 см (рисунок). Данные, полученные по линейному приросту побегов, свидетельствуют о том, что на Севере лимитирующим фактором является не только температура воздуха, но и недостаток влаги. Особенно большое

влияние этот фактор оказывает на рост растений в летний период.

При работе с растениями, перенесенными в новые условия, важнейшим критерием успеха является сохранение ими способности семенного или вегетативного размножения. Образование семян становится конечным результатом нормального завершения развития. Наличие плодоношения используется в качестве надежного показателя успешности культивирования растений в новых экологических условиях.

Рост побегов видов рода кизильник в Ботаническом саду Коми НЦ УрО РАН (2010–2014 гг.)

Вид	Начало роста	Окончание роста	Продолжительность роста, дни	Сумма эффективных температур, +5 °С
Cotoneaster lucidus	03.VI – 07.VI	26.VII – 29.VII	53±7,0	1475
C. melanocarpus	06.VI – 09.VI	16.VIII – 19.VIII	71±6,0	1845
C. integerrimus	06.VI – 10.VI	05.VIII – 09.VIII	59±8,0	1640
C. dammeri	08.VI – 12.VI	12.IX – 16.IX	95±8,0	2090
C. horizontalis	03.VI – 06.VI	01.IX – 04.IX	88±5,0	1970
C. x hybrida (*C. uniflorus* × *C. melanocarpus*)	04.VI – 07.VI	02.VIII – 05.VIII	58±6,0	1590
C. buxifolius	08. VI – 12. VI	Не завершает рост	-	>2090

Семенной способ размножения более ценный с генетической точки зрения, нежели вегетативный, так как благодаря мейозу создается генетическая неоднородность семян. Отмечена высокая семенная продуктивность изучаемых видов кизильника, которая составляет для *Cotoneaster melanocarpus* – 4524±14 шт. семян/особь; *C. x hybrida* (*C. uniflorus* × *C. melanocarpus*) – 4156±14; *C. integerrimus* – 1728±20; *C. horizontalis* – 924±20 и *C. lucidus* – 840±25 шт. семян/особь.

Часто исследователи встречаются с необходимостью тиражирования числа опытных экземпляров в короткие сроки. В этом случае вегетативный способ размножения является незаменимым. Для вегетативного размножения использовали черенки длиной 7–10 (15) см с тремя почками, срезанными с хорошо развитых однолетних побегов. Черенки были высажены в холодные парники с предварительно подготовленной почвенной смесью. Проведенный эксперимент по вегетативному размножению растений показал высокую приживаемость черенков, которая составила для трех видов, %: *Cotoneaster dammeri*, *C. horizontalis*, *C. melanocarpus* – 100, *C. lucidus* – 80, и *C. buxifolius* – 75. Материалы, полученные в ходе выполненных исследований по изучению биологии некоторых представителей рода *Cotoneaster,* позволили дать биоморфологическую характеристику видам данного рода.

Cotoneaster buxifolius – вечнозеленый почвопокровный кустарник, естественно произрастаю-

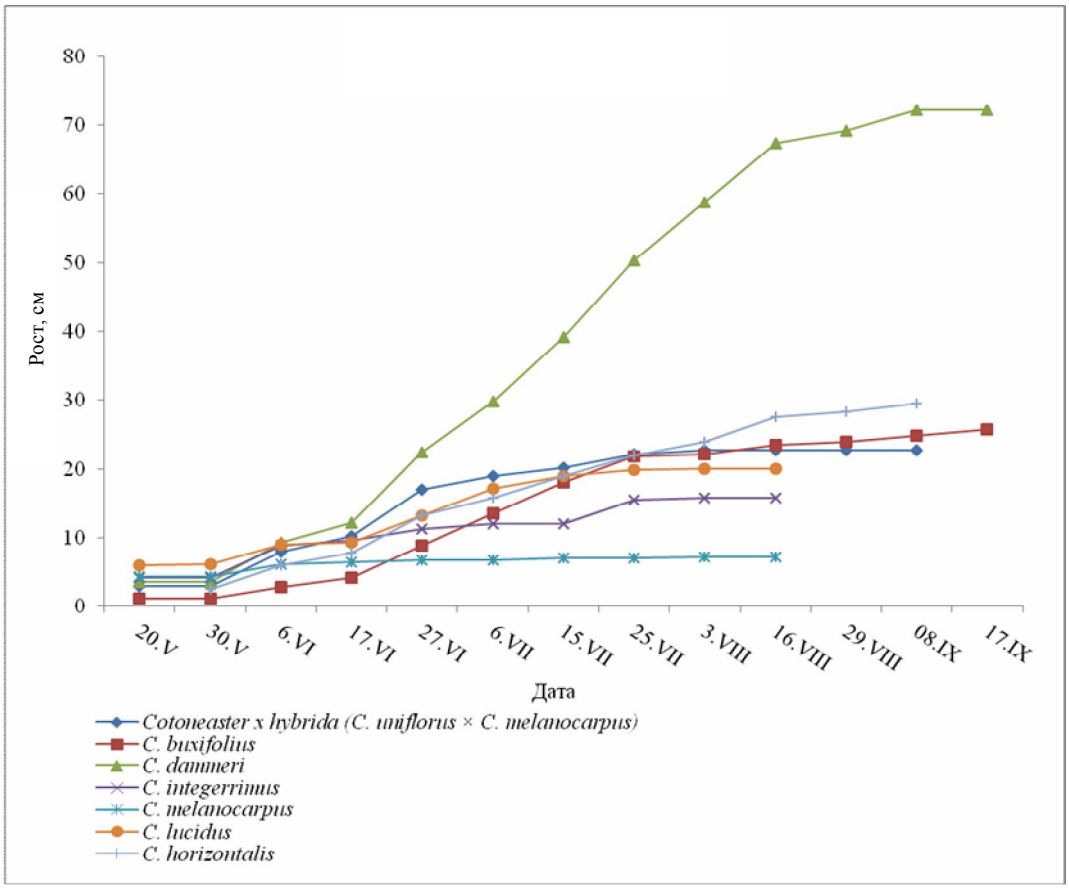


Рис. Рост терминальных побегов изучаемых видов рода *Cotoneaster* (2011 г.).

щий в Восточной Азии. К 11-летнему возрасту взрослое растение имеет длинные, легко укореняющиеся побеги от 72 до 123 см и диаметр стволиков у основания 1–3 см. В генеративный период переходит поздно – на восьмой год жизни, плоды не формирует. Вегетатировать растение начинает в последних числах мая. Появление первых бутонов отмечено в начале июня, а окончание цветения наступает в первой декаде июля. Зимостойкость составляет III балла. Требуется дальнейшее изучение.

***Cotoneaster dammeri* –** вечнозелёный почвопокровный кустарник до 0,2 м высотой, с полегающими и легко укореняющимися по всей длине ветвями. Родина данного вида – юго-восточный Китай. На территории дендрария начало распускания листьев отмечено в середине мая. Они имеют эллиптическую или продолговато-эллиптическую форму, блестящие. Растение бутонизирует с середины июня, массовое цветение отмечено в середине июля (фото 1). Цветки мелкие, белые. Завязывание плодов начинается в середине июля, а их массовое созревание – в первой декаде августа. Плоды почти округлые, 5–6 мм длиной, 5-6 мм в диаметре, вначале зеленые, затем красные, с четырьмя–пятью косточками. Зимостойкость растения оценивается в 1 балл. За многолетние наблюдения не отмечено подмерзаний побегов. Рекомендуется для озеленения центральных и южных районов Республики Коми.

Фото 1. *Cotoneaster dammeri* (цветение) – кизильник Даммера.

Cotoneaster horizontalis – полувечнозеленый, листопадный низкий кустарник, менее 0,5 м высотой, со свисающими ветвями. Родина – Центральный Китай [3]. Листья округлые или широкоэллиптические, на верхушке тупые или с маленьким шипиком, снизу – светло-зеленые, волосистые, распускаются в условиях Ботанического сада в середине третьей декады мая. Бутонизация растения отмечается с середины июня до начала июля. Появление единичных цветков наблюдалось в начале второй декады июня, а их массовое цветение – в конце июля (фото 2). Завязывание плодов происходит в начале июля, а массовое созревание в первых числах августа. Плоды овальной формы, 5–6 мм длиной, 4–5 мм в диаметре, вначале светло-зеленые, позже красного цвета, с двумя-тремя косточками. Зимостойкость растения равна II баллам. Некоторые однолетние побеги обмерзают не более

Фото 2. *Cotoneaster horizontalis* (цветение) – кизильник горизонтальный.

чем на 50 % своей длины. Вид рекомендуется для озеленения южных городов республики.

***Cotoneaster x hybrida* (*C. uniflorus* × *C. melanocarpus*).** На территории дендрария растения начинают вегетировать в конце первой декады мая, бутонизировать – в конце мая, массовая бутонизация наблюдается в середине июня (14.VI – 16.VI) и длится до 22.VI – 25.VI. Появление первых цветков отмечено в конце второй декады июня, а массовое цветение – в начале июля. Завязывание плодов происходит в первой декаде июля, а их массовое созревание – в начале второй декады августа. Плоды овальной формы, 5–6 мм длиной, 4–5 мм в диаметре, красного цвета, с тремя-четырьмя косточками. Зимостойкость растения – I-II балла. Вид рекомендуется для озеленения от г. Ухты и южнее.

Cotoneaster integerrimus – листопадный, пряморастущий, многоветвистый кустарник с округлой кроной, высотой до 2 м. В естественных условиях произрастает на западе европейской части бывшего СССР, в Крыму и на Кавказе [3]. В условиях интродукции взрослые растения достигают высоты 1,5 м, крона широкая, разветвлённая. Развертывание листьев начинается 20–24 мая, а появление бутонов – 23–26 мая. Единичные цветки отмечаются в конце мая, массовое цветение наблюдалось в середине июня, период цветения растянут и длится до 22–25 июня. Завязывание плодов происходит в начале первой декады июля, а массовое созревание – в конце августа (фото 3). Плоды почти округлой формы, 7–8 мм длиной, 6–8 мм в диаметре, сначала светло-зеленые, зрелые – ярко красного цвета, с двумя-тремя косточками. Вид абсолютно зимостойкий, в северных условиях требует открытого местоположения, засухоустойчивый, не требовательный к почве и может успешно применяться в озеленении городов Севера.

***Cotoneaster lucidus* –** листопадный, многоветвистый, пряморастущий кустарник, высотой до 3 м. Родина – Восточная Сибирь и Балканы, является эндемиком этого района [3]. Вид имеет статус редкого растения, относится к категории 3 (R). Виды этой категории встречаются в природе небольшими по численности популяциями с узкой экологической амплитудой [14].

Фото 3. *Cotoneaster integerrimus* (плодоношение) – кизильник цельнокрайний.

Впервые в коллекцию дендрария был привлечен в 1946 г. саженцами, полученными из Липецкой области. Долгое время культивировался, но выпал из-за низкой зимостойкости. Другой образец был завезен в 2004 г. из Екатеринбурга. Листья у данного образца распускаются в середине мая, имеют эллиптическую форму с острой вершинкой и закругленным основанием, сверху темно-зеленые, блестящие, снизу – светло-зеленые. Начало бутонизации отмечено в конце третьей декады мая. Массовое цветение наблюдалось в середине июня, период цветения растянут и длится до 20–23 июня. Цветки мелкие, светло-розовые, собраны в кисти с тремя-четырьмя цветками, диаметр цветков не превышает 5 мм. В первых числах июля происходит завязывание плодов, массовое созревание – в сентябре. Плоды обратнояйцевидной формы 8–10 мм длиной, 6–7 мм в диаметре, содержат до четырех косточек, вначале – светло-зеленые, а зрелые – темно-красные. Зимостойкость вида оценивается в I-III балла. Растения неприхотливы к почве. В декоративных целях могут использоваться в группах и живых изгородях центральных и южных городов Республики Коми.

Cotoneaster melanocarpus – пряморастущий, листопадный кустарник, приурочен к областям с умеренным климатом в Европе, Северной и Центральной Азии, в Северной Африке, высотой до 2 м [3]. Произрастает в лесах Республики Коми, в культурных посадках не отмечен.

В условиях коллекции Ботанического сада кустарник достигает высоты 1,8 м и диаметра куста – 2,5 м, крона рыхлая, ветки раскидистые. Разворачивание листьев отмечено в середине третьей декады мая. Листья эллиптические, 4,5 см длины, сверху темно-зеленые, снизу беловато-войлочные, красивые, осеннюю окраску приобретают в первой декаде сентября. В третьей декаде мая начинается бутонизация, которая растянута до конца июня. Единичное цветение наступает в начале июня, а массовое – в начале третьей декады июня. Цветки розовые, мелкие, по 5–12 шт. в пазушных кистях. Завязывание плодов отмечается 28 июня – 1 июля, массовое созревание – в конце августа, плоды почти шаровидные, 7–8 мм длиной, 6–7 мм в диаметре, вначале светло-зеленые, зрелые – черные, матовые, с тремя-четырьмя косточками. Вид зимостоек, не требователен к плодородию почвы, не повреждается вредителями и болезнями и может занять достойное место в озеленительных посадках северных городов.

Новые для коллекции виды кизильника были выращены из семян, полученных в 2008 г. из Германии и Чехии. В 2014 г. растения девяти видов ушли под зиму с высотой кустов от 40 до 115 см. К пятилетнему возрасту в генеративный период вступил только один листопадный вид – ***Cotoneaster ascendens***, растение достигло высоты 40 см, плоды мелкие, длиной 6–8 мм, шириной 4–5 мм, с двумя косточками. О незначительной высоте (50 см) взрослого растения данного вида отмечают и другие исследователи [5]. Побеги у растений этого вида располагаются в горизонтальном направлении (фото 4), но приподнимаются в основании куста и достигают длины 60–80 см (по этому признаку, видимо, произошло название вида). Растение морозостойкое, зимостойкость оценивается в I-II балла.

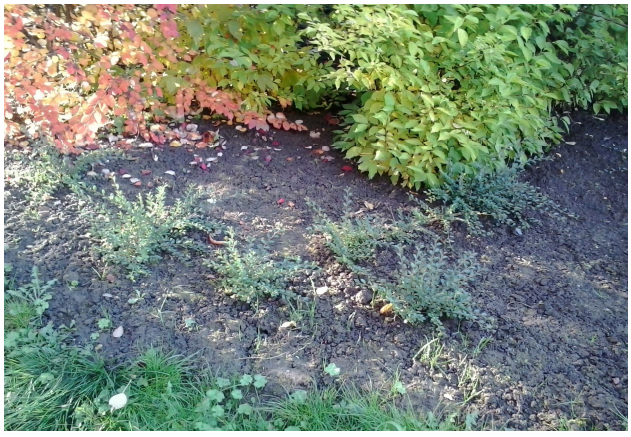


Фото 4. *Cotoneaster ascendens* – кизильник приподнимающийся.

Высокую зимостойкость показали также растения *Cotoneaster alaunicus* и *Cotoneaster allochrous*, у которых за время наблюдений не отмечалось обмерзания побегов. ***C. alaunicus*** – редкий листопадный вид, имеет статус категории 3 (R), является эндемиком Среднерусской возвышенности, особенно характерен для ее восточной части [14]. В 2014 г. высота куста растений пятого года жизни составляла 56 см, прирост однолетних побегов за сезон достигал 25 см, листья – 3,5-4 см длиной и 3 см шириной.

C. allochrous – прямостоячий, листопадный кустарник, естественно произрастающий на Тянь-Шане, где достигает 4 м высоты. В новых условиях произрастания к пятому году жизни – куст высотой 70 см, с листьями 3,5–5 см длиной и 3–3,5 см шириной.

Cotoneaster bullatus – листопадный кустарник от 2 до 4 м высоты. Родина – юго-западный Китай и Тибет. В культуре произрастает в Санкт-Петербурге, Воронеже, Минске, Киеве, Ташкенте и

Тарту [10]. На пятый год жизни растения достигли высоты 115 см. Листья эллиптические, эллиптически-яйцевидные, цельнокрайние, на вершине заостренные, длиной 10–12 см, шириной 4–6 см, сверху темно-зеленые, снизу светлее. Зимостойкость особей низкая, отмечено ежегодное подмерзание побегов.

Cotoneaster roseus. На родине в Афганистане, Гималаях листопадный кустарник достигает высоты до 3,5 м или бывает небольшим деревом. В культуре встречается крайне редко. Отличительная особенность растений данного вида – высокая декоративность. Листья эллиптические или яйцевидно-продолговатые, сверху зеленые с металлическим блеском, снизу серовато-зеленые, 4–5 см длиной, 2–2,5 см шириной. В 2014 г. высота растений пятого года жизни составляла 110 см.

Cotoneaster cinnabarinus и ***Cotoneaster niger*** – листопадные кустарники с крупными листьями 4 см длиной, 3,5 см шириной и высотой кустов соответственно 90 и 60 см.

Cotoneaster amoenus – невысокий полувечнозеленый или вечнозеленый кустарник. Естественно произрастает в Китае. К концу 2014 г. имел высоту 102 см, листья длиной 3 см и шириной 2,2 см.

В условиях интродукции образец ***Cotoneaster camilli-schnederi*** – вечнозеленое почвопокровное растение высотой 17 см, растет медленно, к концу вегетационного периода 2014 г. побеги достигли 14–16 см. Листья плотные, блестящие 1 см длиной, 0,7 см шириной.

Поскольку растения девяти новых интродуцированных видов рода кизильник отличались довольно высокой зимостойкостью и декоративностью, но на пятом году жизни не вступили еще в генеративный период (кроме *C. ascendens*), их изучение необходимо продолжить.

Заключение

Интродукционный эксперимент по культивированию 16 видов кизильника в среднетаежной подзоне Республики Коми показал, что семь из них: *Cotoneaster dammeri, C. horizontalis, C. x hybrida* (*C. uniflorus* × *C. melanocarpus*), *C. integerrimus, C. lucidus, C. melanocarpus, C. ascendens,* проходят полный цикл онтогенетического развития, образуют фертильные семена и имеют высокую зимостойкость (I-II балла). Это свидетельствует о сохранении у этих видов в новых для них условиях культивирования природных ритмических процессов. В ходе изучения динамики роста побегов установлено, что самое продолжительное время роста имеют растения вечнозеленых почвопокровных видов: *C. dammeri* и *C. buxifolius*. У кизильника самшитолистного рост побегов часто завершается только при наступлении низких температур, что приводит к обмерзанию побегов в отдельные годы. На основе полученных данных по зимостойкости растений, их семенному и вегетативному размножению для культивирования и использования в озеленении городов Республики Коми можно рекомендовать такие виды, как *C. dammeri, C. horizontalis, C. x hybrida* (*C. uniflorus* × *C. melanocarpus*), *C. Integerrimus, C. lucidus, C. melanocarpus*.

Литература

1. *Скупченко Л.А., Мишуров В.П., Волкова Г.А., Портнягина Н.В.* Интродукция полезных растений в подзоне средней тайги Республики Коми (итоги работы Ботанического сада за 50 лет). Т. III. СПб.: Наука, 2003. 213 с.
2. *Деревья и кустарники СССР*. Дикорастущие, культивируемые и перспективные для интродукции. Т. III. М.-Л., 1954. 872 с.
3. *Колесников А.И.* Декоративная дендрология. М., 1974. 703 с.
4. *Флора Северо-Востока* европейской части СССР / Под ред. А.И.Толмачева. Т. III. Л., 1976. 296 с.
5. *Гревцова А.Т., Казанская Н.А.* Кизильники в Украине. Киев: Нива, 1997. 192 с.
6. *Асеева Т.А., Блинова К.Ф., Яковлев Г.П.* Лекарственные растения тибетской медицины. Новосибирск: Наука, 1985. 160 с.
7. *Атлас по климату* и гидрологии Республики Коми / Отв. ред. А.И. Таскаев. М., 1997. 113 с.
8. *Методика фенологических наблюдений* в ботанических садах СССР / Под ред. П.И.Лапина. М., 1975. 27 с.
9. *Молчанов А.А., Смирнов В.В.* Методика изучения прироста древесных растений. М., 1967. 100 с.
10. *Древесные растения* Главного ботанического сада АН СССР / Отв. ред. Н.В. Цицин. М.: Наука, 1975. 547 с.
11. *Зайцев Н.Г.* Методика биометрических расчетов. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М., 1973. 256 с.
12. *Лапин П.И.* Сезонный ритм развития древесных растений и его значение для интродукции // Бюл. Гл. ботан. сада. 1967. Вып. 65. С. 13–18.
13. *Тагильцева В.М.* Рост побегов древесных растений, интродуцируемых в Хабаровск // Бюл. Главн. ботан. сада. 1977. Вып. 105. С. 32–36.
14. *Красная книга* РСФСР. Растения / Под ред. В.Д.Голованова. М.: Росагропромиздат, 1988. 582 с.

References

1. *Skupchenko L.A., Mishurov V.P., Volkova G.A., Portnyagina N.V.* Introdukcija poleznyh rastenij v podzone srednej tajgi Respubliki Komi (itogi raboty botanicheskogo sada za 50 let) [Introduction of useful plants in the middle taiga subzone of the Komi Republic (the outcome of the Botanical Garden for 50 years)]. Vol. III. St.Petersburg.: Nauka, 2003. 213 p.
2. *Derev'ja i kustarniki* SSSR. Dikorastushhie, kul'tiviruemye i perspektivnye dlja introdukcii [Trees and shrubs of the USSR. Wild, cultivated and perspective for the introduction]. Vol. III. Moscow-Leningrad, 1954. 872 p.
3. *Kolesnikov A.I.* Dekorativnaja dendrologija [Decorative dendrology]. Moscow, 1974. 703 p.
4. *Flora Severo-Vostoka* evropejskoj chasti SSSR [Flora of the North-East of the European part of the USSR]. Vol. III. Leningrad, 1976. 296 p.

5. *Grevtsova A.T., Kazanskaya N.A.* Kizil'niki v Ukraine [Cotoneaster in the Ukraine]. Kiev: Niva, 1997. 192 p.
6. *Aseeva T.A., Blinova K.F., Yakovlev G.P.* Lekarstvennye rastenija Tibetskoj mediciny [Medicinal plants of Tibetan medicine]. Novosibirsk: Nauka, 1985. 160 p.
7. *Atlas po klimatu* i gidrologii Respubliki Komi [The Atlas of Climate and Hydrology of the Republic of Komi]. Moscow, 1997. 113 p.
8. *Metodika fenologicheskih* nabljudenij v botanicheskih sadah SSSR / Ed. P.I. Lapina [Methods of phenological observations in the botanical gardens of the USSR / Ed. P.I. Lapin]. Moscow, 1975. 27 p.
9. *Molchanov A.A., Smirnov V.V.* Metodika izuchenija prirosta drevesnyh rastenij [Technique of studying growth of woody plants]. Moscow, 1967. 100 p.
10. *Drevesnye rastenija* Glavnogo botanicheskogo sada AN SSSR [Woody plants of the Main Botanical Garden of the Academy of Sciences of the USSR]. Moscow: Nauka, 1975. 547 p.
11. *Zaitsev N.G.* Metodika biometricheskih raschetov. Matematicheskaja statistika v jeksperimental'noj botanike [The technique of biometric calculations. Mathematical statistics in experimental botany]. Moscow, 1973. 256 p.
12. *Lapin P.I.* Sezonnyj ritm razvitija drevesnyh rastenij i ego znachenie dlja introdukcii [Seasonal rhythm of woody plants and its significance for introduction] // Bull. Main Botan. Garden. 1967. Issue №65. P. 13-18.
13. *Tagiltseva V.M.* Rost pobegov drevesnyh rastenij, introduciruemyh v Habarovsk [Growth of shoots of woody plants introduced in Khabarovsk] // Bull. Main Botan. Garden. 1977. Issue 105. P. 32-36.
14. *Krasnaja kniga* RSFSR rastenija [The Red Book of the RSFSR plants]. Moscow, Rosagropromizdat, 1988. 582 p.

Статья поступила в редакцию 10.06.2015

УДК 581.526.3-117.511:581.121:581.132(1-924.82)

ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ПИГМЕНТЫ И CO_2-ГАЗООБМЕН ВОДНЫХ МАКРОФИТОВ В ПОДЗОНЕ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

О.В.ДЫМОВА, И.В.ДАЛЬКЭ

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

Обобщены данные по пигментному комплексу и впервые дана характеристика параметров CO_2-газообмена представителей гидрофильной флоры водоёмов в окрестностях г.Сыктывкар. По сравнению с погруженными в воду макрофитами, листья прибрежно-водных растений накапливали больше каротиноидов, характеризовались более высокой скоростью CO_2-газообмена и устойчивостью к высокой инсоляции. Содержание хлорофиллов, квантовый выход видимого фотосинтеза, дыхательные затраты в процессе ассимиляции CO_2 и накопление сухой массы листьев макрофитов разных экологических групп практически сходны. Перспективно использование видов гидрофильной флоры для оценки баланса углерода и общей продуктивности водных ценозов.

Ключевые слова: **макрофиты, хлорофилл, каротиноиды, CO_2-газообмен, бореальная зона**

O.V.DYMOVA, I.V.DAL'KE. PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS AND CO_2-EXCHANGE OF MACROPHYTES IN THE MIDDLE TAIGA SUBZONE

Data on the photosynthetic pigment content (chlorophylls and carotenoids) and CO_2-gas exchange parameters of higher aquatic plants (macrophytes) from five reservoirs in the vicinity of Syktyvkar (the middle taiga subzone of the European Northeast) are given. The leaves of submerged macrophytes were characterized by low chlorophyll content and photosynthetic rates, were well adapted to low level of irradiance. The leaves of emergent plants accumulated more carotenoids (up to 2 mg/g of dry weight). Photosynthetic rates per dry mass in emergent leaves at photosaturation were higher (15 mg CO2 g^{-1} dw h^{-1}) as compared to submerged plants. The positive relationships between chlorophylls and carotenoids content was revealed for both groups of the studied macrophytes. Leaf nitrogen content on a mass basis was identical for both groups, while the leaf carbon content was higher in emergent plants. Steady functioning of the photosynthetic apparatus of macrophytes on water-air boundary is promoted by ecological heterophily (on an example of *Sium latifolium*). Use of macrophytes is perspective for the assessment of net-ecosystem carbon balance and total productivity of aquatic cenoses.

Keywords: **macrophytes, chlorophylls and carotenoids, CO_2-exchange, boreal zone**

Введение

Высшие водные и прибрежно-водные растения, по мнению ведущих гидроботаников мира [1–3], играют важную роль в формировании наиболее продуктивных растительных сообществ умеренных широт и являются участниками биологических процессов в водных экосистемах. Под флорой водоёмов (водотоков) понимается совокупность видов водных и береговых растений, закономерно встречающихся в водоёме (водотоке) [4]. В связи с большой площадью водных объектов Северо-Востока европейской части России растительность многих водоемов изучена недостаточно полно. К настоящему времени исследован видовой состав макрофитов водоемов Республики Коми.

Водно-болотные экосистемы Севера являются чувствительными к небольшим сдвигам регулирующих абиотических факторов среды. По данным [5], в пределах одной прибрежной зоны различия по нетто-экосистемному балансу углерода в разные годы могут достигать 4–6 моль $CO_2/м^2$. В бореальной зоне литораль (береговая линия) малых водоёмов (озёр) является источником аллохтонного и автохтонного углерода. Поступление органического вещества из прибрежной зоны способствует повышению эвтрофикации водоёмов и их биологической продуктивности. Количественная оценка составляющих баланса углерода на основе изучения CO_2-газообмена в естественных условиях у некоторых типичных представителей арктической флоры приведена в работе [6]. Моделированием продуктивно-

сти водных растений активно занимаются за рубежом [7, 8].

В водных и прибрежно-водных зонах в качестве предикторов ассимиляционной способности могут выступать факторы среды (освещенность, температура, количество биогенных элементов, др.), структура ценоза (число побегов, пространственное распределение листовой поверхности), биологические характеристики видов. Согласно данным [5], в середине летнего периода при световом насыщении (более 500 мкмоль/м^{2}с ФАР) скорость гросс-фотосинтеза в моновидовых зарослях тростника (*Phragmites australis*), кубышки желтой (*Nuphar lutea*) достигает 3 мкмоль CO_2/с в расчете на 1 кв м фитоценоза. В затапливаемой прибрежной зоне на лугах (доминанты: злаки, осоки – *Calamagrostis canescens*, *Carex aquatilis*, *Potentilla palustris*), болотах (доминанты: *Alisma plantago-aquatica*, *Calla palustris*, *Carex aquatilis*, *C. rostrata*, *Cicuta virosa*, *Lysimachia thyrsiflora*, *Potentilla palustris*, *Warnstorfia exannulata*) гросс-фотосинтез варьировал от 15 до 25 мкмоль CO_2/м^2 ценоза с$^{-1}$. Доля суммарного экосистемного дыхания в зависимости от видового состава и водного режима ценоза составляла от 10 до 80 % от величины гросс-фотосинтеза.

Функциональный подход в изучении макрофитов позволяет определить адаптационный потенциал растений и их индикационные свойства, оценить пригодность использования физиолого-биохимических признаков для классификации жизненных форм и экологических групп [9]. Пигменты играют центральную роль в фотофизических и фотохимических реакциях фотосинтеза, обеспечивая поглощение, запасание и превращение световой энергии. Параметры пигментного комплекса и CO_2-газообмена служат важными биоиндикаторами изменяющихся условий и могут быть использованы для диагностики функционального состояния растений. Структурно-функциональные особенности фотосинтетического аппарата (ФСА) макрофитов обусловлены разной степенью контакта листьев с водной средой и развитием экологической гетерофилии [10]. Большинство работ проведено на гидрофитах, выросших в условиях вегетационных опытов с контролируемым уровнем основных факторов, что не позволяет выявить приспособления ассимиляционной деятельности растений ко всему комплексу условий в естественных местообитаниях. Знание эколого-функциональных особенностей ФСА водных макрофитов позволит выявить адаптационные возможности растительных сообществ малых водоёмов.

В литературе сведения о пигментном составе большого числа прибрежно-водных и водных растений немногочисленны [11–13], а детальные исследования пигментного комплекса выполнены на ограниченном числе наиболее распространенных видов гидрофитов [14]. Величины по нетто-фотосинтезу листьев гидрофитов приведены, в основном, в работах зарубежных авторов [5, 15, 16]. Специальных работ по изучению CO_2-газообмена и состоянию пигментного комплекса листьев прибрежно-водных и водных растений подзоны средней тайги европейского Северо-Востока практически не проводилось. Это определяет актуальность и значимость данных исследований.

Цель настоящей работы – изучить пигментный комплекс и CO_2-газообмен представителей гидрофильной флоры водоёмов окрестностей г.Сыктывкара и дать характеристику структурно-функциональных показателей ассимиляционного аппарата макрофитов бореальной зоны.

Материал и методы

Сбор материала проводили в 2010−2014 гг. в водоёмах окрестностей г. Сыктывкара (61^{0}67’ с.ш., 50^{0}77’ в.д.) в бассейне р. Сысола. В летние периоды (июнь, июль) были обследованы пять водоемов (1 – водоем на территории Ботанического сада Сыктывкарского государственного университета (СыктГУ), 2 − в местечке Дырнос, 3 – в районе Орбита, 4 − озеро Выльты (пос. Краснозатонский), 5 – озеро Еляты (с. Выльгорт). Водоёмы имеют удлиненную форму, в них преобладают илистые или илисто-песчаные донные субстраты. Глубина водоёмов варьирует в диапазоне 0.5–6.0 м, прозрачность составляет 0.2–1.0 м. По уровню жёсткости и pH воды водоёмы можно отнести к мягким и нейтрально-щелочным (pH=6.5–7.5). По ионному составу они практически однотипны, относятся к гидрокарбонатно-кальциевым. Показатели ионов растворенных в воде веществ не превышали предельно допустимых концентраций (ПДК) (по СанПиН 2.1.4.1074-01).

Исследованиями были охвачены растения, входящие в обводненную зону, зону уреза воды (береговая линия) и переувлажненных берегов. Согласно экологической классификации [17], изученные виды разделили на группы экотипов: 1) водные растения с листьями, погруженными в толщу воды или плавающими на её поверхности; 2) прибрежно-водные и заходящие в воду береговые растения, чьи листья могут функционировать в воздушной и водной среде. По отношению к фактору увлажнения в водоемах преобладают гигрофиты (свыше 50%) и гелофиты (около 15%). Для всех видов указаны латинские названия по систематической сводке С.К.Черепанова [18].

Исследования пигментного комплекса листьев были проведены на 44 видах макрофитов из 27 семейств. Образцы листьев для определения содержания пигментов отбирали с 15–20 растений в трех–пятикратной биологической повторности. Для анализа использовали функционально зрелые листья, собранные в период цветения − плодоношения растений. Навеску свежего растительного материала (150–200 мг) фиксировали жидким азотом и хранили при -76^{0}С. Содержание пигментов в ацетоновых экстрактах определяли спектрофотометрически на приборе UV-1700 («Shimadzu», Япония) при длинах волн 662 и 644 нм (хлорофиллы *a* и *b*) и 478 нм (каротиноиды) с поправками в максимумах поглощения [19].

В летний период (июль) у листьев 14 видов макрофитов определяли CO_2-газообмен при разной интенсивности ФАР (от 0 до 1800 мкмоль/м^{2}с) и

температуре листа 20 °С. В этот период средняя температура воздуха составила 19 °С, относительная влажность воздуха – 71 %. В лабораторных условиях измеряли нетто-фотосинтез отделенных листьев макрофитов с помощью ИК-газоанализатора Li-7000 (Li-cor Inc., США), подключенного по дифференциальной схеме. Камеру с листом освещали лампой LRF 400W (Polamp, Польша), температуру в камере поддерживали с помощью термостата LT-300 (Loip, Россия). Для измерений использовали листья, плавающие на поверхности воды (у водных гидрофитов) и находящиеся в воздушной среде (у гелофитов и гигрофитов). Во время экспозиции листья были хорошо увлажнены.

Содержание азота и углерода определяли в высушенном размолотом материале с помощью элементного CHNS-O анализатора (EA-1110, Италия) по сертифицированной методике в аккредитованной экоаналитической лаборатории в трех биологических и двух аналитических повторностях.

Данные обрабатывали статистически с использованием однофакторного дисперсионного анализа ANOVA. В таблицах и на рисунках приведены средние величины со стандартной ошибкой. Сравнение выборок проводили с помощью t-теста, статистическую значимость оценивали при уровне значимости α 0.05.

Результаты и обсуждение

Установлено, что содержание хлорофиллов *a+b* в листьях 10 видов высших водных и 34 видов прибрежно-водных и заходящих в воду береговых растений варьировало в широких пределах, от 3.4 до 13.2 мг/г сухой массы (рис. 1). Содержание каротиноидов было в четыре–шесть раз ниже, чем хлорофиллов. Среди водных видов растений наибольшим содержанием хлорофиллов (в расчете на сухую массу листьев) характеризовались *Utricularia vulgaris*, *Potamogeton perfoliatus*, *Numphar lutea* (в среднем 8.4 мг/г), среди прибрежно-водных и заходящих в воду береговых растений – *Galium palustre, Alisma plantago-aquatica*, *Týpha latifolia*, *Myosotis palustris* (10–13 мг/г). Сравнительно низкое накопление пигментов было отмечено у *Lemna minor* (3.4 мг/г) и *Carex globularis* (4.5 мг/г). Выявлена положительная статистически значимая корреляция между содержанием хлорофиллов и каротиноидов в обеих группах (рис. 2).

Несмотря на то, что листья прибрежно-водных и заходящих в воду береговых растений незначительно превышали группу водных гидрофитов по накоплению хлорофиллов *a+b* и величине их соотношения, достоверных различий по этим показателям для изученных нами групп макрофитов выявлено не было (таблица). Это согласуется с данными, полученными в работе [15], для водных и заходящих в воду наземных растений, произрастающих в озёрах Дании. Характерное для большинства изученных нами водных гидрофитов (*Ceratophyllum demersum, Stratiotes aloides, Lemna minor* и *L. trisulca, Elodea canadensis, Hydrocharis morsus-ranae*) низкое соотношение хлорофиллов *a*/*b* (2.4–2.8) означает, что значительная часть хлорофиллов

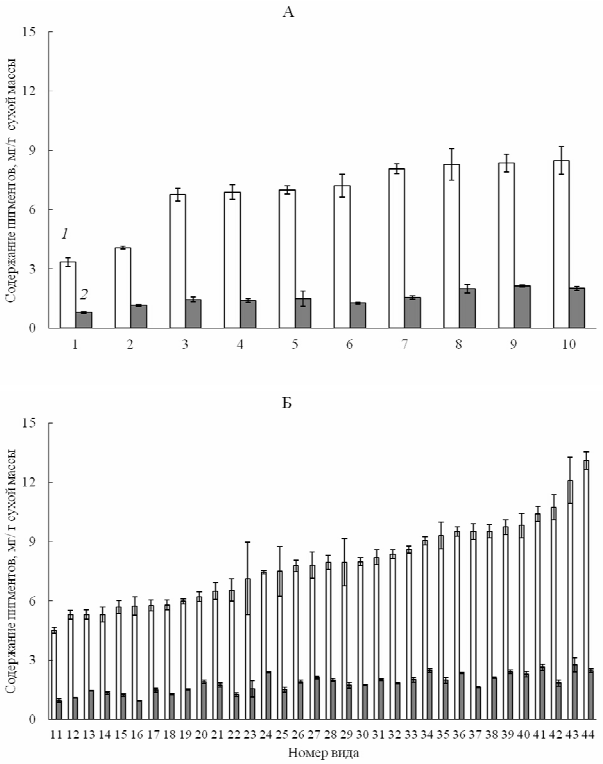


Рис. 1. Содержание хлорофиллов (светлые столбцы) и каротиноидов (темные столбцы) в листьях макрофитов. **Водные растения (А):** 1) *Lemna minor* (Пл), 2) *Nymphaea candida* (Пл), 3) *Lemna trisulca* (Гд), 4) *Ceratophyllum demersum* (Гд), 5) *Hydrocharis morsus-ranae* (Пл), 6) *Stratiotes aloides* (Гд), 7) *Elodea canadensis* (Гд), 8) *Utricularia vulgaris* (Гд), 9) *Potamogeton perfoliatus* (Гд), 10) *Numphar lutea* (Пл). **Прибрежноводные и береговые, заходящие в воду растения (Б):** 11) *Carex globularis* (ГМ), 12) *Equisetum palustre* (Гл), 13) *Naumburgia thyrsiflora* (МГг), 14) *Salix triandra* (Гг), 15) *Comarum palustre* (Гг), 16) *Polygonum amphilium* (Гг), 17) *Sparganium emersum* (Гл), 18) *Juncus filiformis* (Гл), 19) *Juncus nodulosus* (Гл), 20) *Carex acuta* (Гг), 21) *Sagittaria sagittifolia* (Гл), 22) *Carex vesicaria* (Гл), 23) *Eleocharis palustris* (Гг), 24) *Thalictrum flavum* (М), 25) *Hippuris vulgaris* (Гл), 26) *Menyanthes trifoliata* (Гг), 27) *Carex cinerea* (МГг), 28) *Bistorta officinalis* (Гг), 29) *Carex nigra* (Гг), 30) *Rorippa palustris* (МГг), 31) *Agrostis stolonifera* (М), 32) *Ranunculus repens* (ГМ), 33) *Carex rostrata* (Гл), 34) *Calla palustris* (Гл), 35) *Epilobium palustre* (Гг), 36) *Lythrum salicaria* (Гг), 37) *Equisetum fluviatile* (Гл), 38) *Stachys palustris* (МГг), 39) *Sium latifolium* (Гл), 40) *Scirpus lacustris* (Гл), 41) *Galium palustre* (Гг), 42) *Alisma plantago-aquatica* (Гл), 43) *Typha latifolia* (Гг), 44) *Myosotys palustris* (Гг). **Экотипы:** Гл – гелофиты, Гг – гигрофиты, Гд – гидатофиты (гигрофиты погруженные), Пл – плейстофиты (гидрофиты) с плавающими листьями, МГг – мезогигрофит, ГМ – гигромезофит, М – мезофит.

принадлежит светособирающему комплексу (ССК) фотосистем. Доля хлорофиллов, локализованных в ССК, превышала 55% от общего фонда хлорофиллов (таблица). Повышенное содержание антенного хлорофилла компенсирует низкий уровень накопления зеленых пигментов [20]. Благодаря высокой

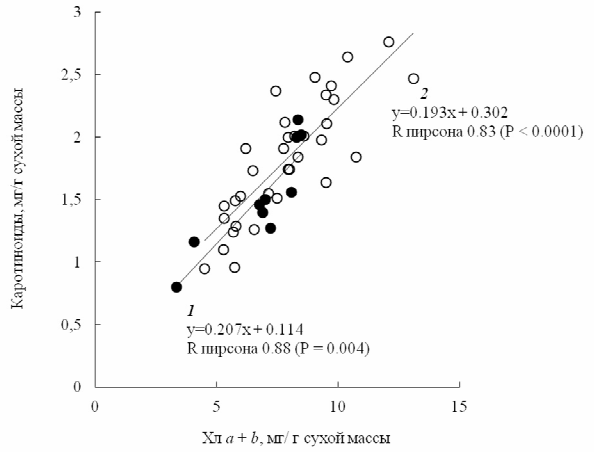


Рис. 2. Связь между содержанием хлорофиллов и каротиноидов в листьях макрофитов: 1 – водные, 2 – прибрежно-водные и заходящие в воду береговые растения.

для исследованных нами двух групп макрофитов не обнаружено. Средняя величина удельной поверхностной плотности листа (УППЛ) составила около 0.5 г сухой массы на 1 кв. дм листовой поверхности. Величина УППЛ отрицательно коррелировала с количеством хлорофиллов. По-видимому, у надводных и плавающих видов гидрофитов [22], как и у наземных растений [23], изменения содержания пигментов в единице массы связаны с различным соотношением фотосинтезирующих и нефотосинтезирующих тканей.

Листья прибрежно-водных видов (*Alisma plantago-aquatica*, *Calla palustris*, *Carex rostrata*, *Myosotys palustris*, надводные листья *Sium latifolium*) фотосинтезировали со скоростью до 15 мг CO_2/ г сухой массы ч и выше. В расчёте на площадь листовой поверхности эта величина составила около 3 мкмоль CO_2/м^{2}с. Водные гидрофиты с погружёнными (*Ceratophyllum demersum*, *Elodea canadensis*) и плавающими (*Hydrocharis morsus-ranae, Numphar lutea)* листьями и подводные листья *Sium latifolium* усту-

Структурно-функциональная характеристика листьев и ассимиляционного аппарата макрофитов разных экологических групп из водоемов бореальной зоны (Республика Коми)

Показатели	Водные растения	Прибрежно-водные и заходящие в воду береговые растения	P – величина для t-критерия
Содержание углерода, мг/г сухой массы	376 ± 47 / 18	430 ± 5 / 4	0.013
Содержание общего азота, мг/г сухой массы	25.4 ± 8.4 / 47	30.5 ± 2.4 / 28	0.460
Удельная поверхностная плотность листьев, г/дм^2	0.63 ± 0.28 / 76	0.48 ± 0.07 / 45	0.447
Хлорофиллы *a* + *b*, мг / г сухой массы	6.7 ± 0.6 / 28	7.8 ± 0.3 / 27	0.172
Каротиноиды, мг / г сухой массы	1.4 ± 0.1 / 25	1.8 ± 0.1 / 26	0.023
Соотношение Хл *a*/*b*	3.0 ± 0.3 / 27	3.3 ± 0.1 / 12	0.821
Доля Хл в ССК, %	58 ± 3 / 14	52 ± 1 / 10	0.008
Нетто-фотосинтез, мг CO_2/г сухой массы ч	9.0 ± 2.9 / 73	15.0 ± 2.6 / 50	0.148
Нетто-фотосинтез, мкмоль CO_2/ м^2 с	3.1 ± 0.1 / 7	4.4 ± 0.5 / 32	0.156
Ассимиляционное число, мг CO_2/мг Хл ч	1.2 ± 0.4 / 80	1.7 ± 0.4 / 59	0.370

Примечание: в числителе – среднеарифметическое значение ± стандартная ошибка среднего значения, в знаменателе – коэффициент вариации, %. Сравнение выборок проводили с помощью t-теста, статистическую значимость оценивали при уровне значимости α 0.05.

доле хлорофиллов в ССК листья погруженных гидрофитов способны осуществлять ассимиляционную деятельность при дефиците света и недостатке CO_2, имеющего низкий коэффициент диффузии в воде [21]. Надводные листья прибрежно-водных видов и плавающие листья водных гидрофитов (*Numphar lutea, Nymphaea candida*) способны функционировать в воздушной среде при высокой освещенности.

Листья прибрежно-водных и заходящих в воду береговых растений содержали больше углерода, чем листья водных растений (таблица). По содержанию азота и величине удельной поверхностной плотности листа статистически значимых различий пали группе прибрежно-водных видов по фотосинтетической способности в расчете на сухую массу и площадь листа в 1,5 раза. Темновое дыхание листьев растений в обеих группах не превышало 13 % от максимальных значений видимого поглощения CO_2.

У погруженных и плавающих на воде листьев величина светового компенсационного пункта CO_2-газообмена была ниже, и скорость фотосинтеза достигала насыщения при меньшем освещении (150 – 400 мкмоль/м^{2}с ФАР), чем у надводных листьев. В листьях, находящихся в воздушной среде или на границе воздух–вода, насыщение фотосинтеза светом наступало при ФАР более 500

мкмоль/м^{2}с. У некоторых видов (*Numphar lutea*, *Sium latifolium*, *Hydrocharis morsus-ranae*) повышение ФАР до 1800 мкмоль/м^{2}с приводило к снижению скорости видимого фотосинтеза на 20 – 50 % от максимальной скорости поглощения CO_2. Квантовый выход видимого фотосинтеза у листьев макрофитов разных экологических групп составлял около 0.03. Эффективность использования азота в процессе нетто-фотосинтеза для групп водных и прибрежно-водных растений составила 0.35 и 0.49 мг CO_2/(мг N ч) соответственно. Межвидовая вариабельность величины скорости фотосинтеза в расчете на содержание хлорофиллов *a+b* была высокой, значения изменялись на порядок от 0.3 – 0.5 (*Elodea canadensis*, *Carex rostrata*, *Numphar lutea*) до 3 – 4 мг CO_2/(г Хл ч) (*Hydrocharis morsusranae*, *Naumburgia thyrsiflora*, *Carex rostrata,* надводные листья *Sium latifolium*).

По имеющимся в литературе данным [11], размах скорости ассимиляции CO_2 у водных растений меньше на порядок (0.6–4.5 ммоль С/м^{2}ч), чем для наземных (2.0–157.0 ммоль С/м^{2}ч). Водные растения способны ассимилировать с высокой скоростью, если часть их листового аппарата находится в воздушной среде (явление гетерофилии). Так, инвазивные в водоемах Европы растения *Ludwigia grandiflora* (людвигия крупноцветковая) и *Hydrocotyle ranunculoides* (щитолистник лютиковидный) способны поглощать до 3.5 ммоль CO_2/ г сухой массы ч [24]. Это в 6–10 раз больше, чем фотосинтетическая способность изученных нами водных и прибрежно-водных растений в бореальной зоне. По нашим данным, скорость ассимиляции CO_2 в группах водных и прибрежно-водных гидрофитов в пересчете на углерод составила в среднем 3.0 и 4.3 ммоль С/м^{2}ч соответственно. Эти значения близки к величинам, приведенным в работе [11], для водных видов и вдвое выше для группы периодически затопляемых береговых растений, произрастающих в водоёмах Дании. Полученная нами средняя величина нетто-фотосинтеза (около 3–4 мкмоль CO_2/м^{2}с) сопоставима с данными других авторов [5, 15, 16].

На примере модельного растения *Sium latifolium* L., имеющего и надводные, и погруженные листья, выявлены различия между разными типами листьев по ряду функциональных характеристик (рис. 3). Получающие меньше света погруженные в толщу воды листья отличались более низким содержанием хлорофиллов и характеризовались высокой долей хлорофилла *b* в ССК (63%). Структура пигментного комплекса погруженных листьев в значительной степени направлена на усиление светособирающей функции в условиях ослабления и изменения спектрального состава проникающего в толщу воды света. Такие же результаты были получены ранее [14] для пигментного аппарата погруженных листьев трех видов *Potamogeton* по мере естественного снижения освещенности с увеличением глубины. Из рис. 3 видно, что надводные листья *Sium latifolium* способны поглощать CO_2 со скоростью до 25 мг / г сухой массы ч. Погруженные в воду листья *Sium latifolium* в 2.5 раза уступали воздушным по скорости ассимиляции углекислоты и характеризовались более низкой эффективностью использования света. В воздухе насыщение нетто-фотосинтеза наступало при интенсивности ФАР 200–300 мкмоль/м^{2}с, а устойчивое поглощение CO_2 наблюдалось в диапазоне от 500 до 1000 мкмоль/м^{2}с ФАР. В воде насыщение и максимум нетто-фотосинтеза происходило при освещении до 200 мкмоль/м^{2}с, с повышением интенсивности освещения скорость нетто-фотосинтеза быстро снижалась до 20% от максимального значения. Интенсивность дыхания воздушных и водных листьев не превышала 17 % от максимума видимого поглощения CO_2. Динамика изменения CO_2-газообмена листьев разного типа *Sium latifolium* сохранялась и в расчете на единицу площади листа, так как по величине УППЛ листья практически не отличались. Величина этого показателя характеризует отношение биомассы листа к его площади. У надводных листьев *Sium latifolium* она составляла 0.40±0.01 г/дм^2, у подводных − 0.43±0.06 г/дм^2. Надводные листья характеризовались высокой фотосинтетической способностью. По ассимиляционной способности они в 2.5 раза превышали средние значения, полученные для наземных многолетних трав в бореальной зоне [25]. Экологическая гетерофилия обеспечивала устойчивую работу ассимиляционного аппарата *Sium latifolium* в воздушной среде и толще воды.

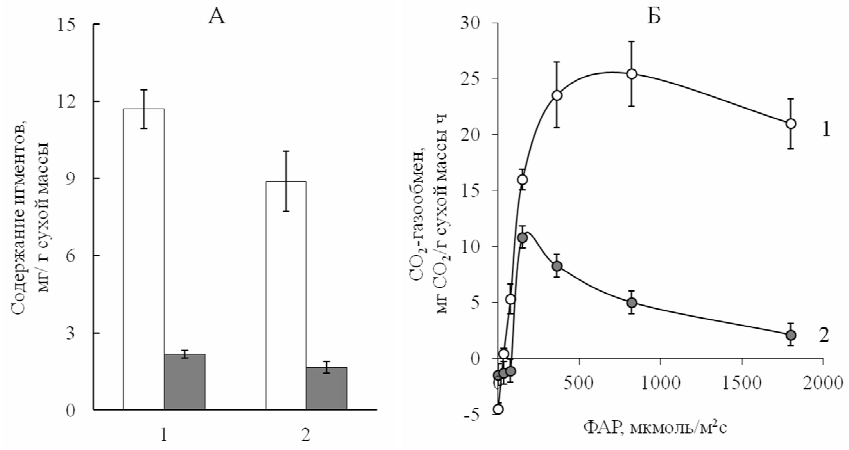


Рис. 3. Содержание хлорофиллов (светлые столбцы), каротиноидов (темные столбцы) (А) и световая зависимость CO_2-газообмена (Б) надводных (1) и погружённых (2) в воду листьев *Sium latifolium* при температуре 20 °С (июль).

У обеих рассмотренных групп макрофитов (водных и прибрежно-водных с заходящими в воду береговыми растениями) интенсивность фотосинтеза зависела от содержания пигментов в расчёте на единицу сухой массы листа. Макрофиты с высокой ассимиляционной спо-

соб-ностью накапливают в листьях от 12 до 20 мг Хл *a+b*/г сухой массы [24], минимальный уровень нако-пления хлорофиллов − 4 мг Хл *a+b* / г сухой массы [11]. В бореальной зоне у макрофитов, приурочен-ных к водной среде и береговой зоне, содержание пигментов в листьях составляло около 7–8 мг Хл *a+b* / г сухой массы и характеризовалось средней вариабельностью (коэффициент вариации ниже 30%). Для некоторых изученных нами гидрофитов (*Calla palustris, Hydrocharis morsus-ranae, Lemna tri-sulca, Lemna minor, Numphar lutea, Elodea cana-densis*, *Polygonum amphibium*) характерно понижен-ное содержание хлорофиллов (4–13 мг/г сухой массы) по сравнению с одноименными гидрофитами из рек Свердловской области (5–17 мг/г сухой массы) [16] и малых водоёмов Дании (8–22 мг/г сухой массы) [11, 15]. Величина ассимиляционного числа (количество CO_2, фиксируемого фототрофным органом в расчете на единицу содержания хлорофилла) у изученных нами видов составляла 1.2 − 1.7 мг CO_2 / (мг Хл ч), что эквивалентно примерно 0.034 ммольС/ (мг Хл ч). У прибрежно-водных (воздушных) и погруженных макрофитов северо-западных водоемов Европы (Дания) ассимиляционное число варьировало в широком диапазоне от 0.006 до 1.2 ммольС/мг Хл ч, что было обусловлено как межвидовыми различиями, так и степенью контакта ассимилирующих органов растений с водной и/или воздушной средой [11].

Заключение

Итак, анализ пигментного комплекса 44 представителей гидрофильной флоры водоемов окрестностей г. Сыктывкара показал, что в листьях прибрежно-водных видов накапливалось больше каротиноидов (в среднем до 2 мг/г сухой массы), чем у водных растений. При этом листья двух изученных групп макрофитов практически не различались по содержанию хлорофиллов. Отмеченная нами высокая доля хлорофилла в светособирающем комплексе хлоропластов водных гидрофитов свидетельствует о теневыносливости и приспособленности к дефициту света в воде. На примере *Sium latifolium* L. показано, что у погруженных листьев относительно большое содержание хлорофилла *b* обеспечивает эффективный светосбор в условиях низкой освещенности в толще воды. Макрофиты бореальной зоны не уступают наземным травянистым многолетникам по скорости поглощения CO_2 и эффективности использования азота в процессе фотосинтеза.

Виды гидрофильной флоры перспективны для оценки накопления углерода и общей продуктивности водных ценозов. На основе данных мониторинга процессов фотосинтеза и дыхания растений можно рассчитать такие балансовые показатели, как брутто-продуктивность и нетто-продукцию ценоза. Согласно полученным нами данным, скорость видимого фотосинтеза листьев *Numphar lutea* достигала 4–5 мг CO_2/дм^{2}ч. Исходя из этой величины, в подзоне средней тайги за период с июля по август первичная нетто-продукция зарослей (в виде монослоя листьев) *N. lutea* составит до 160–200 г С/м^2. Наши результаты сопоставимы с данными [26] по продуктивности этого вида, рассчитанными путём прямых количественных измерений размеров, фитомассы растений и их прироста, в малых реках Ярославской области.

Литература

1. *Распопов И.М.* Фитомасса и продукция Онежского озера // Микробиология и первичная продукция Онежского озера. Л.: Наука, 1973. С.123–142.
2. *Распопов И.М.* Высшая водная растительность больших озер Северо-Запада СССР. Л.: Наука, 1985. 200 с.
3. *Westlake D.F., Kvet J., Szczepanski A.* The production ecology of wetlands. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1998. 568 p.
4. *Папченков В.Г., Щербаков А.В., Лапиров А.Г.* Рекомендуемые для использования общие понятия гидроботаники // Гидроботаника 2005: Материалы VI Всероссийской школы-конференции по водным макрофитам. Рыбинск, 2006. С. 377–378.
5. *Larmola T., Alm J., Juutinen S., Martikainen P. J., Silvola J.* Ecosystem CO_2 exchange and plant biomass in the littoral zone of a boreal eutrophic lake // Freshwater Biology. 2003. Vol.48. № 8. P.1295–1310.
6. *Назаров С.К., Сивков М.Д., Некучаева Е.В.* Фотосинтез и баланс углерода у гидрофильных арктических растений. Сыктывкар, 1991. 23 с. (Серия препринтов «Научные доклады»/Коми научный центр УрО АН СССР; Вып. 261).
7. *Bartleson R.D., Kemp W.M., Stevenson J.C.* Use of a simulation model to examine effects of nutrient loading and grazing on *Potamogeton perfoliatus* L. communities in microcosms // Ecol. Modelling. 2005. Vol.185. P.483–512.
8. *Zimmerman R.C., Cabello-Pasini A., Alberte R.S.* Modelling daily production of aquatic macrophytes from irradiance measurements: a comparative analyses // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1994. Vol.114. P.185–196.
9. *Вейсберг Е.И.* Жизненные формы и экологические группы макрофитов предгорных озёр Южного Урала (Челябинская область) // Известия Челябинского научного центра. 2004. Вып.3 (24). С.111–116.
10. *Ронжина Д.А.* Структурно-функциональная организация фотосинтетического аппарата листьев высших водных растений: Автореф. дис. … канд. биол. наук. СПб., 2003. 17 с.
11. *Nielsen S.L.* A comparison of aerial and submerged photosynthesis in some Danish amphibious plants // Aquatic Botany. 1993. Vol.45. №.1. P.27–40.
12. *Ронжина Д.А., Некрасова Г.Ф., Пьянков В.И.* Сравнительная характеристика пигментного комплекса надводных, плавающих и погруженных листьев гидрофитов // Физиология растений. 2004. Т.51. №1. С.27–34.
13. *Новаковская Т.В., Дымова О.В.* Видовое разнообразие и пигментный комплекс макрофитов водоёмов окрестностей г. Сыктывкара

(Республика Коми) // Вестник Нижегородского университета им. Н.И.Лобачевского. 2012. № 5(1). С.127–134.
14. *Шерстнева О.А.* Пигментный комплекс подводных листьев некоторых видов Potamogeton (Potamogetonaceae) в разных условиях освещенности// Ботанический журнал. 2004. Т.89. №5. С.821–829.
15. *Nielsen S., Sand-Jensen K.* Regulation of photosynthetic rates of submerged rooted macrophytes // Oecologia. 1989. Vol. 81. № 3. P. 364–368.
16. *Ribaudo C., Bartoli M., Longhi D., Castaldi S., Neubauer S.C., Viaroli P.* CO_2 and CH_4 fluxes across a *Nuphar lutea* (L.) Sm. Stand // J. Limnol. 2012. Vol.71. № 1. P. 200–210.
17. *Папченков В.Г.* О классификации макрофитов водоёмов и водной растительности // Экология. 1985. № 6. С.8–13.
18. *Черепанов С.К.* Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб.: Мир и семья, 1995. 992 с.
19. *Маслова Т.Г., Попова И.А., Попова О.Ф.* Критическая оценка спектрофотометрического метода количественного определения каротиноидов // Физиология растений. 1986. Т.39. Вып. 6. С. 615–619.
20. *Maslova T.G., Popova I.A.* Adaptive Properties of the Pigment Systems // Photosynthetica. 1993. Vol. 29. P. 195–203.
21. *Smith F.A., Walker N.A.* Photosynthesis by Aquatic Plants: Effects of Unstirred Layers in Relation to Assimilation of CO_2 and HCO_3^- Isotopic Discrimination // New Phytol. 1981. Vol. 86. P. 245–259.
22. *Pyankov V., Kondratchuk A., Shipley B.* Leaf structure and specific leaf mass: the alpine desert plants of the Estern Pamirs, Tadjikistan// New Phytol. 1999. Vol.143. P.131–142.
23. *Слемнев Н.Н.* О взаимосвязи между интенсивностью фотосинтеза, концентрацией хлорофилла и структурой листьев растений Монголии // Факторы среды и организация первичных процессов фотосинтеза / Ред. Л.К.Островская. Киев: Наукова Думка, 1989. С.137–143.
24. *Hussner A.* Growth and photosynthesis of four invasive aquatic plant species in Europe // Weed Research. 2009. Vol. 49. № 5. P.506–515.
25. *Далькэ И.В.* Физиология и экология фотосинтеза растений бореальной зоны // Фундаментальные и прикладные проблемы современной экспериментальной биологии растений: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием и школы для молодых ученых, посвященной 125-летию Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН. М.: ИФР РАН, 2015. С. 195–199.
26. *Чернова А.М.* Сезонная динамика продуктивности кубышки жёлтой *Nuphar lutea* (L.) Smith (Nymphaeaceae) в малой реке Ильдь (Ярославская область) // Биология внутренних вод. 2015. №2. С.60–68.

References

1. *Raspopov I.M.* Fitomassa i produktciia onezhskogo ozera [Phytomass and production of Onega lake] // Mikrobiologiia i pervichnaia produktciia Onezhskogo ozera [Microbiology and primary production of Onega lake]. Leningrad: Nauka, 1973. P.123–142.
2. *Raspopov I.M.* Vysshaia vodnaia rastitel`nost` bol`shikh ozer Severo-Zapada SSSR [Higher water plants of large lakes of the USSR Northwest]. Leningrad: Nauka, 1985. 200 p.
3. *Westlake D.F., Kvet J., Szczepanski A.* The production ecology of wetlands. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1998. 568 p.
4. *Papchenkov V.G., Shcherbakov A.V., Lapirov A.G.* Rekomenduemy`e dlia ispol`zovaniia obshchie poniatiia gidrobotaniki [General concepts of hydrobotany recommended for use] // Hydrobotany 2005: Materials of VI All-Russia school-conf. on water macrophites] Rybinsk, 2006. P. 377–378.
5. *Larmola T., Alm J., Juutinen S., Martikainen P. J., Silvola J.* Ecosystem CO_2 exchange and plant biomass in the littoral zone of a boreal eutrophic lake // Freshwater Biology. 2003. Vol.48. № 8. P.1295–1310.
6. *Nazarov S.K., Sivkov M.D., Nekuchaeva E.V.* Fotosintez i balans ugleroda u gidrofil`nykh arkticheskikh rastenii`. Seriia preprintov «Nauchny`e doclady`» [Photosynthesis and carbon balance in hydrophilic Arctic plants]. Komi Sci.Centre, Ural Br., USSR Ac.Sci. 1991. Issue 261. 23 p.
7. *Bartleson R.D., Kemp W.M., Stevenson J.C.* Use of a simulation model to examine effects of nutrient loading and grazing on *Potamogeton perfoliatus* L. communities in microcosms // Ecol. Modelling. 2005. V.185. P.483-512.
8. *Zimmerman R.C., Cabello-Pasini A., Alberte R.S.* Modelling daily production of aquatic macrophytes from irradiance measurements: a comparative analyses // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1994. Vol.114. P.185-196.
9. *Veisberg E.I.* Zhiznennye formy i ekologicheskie gruppy makrofitlov predgornykh ozyor Iuzhnogo Urala (Cheliabinskaia oblast`) [Vital forms and ecological groups of macrophites of foothill lakes of the Southern Urals (Chelyabinsk Region)]// Trans. of Cheliabinsk Sci. Centre. 2004. Issue 3 (24). P.111-116.
10. *Ronzhina D.A.* Strukturno-funktcional`naia organizatciia fotosinteticheskogo apparata list`ev vysshikh vodnykh rastenii [Structural-functional organization of the photosynthetic apparatus of the higher water plants leaves] : Abstract of Diss. Cand. Sci. (Biology). St.Petersburg, 2003. 17 p.
11. *Nielsen S.L.* A comparison of aerial and submerged photosynthesis in some Danish amphibious plants // Aquatic Botany. 1993. V.45, №.1. P.27–40.
12. *Ronzhina D.A., Nekrasova G.F., Pyankov V.I.* Sravnitel`naia harakteristika pigmentnogo kompleksa nadvodnykh, plavaiushchikh i pogruzhennykh listyev gidrofitov // Fiziolo-

giia rastenii [The comparative characteristics of pigmentary complex of above-water, floating and submerged hydrophites leaves / Plants Physiology]. 2004. Vol.51. №1. P.27-34.
13. *Novakovskaya T.V., Dymova O.V.* Vidovoe raznoobrazie i pigmentnyi kompleks makrofitov vodoyomov okrestnostei g. Syktyvkara (Respublika Komi) [Species diversity and pigmentary complex of macrophites of reservoirs in the vicinity of Syktyvkar (Republic of Komi)] // Bull. of N.I.Lobachevsky Nyzhny Novgorod Univ. 2012. №5(1). S.127-134.
14. *Sherstneva O.A.* Pigmentnyi kompleks podvodnykh listyev nekotorykh vidov Potamogeton (Potamogetonaceae) v raznykh usloviiakh Osveshchennosti [Pigmentary complex of submerged leaves of some species of Potamogetonacae at different illumination] // Botanicheskii zhurnal [Botanical J.]. 2004. Vol.89. №5. P.821-829.
15. *Nielsen S., Sand-Jensen K.* Regulation of photosynthetic rates of submerged rooted macrophytes//Oecologia. 1989. V.81. №3. P. 364-368.
16. *Ribaudo C., Bartoli M., Longhi D., Castaldi S., Neubauer S.C., Viaroli P.* CO_2 and CH_4 fluxes across a *Nuphar lutea* (L.) Sm. Stand // J. Limnol. 2012. V.71. № 1. P. 200-210.
17. *Papchenkov V.G.* O classifikatcii makrofitov vodoyomov i vodnoi rastitelnosti [On classification of macrophites of reservoirs and water vegetation] // Ekologiia [Ecology]. 1985. № 6. P.8-13.
18. *Cherepanov S.K.* Sosudistye rasteniia Rossii i sopredelnykh gosudarstv [Vascular plants of Russia and the adjacent states]. St.Petersburg: Mir i semya, 1995. 992 p.
19. *Maslova T.G., Popova I.A., Popova O.F.* Kriticheskaia otsenka spektrofotometricheskogo metoda kolichestvennogo opredeleniia karotinoidov [Critical estimation of a spectrophotometric method of quantitative definition of carotinoids]// Fiziologiia rastenii [Plants Physiology]. Vol.39. Issue 6. 1986. P. 615-619.
20. *Maslova T.G., Popova I.A.* Adaptive Properties of the Pigment Systems // Photosynthetica. 1993. Vol. 29. P. 195-203.
21. *Smith F.A., Walker N.A.* Photosynthesis by Aquatic Plants: Effects of Unstirred Layers in Relation to Assimilation of CO_2 and HCO_3^- Isotopic Discrimination // New Phytol. 1981. Vol. 86. P. 245-259.
22. *Pyankov V., Kondratchuk A., Shipley B.* Leaf structure and specific leaf mass: the alpine desert plants of the Estern Pamirs, Tadjikistan// New Phytol. 1999. Vol.143. P.131-142.
23. *Slemnev N.N.* O vzaimosviazi mezhdu intensivnostyu fotosinteza, koncentratciei khlorofilla i strukturoi listyev rastenii Mongolii // Faktory sredy i organizatciia pervichnykh protcessov fotosinteza [On interrelation between intensity of photosynthesis, chrolophyill concentration and structure of leaves of Mongolia plants // Factors of environment and the organization of primary processes of photosynthesis]/ Ed. L.K.Ostrovskaya. Kiev: Naukova Dumka, 1989. P.137-143.
24. *Hussner A.* Growth and photosynthesis of four invasive aquatic plant species in Europe // Weed Research. 2009. Vol. 49. № 5. P.506–515.
25. *Dal`ke I. V.* Fiziologiia i ekologiia fotosinteza rastenii borealnoi zony // Fundamentalnye i pricladnye problemy sovremennoi eksperi-mentalnoi biologii rastenii: materialy Vserossiiskoi nauchnoi konferentcii s mezh-dunarodny`m uchastiem i shkoly dlia mo-lodykh uchenykh, posviashchennoi 125-letiiu Instituta fiziologii rastenii im. K.A. Timiriazeva RAN [Physiology and ecology of photosynthesis of boreal zone plants // Fundamental and applied problems of modern experimental plant biology: Materials of All-Russia sci.conf. and young scientists school devoted to 125 anniv. of K.A.Timiryazev Inst. of Plants Physiology, RAS]. Moscow: IFR RAN, 2015. P. 195–199.
26. *Chernova A.M.* Sezonnaia dinamika produktivnosti kubyshki zheltoi Nuphar lutea (L.) Smith v maloi reke Il'd' (Iaroslavskaia oblast') // Biologiia vnutrennikh vod [Seasonal dynamics of Nuphar lutea (L.) Smith productivity in the small river Il'd' (Yaroslavl region) // Biology of internal waters]. 2015. №2. P.60-68.

Статья поступила в редакцию 15.12.2015.

УДК 611.018. 63

МОРФОМЕТРИЯ ЖЕЛУДОЧКОВ СЕРДЦА КРЫС ЛИНИИ НИСАГ В ПЕРИОД РАННЕГО ПОСТНАТАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

О.В. СУСЛОНОВА*, И.М. РОЩЕВСКАЯ*, А.А. РАСПУТИНА*,**

**Отдел сравнительной кардиологии, Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар*
***ФГБОУ ВО «СГУ им. Питирима Сорокина», г. Сыктывкар*
compcard@mail.ru

Выявлены признаки формирования структурного ремоделирования миокарда желудочков у гипертензивных животных в период раннего постнатального онтогенеза: от открытия глаз до перехода на самостоятельное питание (с 14 по 28 сут. после рождения). Морфометрическое исследование сердца крыс линии НИСАГ с артериальной гипертензией показало апико-базальную неоднородность увеличения толщины стенок желудочков и межжелудочковой перегородки в разные периоды раннего постнатального онтогенеза.

Ключевые слова: **постнатальный онтогенез, ремоделирование миокарда, желудочки сердца, крыса НИСАГ, артериальная гипертензия**

O.V. SUSLONOVA, I.M. ROSHCHEVSKAYA, A.A. RASPUTINA. **MORPHOMETRY OF THE HEART VENTRICLES IN NISAG RATS DURING THE EARLY POSTNATAL ONTOGENESIS**

The structural remodeling of the ventricular myocardium in hypertensive animals during early postnatal ontogenesis: from opening the eyes to an independent food supply (14 to 28 days after birth) is revealed. Morphometric study of ISIAH rats heart with arterial hypertension showed apicobasal heterogeneity of increase of the ventricular walls thickness and interventricular septum in different periods of early postnatal ontogenesis.

Keywords: **postnatal ontogenesis, myocardial remodeling, heart ventricles, ISIAH rats, arterial hypertension**

Артериальная гипертензия является одним из наиболее распространенных кардиоваскулярных заболеваний. Современные представления о закономерностях формирования артериальной гипертензии противоречивы, что связано с большим разнообразием механизмов ее возникновения. Гипертензивные состояния часто генетически детерминированы [1]. Артериальная гипертензия приводит к структурным изменениям сердечно-сосудистой системы, в том числе ремоделированию миокарда, которое проявляется в изменении толщины и кривизны сердечной стенки [2].

Удобной моделью для изучения закономерностей ремоделирования миокарда, вызванного артериальной гипертензией, являются линии крыс с генетически детерминированной артериальной гипертензией. У крыс с генетически обусловленной артериальной гипертензией гипертрофия миокарда может развиваться до формирования устойчивого повышенного давления [3]. У новорожденных крыс линии SHR увеличение размеров сердца происходит раньше, чем формирование артериальной гипертензии [4]. Создаются линии крыс с наследственной гипертрофией желудочков и нормальным артериальным давлением [5, 6].

Крысы линии НИСАГ выведены в Институте цитологии и генетики СО РАН и являются адекватной экспериментальной наследственно обусловленной моделью стресс-индуцированной артериальной гипертензии. В трехнедельном возрасте гипертензивные крысы линии НИСАГ имеют такой же уровень артериального давления, как нормотензивные крысы линии Вистар [7], но к месячному возрасту артериальное давление у крыс НИСАГ достоверно выше, чем у крыс Вистар той же возрастной группы [8].

В процессе раннего постнатального онтогенеза крыс выделяют четыре критических периода: рождение, новорожденность (ранний молочный период) – первая неделя после рождения, период открытия глаз (14-20 сут.) и период перехода на самостоятельное питание – 28 сут. [9, 10]. Вопросы ремоделирования миокарда крыс с артериальной гипертензией в ранние сроки постнатального онтогенеза мало изучены.

Задача исследования – выявление признаков раннего ремоделирования миокарда желудочков крыс НИСАГ с наследственно обусловленной артериальной гипертензией в критические периоды раннего постнатального онтогенеза.

Материал и методы исследования

Исследовали желудочки сердца крыс линии НИСАГ четырех возрастных групп: одно- (n=12), семи- (n=11), 14-ти (n=12), 28-ми (n=9) сут. после рождения. Сердца замораживали и изготавливали гистологические срезы толщиной 7 мкм с помощью микротома-криостата Leica CM 1510S (Германия). Окрашивание срезов производили с помощью гематоксилина и эозина. На гистологических срезах измеряли толщины свободной стенки правого желудочка, межжелудочковой перегородки, латеральной стенки левого желудочка на уровне верхушки, экватора и основания сердца. Срезы фотографировали с помощью камеры-окуляра DCM 500 (Бельгия) и обрабатывали, используя программу для визуализации и математического измерения Scope Photo. Измеряли массу тела (весы лабораторные ACOM JW-1, точность – 0,05 г, Южная Корея) и абсолютную массу сердца (весы аналитические OHAUS Europe AR0640, точность – 0,5 мг). Статистическую обработку вариационных рядов и проверку их на нормальность распределения проводили пакетом Statistica 6.0. Данные представляли в виде среднего арифметического ± стандартного отклонения, достоверность оценивали критерием Манна-Уитни при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования

Абсолютная масса тела и сердца крысят линии НИСАГ с 1-х по 28-е сут. постнатального развития достоверно увеличивается. Абсолютная масса сердца с 1-го по 7-й день жизни возрастает в 1,3 раза, с 7-го по 14-й день примерно в два, с 14-го по 28-й день в три раза. Масса сердца крысят линии НИСАГ растет быстрее массы тела в возрасте от одних до семи суток постнатального онтогенеза, что привело к увеличению относительной массы сердца. С 7-го по 28-й день после рождения относительная масса сердца крыс снижалась.

Правый желудочек

Морфометрическое исследование правого желудочка сердца крыс линии НИСАГ в период раннего постнатального онтогенеза показало, что толщина свободной стенки желудочка на уровне основания не изменялась в период с 1-х до 14-х сут. после рождения, в возрасте от 14-ти до 28-ми дней увеличивалась в 1,7 раз (рис. 1А). На уровне верхушки и экватора сердца у крысят в возрасте от 1-го до 28 дней жизни не выявлено достоверного увеличения толщины стенки желудочка.

Межжелудочковая перегородка

Морфометрическое исследование межжелудочковой перегородки показало, что у крыс линии НИСАГ в возрасте от 1-го до 7-ми дней перегородка утолщается: в 1,8 раз на уровне верхушки, в 1,4 – на уровне экватора, в 1,2 раза на уровне основания (рис.1Б). В возрасте с 7-ми до 14-ти дней постнатального онтогенеза толщина межжелудочковой перегородки увеличилась в 1,5 раза на уровне верхушки, в 1,2 раза – на уровне экватора и основания. К 28-му дню после рождения по сравнению с однодневными крысятами межжелудочковая перегородка утолщается на уровне верхушки в 2,8 раза, на уровне экватора и основания сердца в 1,6–1,7 раз. В период с 14 до 28 дней постнатального онтогенеза толщина межжелудочковой перегородки не изменялась на всех исследованных уровнях.

Левый желудочек

Морфометрическое исследование свободной стенки левого желудочка в период раннего постнатального онтогенеза показало, что у крыс линии НИСАГ в возрасте от 1-го до 7-ми дней свободная стенка левого желудочка утолщается в 1,5 раза на уровне верхушки и экватора сердца и в 1,6 раз – на уровне основания (рис.1.В). В возрасте с 7-ми до 14-ти дней постнатального онтогенеза толщина левого желудочка увеличилась в 1,2 раза на уровне верхушки и в 1,5-1,6 раз – на уровне экватора и основания сердца. В период с 14 по 28 день после рождения толщина свободной стенки левого желудочка увеличилась в 1,1 раза на уровне экватора и основания, на уровне верхушки не изменилась. В возрасте 28 сут. по сравнению с однодневными крысами стенка левого желудочка в большей степени утолщается на уровне экватора и основания сердца (в 2,5 раза), в меньшей степени – на уровне верхушки (в 1,8 раз).

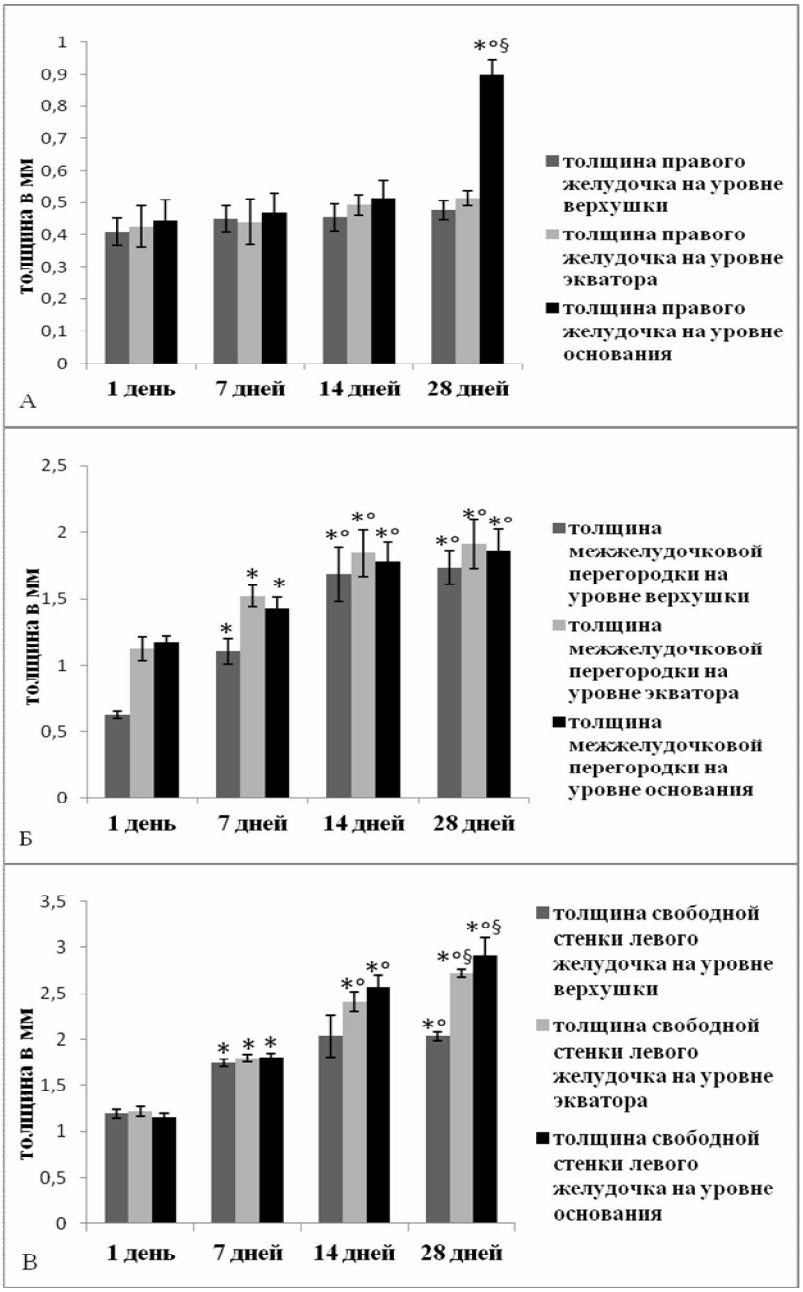
Масса тела, абсолютная и относительная масса сердца крыс линии НИСАГ в период раннего постнатального онтогенеза

Возраст / Параметр	1-е сутки (n=12)	7-е сутки (n=11)	14-е сутки (n=12)	28-е сутки (n=9)
Масса тела, г	6,83±0,50	7,99±0,59*	21,40±1,66*	71,04±17,35*
Масса сердца, мг	55,8±15,1	75,0±0,9*	140,8±23,9*	410,0±94,6*
Масса сердца/масса тела, мг/г	8, 06±1,77	9,42±1,16*	6,24±1,47*	5,89±1,18*

*- различия значимы при $p \leq 0,05$ относительно однодневных крыс

Обсуждение

Абсолютная масса сердца однодневных крысят линии НИСАГ достоверно больше, чем у крыс линии Вистар [11] и спонтанно гипертензивных крыс линии SHR [12] того же возраста. В течение первой недели постнатального онтогенеза происходит повышение соотношения веса сердца к массе тела у крысят линии НИСАГ, что указывает на ускорение



* - достоверно по отношению с 1-м днем $p \leq 0,05$; ˚ - достоверно по отношению с 7-м днем $p \leq 0,05$; § - достоверно по отношению с 14-м днем $p \leq 0,05$.

Рис.1. Толщина стенок сердца и межжелудочковой перегородки у крыс линии НИСАГ в период раннего постнатального онтогенеза: А – правого желудочка, Б – межжелудочковой перегородки, В – левого желудочка.

роста примерно на 7-й день. С 7-го по 28-й день жизни масса тела растет в 1,6 раз быстрее массы сердца, что приводит к снижению относительной массы сердца. Увеличение относительной массы сердца в период новорожденности и снижение ее с возрастом происходит у нормотензивных крыс линии Вистар [13, 14], гипертензивных линии SHR [15] и линии НИСАГ [16]. Нами показано, что относительная масса сердца гипертензивных крыс линии НИСАГ достоверно больше на всем периоде раннего постнатального онтогенеза, чем у нормотензивных крыс линии Вистар. Максимальное значение относительной массы сердца крыс линии НИСАГ отмечено на 7-й день, у крыс линии Вистар – на 4–5-й дни постнатального развития [11, 14].

Максимальное значение относительной массы сердца, по-видимому, связано с окончанием фазы пролиферации кардиомиоцитов у крыс разных линий. Возраст, на котором заканчивается пролиферация кардиомиоцитов в сердце крысы, четко не определен [17]. Одни исследования показали, что в сердце нормотензивных крыс быстрое переклю-

чение от гиперплазии к гипертрофическому росту миоцитов происходит между 3-м и 4-м послеродовыми днями [13], другие авторы утверждают, что пролиферативная фаза заканчивается на 6-й послеродовой день [18]. У гипертензивных крыс линии SHR гиперплазия кардиомиоцитов заканчивается в течение 5–8 дней после рождения [19].

У нормотензивных крыс линии Вистар в период от первого до 14-х дней жизни толщина свободной стенки правого желудочка на уровне верхушки, экватора и основания не изменяется [11]. У гипертензивных крыс линии НИСАГ за этот период жизни толщина свободной стенки правого желудочка в апико-базальном направлении не изменяется. В период с 14-ти до 28 дней у гипертензивных крыс линии НИСАГ формируется существенное утолщение свободной стенки правого желудочка на уровне основания сердца и возникает значительная разница в толщинах стенки правого желудочка в апико-базальном направлении.

В процессе роста животного левый желудочек подвергается быстро увеличивающейся нагрузке давлением, что приводит к утолщению стенок желудочка за счет гиперплазии и гипертрофии кардиомиоцитов в период раннего постнатального онтогенеза [11].

У крыс линии НИСАГ в период с первого до 7-го дня толщина свободной стенки левого желудочка крыс линии НИСАГ увеличивалась в 1,6 раза, во вторую неделю постнатального онтогенеза – в 1,4 раза. В период с 14-ти до 28-ми дней происходит снижение темпов роста сердца, которое отражается отсутствием достоверных различий в толщине межжелудочковой перегородки на всех исследованных уровнях и левого желудочка на уровне верхушки; небольшим утолщением свободной стенки левого желудочка на уровне экватора и основания сердца. Ранее показано, что возраст в 14 дней является «критическим» для сердечно-сосудистой системы крысят [20]. К 14-ти дням прекращается деление кардиомиоцитов и дальнейшее увеличение массы миокарда происходит за счет гипертрофии [13].

Закономерности изменения толщины свободной стенки левого желудочка крыс линии НИСАГ в период с 1-14 дней сходны с таковыми у крыс линии Вистар [11]. К 28 сут. постнатального развития толщина свободной стенки левого желудочка на уровне экватора сердца у крыс линии НИСАГ была вдвое больше, чем у крыс линий Вистар и SHR той же возрастной группы [21]. Это может быть вызвано повышением уровня артериального давления к воз-расту 1 мес. у крыс линии НИСАГ – 138-146 мм рт. ст. [22] по сравнению с нормотензивными крысами – 90-100 [21] и крысами линии SHR – 124-130 мм рт. ст. [23].

Показано увеличение с возрастом соотношения толщины правого желудочка к левому у крыс линии НИСАГ: в 1-е сут. – 1:1,7; 7-е – 1:3,7; в 14 дней – 1:4,3; в 28 сут. – 1:4,4. У крыс линии Вистар это соотношение с возрастом увеличивается – в 1-е сутки – 1:1,2; 5-е – 1:2,5; в 11 дней – 1:3,5 [11], но меньше, чем у крыс линии НИСАГ.

Таким образом, у гипертензивных крыс линии НИСАГ выявлена неоднородность утолщения стенок желудочков и межжелудочковой перегородки в апико-базальном направлении к 28-му дню после рождения: существенное утолщение основания правого желудочка (с 14 по 28 день); соотношение толщин межжелудочковой перегородки изменяется на всех трех уровнях; соотношение толщин левого желудочка от верхушки к основанию резко увеличивается к 28-му дню.

Заключение

1. Выявлена неоднородность увеличения толщин свободных стенок желудочков и межжелудочковой перегородки в апико-базальном направлении в разные критические периоды раннего постнатального онтогенеза у гипертензивных крыс линии НИСАГ.

2. В процессе раннего постнатального онтогенеза обнаружены сходные закономерности изменения толщин стенок желудочков и межжелудочковой перегородки у гипертензивных крыс линии НИСАГ и нормотензивных крыс линии Вистар в период до 14 сут. после рождения, связанные с постнатальным развитием миокарда.

3. Установлено, что раннее структурное ремоделирование миокарда у гипертензивных крыс линии НИСАГ происходит в период от 14 до 28 дней постнатального развития. В период с 14 по 28 сут. после рождения у гипертензивных крыс линии НИСАГ наблюдаются морфологические изменения стенок сердца, характерные для развития крыс в ранние сроки после рождения и связанные с развитием артериальной гипертензии.

Литература

1. *Маркель А.Л.* Генетика артериальной гипертонии // Вестник Российской академии наук. 2008. Т. 78. № 3. С. 235–246.
2. *Найдич А.М.* Структурная неоднородность левого желудочка и ремоделирование // Бюл. сибир. медицины. 2006. №1. С. 38–45.
3. *Innes B.A., McLaughlin M.G., Kapuscinski M.K. et al.* Independent genetic susceptibility to cardiac hypertrophy in inherited hypertension // J. Hypertension. 1998. Vol. 31. №3. P. 741–746.
4. *Hamet P., Thorin-Trescases N., Moreau P., Dumas P. et al.* Workshop: excess growth and apoptosis: is hypertension a case of accelerated aging of cardiovascular cells // Hypertension. 2001. Vol. 37. №2 (pt 2). P. 760–766.
5. *Harrap S.B., Danes V.R., Ellis J. A., Griffiths C.D. et al.* The hypertrophic heart rat: a new normotensive model of genetic cardiac and cardiomyocyte hypertrophy // Physiological Genomics. 2002. Vol. 9 №.1. P. 43-48.
6. *Генетическая модель* гипертрофии миокарда без повышенного артериального давления у крыс / А.Ю.Постнов, О.П.Фомина, В.А.Петрухина, Е.Ю.Будников, Н.А.Дорощук // Артериальная гипертензия. 2003. Т. 9. №4. С. 115–116.
7. *Маркель А.Л., Дымшиц Г.М., Шмерлинг М.Д., Якобсон Г.С.* Гены, стресс, гипертония // Бюл. СО РАМН . 2002. № 2. С.35–40.

8. *Маханова Н.А., Маркель А.Л., Якобсон Г.С.* Онтогенетическая динамика артериального давления и характеристик ЭКГ у крыс линии НИСАГ с наследственной артериальной гипертензией // Бюл. СО РАМН. 1997. № 1. С.102–105.
9. *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.
10. *Zicha J., Kunes J.* Ontogenetic aspects of hypertension development: analysis in the rat // Physiol. Rev. 1999. Vol.79. №4. P.1227–1282.
11. *Anversa P., Olivetti G. and Loud A.V.* Morphometric study of early postnatal development in the left and right ventricular myocardium of the rat. I. Hypertrophy, hyperplasia, and binucleation of myocytes // Circ. Res. 1980. Vol. 46. №4. P. 495–502.
12. *Walter S.V., Hamet P.* Enhanced DNA synthesis in heart and kidney of newborn spontaneously hypertensive rats // Hypertension 1986. Vol. 8. № 6. P. 520–525.
13. *Li F., Wang X., Capasso J.M., Gerdes A.M.* Rapid transition of cardiac myocytes from hyperplasia to hypertrophy during postnatal development // J. Mol. Cell Cardiol. 1996. Vol. 28. №8. P. 1737–1746.
14. *Ošťádalová I., Charvátová Z., Wilhelm J.* Lipofuscin-like pigments in the rat heart during early postnatal development: effect of selenium supplementation // Physiol Res. 2010. Vol. 59. №6. P. 881–886.
15. *Cebova M., Kristek F.* Age-dependent ultrastructural changes of coronary artery in spontaneously hypertensive rats // Gen. Physiol. Biophys. 2011. Vol. 30. №4. P. 364–372.
16. *Коростышевская И.М., Максимов В.Ф.* Возрастные структурно-функциональные особенности миоэндокринных клеток сердца у крыс в норме и при наследственной гипертензии // Онтогенез. 2013. Т. 44. №2. С. 77–90.
17. *Pressure overload induced* in newborn rats: effects on left ventricular growth, morphology, and function / F.Kolár, F.Papousek, V.Pelouch, B.Ostádal, K.Rakusan // Pediatr. Res. 1998. Vol. 43. №4 (Pt 1). P. 521–526.
18. *Clubb F.J.Jr., Bishop S.P.* Formation of binucleated myocardial cells in the neonatal rat. An index for growth hypertrophy // Lab. Invest. 1984. Vol. 50. №5. P. 571–577.
19. *Engelmann G.L., Gerrity R.G.* Biochemical characterization of neonatal cardiomyocyte development in normotensive and hypertensive rats // J. Mol. Cell Cardiol. 1988. Vol. 20. №2. P. 169–177.
20. *Нигматулина Р.Р., Ахметзянов В.Ф., Насырова Д.И., Ахметзянова А.Ф.* Серотониновая регуляция функций сердца в постнатальном онтогенезе крыс // Морфологические ведомости. 2004. №1–2. С. 72–73.
21. *Engelmann G.L., Vitullo J.C., Gerrity R.G.* Morphometric analysis of cardiac hypertrophy during development, maturation, and senescence in spontaneously hypertensive rats // Circ. Res. 1987. Vol. 60. №4. P. 487–494.
22. *Структурные особенности* коры надпочечника крыс с наследственной индуцированной стрессом артериальной гипертензией в раннем периоде постнатального онтогенеза / И.И.Бузуева, М.Д.Шмерлинг, Е.Е.Филюшина, А.Л.Маркель, Г.С. Якобсон // Морфология. 1998. Т. 113. №2. С. 84–88.
23. *Dickhout J.G., Lee R.M.* Blood pressure and heart rate development in young spontaneously hypertensive rats// Am. J. Physiol. 1988. Vol. 274. №3 (Pt 2). P. 794–800.

References

1. *Markel' A.L.* Genetika arterial'noj gipertonii// Vestnik rossijskoj akademii nauk [Genetics of arterial hypertension] // Bull. of Russian Ac. Sci. 2008. Vol. 78. № 3. P. 235-246.
2. *Naidich A.M.* Strukturnaja neodnorodnost' levogo zheludochka i remodelirovanie // Bjull. sibir. Mediciny [Structural heterogeneity of left ventricle and remodeling // Bull of Siberian Medicine]. 2006. №1. P. 38-45.
3. *Innes B.A., McLaughlin M.G., Kapuscinski M.K, Jacob HJ, Harrap SB.* Independent genetic susceptibility to cardiac hypertrophy in inherited hypertension // J. Hypertension. 1998. Vol. 31. №3. P. 741-746.
4. *Hamet P., Thorin-Trescases N., Moreau P., Dumas P., Tea B.-S., de Blois D., Kren V., Pravenec M., Kunes J., Sun Y., Tremblay J.* Workshop: excess growth and apoptosis: is hypertension a case of accelerated aging of cardiovascular cells // Hypertension. 2001. Vol. 37. №2 (pt 2). P. 760–766.
5. *Harrap S.B. , Danes V.R. , Ellis J. A., Griffiths C.D. , Jones E.F. , Delbridge L.M. D.* The hypertrophic heart rat: a new normotensive model of genetic cardiac and cardiomyocyte hypertrophy // Physiological Genomics. 2002. Vol. 9 №.1. P. 43-48.
6. *Postnov A.Yu., Fomina O.P., Petrukhina V.A, Budnikov E.Yu., Doroshchuk N.A.* Geneti-cheskaja model' gipertrofii miokarda bez povyshennogo arterial'nogo davlenija u krys // Arterial'naja gipertenzija [Genetic model of hypertrophy of myocardium without the raised arterial pressure in rats]. 2003. Vol. 9. №4. P. 115-116.
7. *Markel' A.L., Dymshits G.M., Shmerling M.D., Yakobson G.S.* Geny, stress, gipertonija // Bjulleten' SO RAMN [Genes, stress, hypertension]. 2002. № 2. P.35-40.
8. *Makhanova N.A., Markel' A.L., Yakobson G.S.* Ontogeneticheskaja dinamika arterial'nogo davlenija i harakteristik JeKG u krys linii NISAG s nasledstvennoj arterial'noj gipertenziej [Ontogenetic dynamics of arterial pressure and characteristics of the ECG in rats of ISIAH line with hereditary arterial hypertension]// Bjul. SO RAMN. 1997. № 1. P.102-105.
9. *Mahin'ko V.I., Nikitin V.N.* Konstanty rosta i funkcional'nye periody razvitija v postna-

tal'noj zhizni belyh krys // Molekuljarnye i fiziologicheskie mehanizmy vozrastnogo razvitija [Constants of growth and the functional periods of development in postnatal life of white rats // Molecular and physiological mechanisms of age development] / Ed. V.N. Nikitina. Kiev: Naukova dumka, 1975. P. 308–326.

10. *Zicha J., Kunes J.* Ontogenetic aspects of hypertension development: analysis in the rat // Physiol. Rev. 1999. Vol. 79. №4. P. 1227-1282.
11. *Anversa P., Olivetti G. and Loud A.V.* Morphometric study of early postnatal development in the left and right ventricular myocardium of the rat. I. Hypertrophy, hyperplasia, and binucleation of myocytes // Circ. Res. 1980. Vol. 46. №4. P. 495-502.
12. *Walter S.V., Hamet P.* Enhanced DNA synthesis in heart and kidney of newborn spontaneously hypertensive rats // Hypertension 1986. Vol. 8. № 6. P. 520-525.
13. *Li F., Wang X., Capasso J.M., Gerdes A.M.* Rapid transition of cardiac myocytes from hyperplasia to hypertrophy during postnatal development // J. Mol. Cell Cardiol. 1996. Vol. 28. №8. P. 1737–1746.
14. *Ošťádalová I., Charvátová Z., Wilhelm J.* Lipofuscin-like pigments in the rat heart during early postnatal development: effect of selenium supplementation // Physiol Res. 2010. Vol. 59. №6. P. 881-886.
15. *Cebova M., Kristek F.* Age-dependent ultrastructural changes of coronary artery in spontaneously hypertensive rats // Gen. Physiol. Biophys. 2011. Vol. 30. №4. P. 364-372.
16. *Korostyshevskaja I.M., Maksimov V.F.* Vozrastnye strukturno-funkcional'nye osobennosti miojendokrinnyh kletok serdca u krys v norme i pri nasledstvennoj gipertenzii // Ontogenez [Age structural-functional characteristics of cardiac myoendocrine cells in rats in norm and at hereditary hypertension // Ontogenesis] 2013. Vol. 44. №2. P. 77-90.
17. *Kolár F., Papousek F., Pelouch V., Ostádal B., Rakusan K.* Pressure overload induced in newborn rats: effects on left ventricular growth, morphology, and function // Pediatr. Res. 1998. Vol. 43. №4 (Pt 1). P. 521-526.
18. *Clubb F.J.Jr., Bishop S.P.* Formation of binucleated myocardial cells in the neonatal rat. An index for growth hypertrophy // Lab. Invest. 1984. Vol. 50. №5. P. 571-577.
19. *Engelmann G.L., Gerrity R.G.* Biochemical characterization of neonatal cardiomyocyte development in normotensive and hypertensive rats // J. Mol. Cell Cardiol. 1988. Vol. 20. №2. P. 169-77.
20. *Nigmatulina R.R., Akhmetzyanov V.F., Nasyrova D.I., Akhmetzyanova A.F.* Serotoninovaja reguljacija funkcij serdca v postnatal'nom ontogeneze krys // Morfologicheskie vedomosti [Serotonin regulation of heart function in postnatal ontogenesis in rats // Morphological records]. 2004. №1-2. P. 72-73.
21. *Engelmann G.L., Vitullo J.C., Gerrity R.G.* Morphometric analysis of cardiac hypertrophy during development, maturation, and senescence in spontaneously hypertensive rats // Circ. Res. 1987. Vol. 60. №4. P. 487-494.
22. *Buzueva I.I., Shmerling M.D., Filyushina E.E., Markel' A.L., Yakobson G.S.* Strukturnye osobennosti kory nadpochechnika krys s nasledstvennoj inducirovannoj stressom arterial'noj gipertenziej v rannem periode postnatal'nogo ontogeneza // Morfologija [Structural characteristics of adrenal cortex in rats with hereditary stress-induced arterial hypertension in the early period of postnatal ontogenesis // Morphology].1998. Vol. 113. №2. P. 84-88.
23. *Dickhout J.G., Lee R.M.* Blood pressure and heart rate development in young spontaneously hypertensive rats //Am. J. Physiol. 1988. Vol. 274. №3 (Pt 2). P. 794-800.

Статья поступила в редакцию 29.07.2015.

Известия Коми научного центра УрО РАН
№ 1(25). Сыктывкар, 2016.

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 552.1:53(234.851)

АНАЛИЗ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОД ВОСТОЧНОЙ ЗОНЫ СЕВЕРА УРАЛА

Т.А.ПОНОМАРЕВА, А.М.ПЫСТИН

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
taponomareva@inbox.ru, pystin@komis.ru

Обобщены данные по петрофизическим характеристикам горных пород основных петрографических разностей восточной структурной зоны севера Урала. Изучение физических свойств проведено с учетом изменчивости плотности и магнитной восприимчивости пород, отличающихся вещественным составом, условиями образования, типом и степенью метаморфизма. Устойчивые зависимости между плотностью и магнитной восприимчивостью позволяют выделить четыре петрофизические группы геологических формаций и определить причины изменения физических свойств пород восточной зоны севера Урала.

Ключевые слова: **петрофизическая характеристика, физические свойства, плотность, магнитная восприимчивость, офиолиты, габбро, граниты, вулканогенно-осадочные**

T.A.PONOMAREVA, A.M.PYSTIN. ANALYSIS OF PHYSICAL PROPERTIES OF ROCKS IN THE EASTERN ZONE OF THE NORTH OF THE URALS

We summarized data on petrophysical characteristics of rocks of the main petrographic types from the eastern structural zone in the north of the Urals. Physical properties of rocks were studied taking into account the variability in density and magnetic susceptibility of rocks differing in material composition, formation conditions, the type and degree of metamorphism. Stable interrelations between density and magnetic susceptibility allow to distinguish four petrophysical groups of geological formations and to determine the causes of changes in the physical properties of rocks in the eastern zone of the northern part of the Urals.

The first petrophysical group of rocks comprises *ultrabasic rocks* of Rayiz-Voikar ophiolite association with relatively high density (2.90–3.10 g/cm^3) and average magnetization (455–680×10^{-6} CGS). Complicated and unstable correlations between density and magnetic susceptibility that should be considered together with the serpentinisation process were found in these rocks. As the extent of serpentinisation rises dunites and harzburgites strongly lose their density properties to 2.76 и 2.72 g/cm^3 but display high magnetic attributes up to 6329×10^{-6} CGS.

The second petrophysical group of rocks (*pyroxenites-gabbro*) is represented by rocks of dunite-wehrlite-clinopyroxenite and gabbro associations. Basites of Kershor plutonic association demonstrate high values of density and magnetic susceptibility. Wehrlites and clinopyroxenites have σ 2.87–3.05 g/cm3 and æ varies within a broad range from 800 to 9000×10^{-6} CGS. Density limits of hornblendites 3.10–3.23 g/cm^3 and magnetic susceptibility ranges from 600 to 1000×10^{-6} CGS; the same values in gabbro 2.79–3.10 g/cm^3 and 1500–4000×10^{-6} CGS respectively (Table). Rocks of the second petrophysical group demonstrate direct proportional dependencies between density and magnetic susceptibility.

A classic dependence between density and basicity (silicon dioxide content) of rocks is observed. The only exclusion are strongly serpentinitized basites.

The third petrophysical group of rocks (*diorite-plagiogranite*) consists of intrusive rocks of average and moderately high silica content represented by diorites, quartz diorites and granodiarites of Sob and Kongor associations. Relatively high values of density (σ_{mean} 2.80 g/cm^3) and magnetic susceptibility (σ_{mean} 900×10^{-6} CGS) observed in diorites and quartz diorites become lower in rocks with high content of silica. Thus plagiogranites and porphyritic granites are characterized by lower density and magnetic properties (σ_{mean} 2.66 g/cm^3 and σ_{mean} 400×10^{-6} CGS).

The fourth petrophysical group of rocks (*volcanic-sedimentary*) comprises dacites, andesite, basaltic andesites and their tuffs with interlayers of tuff sandstones and reef limestones of Malouralskaya Suit, and also by conglomerates, grit-

stones and tuff sandstones of Varchatinskaya Suit. Differentiation of physical properties is more sharply expressed in volcanics. Their density (from 2.83 to 2.66 g/cm^3) and magnetic susceptibility (from 3100×10^{-6} to 400×10^{-6}) regularly decrease together with lowering of silica content. Density of volcanic-sedimentary rocks (tuffs) in the most cases is lower than density of volcanic rocks of the same composition that makes it possible to separate them using geophysical data. Magnetic properties are rather constant not depending on the rock's composition.
This petrophysical study is an important part of comprehensive research program of deep structure of Timan-North Urals region. Our results are used for development of new models and clarification of the existing models of structure and evolution of lithosphere and also provide independent additional data on composition of rocks, the extent to that they were changed and the amount of low-temperature metamorphism.

Keywords: **petrophysical characteristics, physical properties, density, magnetic susceptibility, ophiolites, gabbro, granite, volcanic-sedimentary rocks**

Введение

На современном этапе геологических знаний актуальным остается комплексный подход к оценке роли глубинных образований Тимано-Североуральского региона при разработке новых или уточнения существующих моделей строения и эволюции литосферы. Одними их важных направлений в данном вопросе являются петрофизические исследования, с помощью которых можно решить ряд геолого-геофизических задач. Восточная зона севера Урала относится к районам с широко развитыми процессами эндогенного и экзогенного породообразования. В связи с этим изучение физических свойств пород дает дополнительные данные о составе, степени их изменения и объеме проявлений низкотемпературного метаморфизма. Кроме того, петрофизическая характеристика разновозрастных пород помогает сгруппировать их по сходству или различию корреляционных связей между физическими параметрами в различные комплексы, которые в дальнейшем могут использоваться как "память" о геодинамических обстановках прошлого в истории развития литосферы Урала. Наконец, точность и понимание причин изменения плотностных и магнитных свойств пород помогают при применении геофизических методов для определения пространственного положения магматических и вулканогенных комплексов в структуре земной коры.

В результате многолетних исследований накоплен огромный материал по петрофизическим характеристикам пород восточной зоны севера Урала (свыше 30 тыс. определений плотности и магнитной восприимчивости), содержащийся в различных источниках. При подготовке данной статьи, кроме собственных определений, авторы использовали материал совместных исследований, проведенных с коллегами Института геологии Коми НЦ УрО РАН, а также данных, приведенных в научных публикациях и отчетах "Комигеолфонда" (см. таблицу). Наши собственные петрофизические исследования в большей степени касались изучения магнитных (более 1 тыс. определений) и плотностных (более 100 определений) свойств пород базит-ультрабазитового пояса Полярного Урала.

Магматические и вулканогенно-осадочные комплексы восточной структурной зоны севера Урала

Разрезы магматических и вулканогенно-осадочных образований Приполярного и Полярного Урала, пространственно связанные с Главным Уральским разломом и расположенные к востоку от него, с актуалистических позиций рассматриваются как фрагменты палеоокеанической коры с надстроенной над ней палеоостроводужной системой [1–3 и др.]. Наблюдаемая здесь смена структурно-вещественных комплексов с запада на восток в общих чертах определяет их взаимное положение в разрезе (снизу вверх): ультрамафитовые массивы райизско-войкарского офиолитового комплекса, кэршорский плутоничекий комплекс, лагортинский комплекс параллельных даек, собский диорит-тоналитовый комплекс, конгорский дирит-гранодиоритовый комплекс, разновозрастные вулканогенно-осадочные отложения (рис.1.).

Вдоль линии Главного Уральского разлома расположены ультамафитовые массивы райизско-войкарского офиолитового комплекса (с юга на север): Олыся-Мусюрский, Войкаро-Сынинский, Райизский и Сыумкеуский. Западнее Войкаро-Сынинского массива выделяются зоны развития ультравысокотемпературных пород основного состава, которые одним из авторов настоящей статьи были объединены в хордъюский гранулит-метабазитовый комплекс [4] и в его составе выделены Северохордъюский и Южнохордъюский массивы (подкомплексы). Возраст этих пород на сегодняшний день остается проблематичным. По аналогии с малыкским гранулит-метабазитовым комплексом северной части Полярного Урала, для пород которого В.А. Душиным и его коллегами [5] получены позднеархейские цирконовые датировки (SHRIMP-II), есть основание для отнесения гранулитов хордъюского комплекса к нижнедокембрийским образованиям.

Физические свойства пород Восточно-Уральской структурной зоны

№	Породы	Кол-во образцов	Плотность	Кол-во образцов	Магнитная восприимчивость
			σ_{min} - σ_{max} / $\sigma_{ср}$,, г/см^3		$æ_{min}$ - $æ_{max}$ / $æ_{ср}$,, n×10^{-6} СГС
Интрузивные					
Ультраосновные породы					
1	Дуниты	19	2.81-3.14 / 2.98	269	49-6329 / 680
2	Гарцбургиты, лерцолиты	26	2.87-2.94 / 2.90	375	59-4108 / 455
3	Войкариты	10	2.94-3.10 / 3.00	108	132-5248 / 1200
Основные породы					
Семейство: пироксениты-горнблендиты (ультрамафиты основные)					
4	Верлиты, клинопироксениты	32	2.87-3.05 / 2.9	32	800-9000 / 4900
5	Горнблендиты	21	3.10-3.23/ 3.20	21	600-1000 / 800
Семейство: габброиды					
6	Габбро	508	2.79-3.10 / 3.00	397	1500-4000 / 2870
7	Габбронориты	247	3.00-3.07/ 3.10	288	3000-10000 / 6000
8	Амфиболизированное габбро	155	2.90-3.04 / 2.97	79	50-1000 / 530
9	Габбродолериты	30	2.75-2.94 / 2.85	47	50-1800 / 930
10	Долериты	704	2.70-2.89 / 2.80	564	50-1000 / 530
Средние породы					
11	Диориты	127	2.71-2.95 / 2.83	91	56-1148 / 600
12	Габбродиориты	80	2.73-2.87 / 2.80	80	250-6000 / 3100
13	Кварцевые диориты	196	2.70-2.89 / 2.80	159	200-2000 / 1100
Кислые породы					
14	Гранодиориты	51	2.68-2.79 / 2.74	60	80-1800 / 900
15	Плагиограниты и плагиогнейсы	105	2.60-2.72 / 2.66	109	100-700 / 400
16	Граниты	207	2.58-2.69 / 2.64	207	0-50 / 25
17	Гранитпорфиры	100	2.61-2.68 / 2.65	90	80-700 / 440
Эффузивные породы					
Вулканогенные породы					
18	Базальты	303	2.71-2.95 / 2.83	302	300-2500 / 1400
19	Андезибазальты	102	2.72-2.88 / 2.80	123	0-2000 / 1000
20	Андезиты	331	2.75-2.83 / 2.79	334	20-700 / 350
21	Дациты и андезидациты	75	2.60-2.75 / 2.68	65	0-100 / 50
22	Вулканиты кислого состава	108	2.58-2.77 / 2.61	110	0-100 / 50
Вулканогенно-осадочные породы					
23	Туфы основного состава	143	2.63-2.80 / 2.72	97	250-750 / 500
24	Туфы андезитового состава	61	2.61-2.71 / 2.66	62	250-750 / 500
25	Туфы дацитового состава	99	2.58-2.64 / 2.61	61	250-750 / 500
26	Туфопесчаники	179	2.57-2.79 / 2.68	22	331-1040 / 600
27	Туфоконгломераты	67	2.53-2.80 / 2.67	68	223-1000 / 600
Осадочные породы					
28	Известняки	351	2.61-2.76 / 2.67	353	<1

Примечания: Таблица составлена Т.А.Пономаревой с использованием собственных и опубликованных данных: 1-3 – Макеев, Лыюрова (Пономарева), 1989; Лыюрова (Пономарева), 1997, а также материалов Комигеолфонда (Республика Коми, Сыктывкар): 4-5 – Куделин и др., 1980; Мартынов и др., 1974; Перевозчиков и др., 1972; Савельева и др., 1968, 1971; Савельев и др., 1974; 6-10 – Крылов и др., 1968, 1970; Песковский и др., 1968; Негурица и др., 1969; Кузьмин и др., 1970; Макаров и др., 1973; 11-13 – Митюшева и др., 1968; Кузьмин и др., 1970; Еремин и др., 1973; 14-17 – Кузьмин и др., 1970; Охотников и др., 1970; Перевозчиков и др., 1972; 18-22 – Крылов и др., 1970; Воронов и др. , 1973; Макаров и др., 1973; 23-28 – Крылов и др., 1970; Митюшева и др., 1968; Охотников и др., 1970; Охотников и др., 1970.

Поэтому хордъюский гранулит-метабазитовый комплекс в составе Восточной структурной зоны севера Урала не рассматривается. Петрофизические характеристики пород этого комплекса были опубликованы в нашей предыдущей работе [6].

Вопрос о возрасте уральских офиолитов является предметом острых дискуссий. Верхний возрастной предел этих образований определяют многочисленные изотопные датировки – около 400 млн. лет, полученные разными методами. В частности, по дунитам и гарцбургитам Райизского массива установлен Sm-Nd возраст – 409±26 млн. лет [7]. В целом комплекс геолого-геохронологических данных свидетельствует об ордовикском времени образования офиолитовых массивов, связанного с процессом ордовикского рифтогенеза и океанического спрединга [8].

Наиболее представительный материал по физическим свойствам ультраосновных пород имеется по *Войкаро-Сынинскому дунит-гарцбургитовому массиву*. По этому же массиву авторы располагают оригинальными петрофизическими данными. Это наиболее крупный среди перечисленных выше массивов и один из крупнейших в мире. Он прослеживается на расстоянии около 200 км от верховьев р. Хулги на юге до широты горы Пай-Ер на севере при ширине от 2 до 18 км. Массив сложен в основном гарцбургитами и дунитами. В его соста-

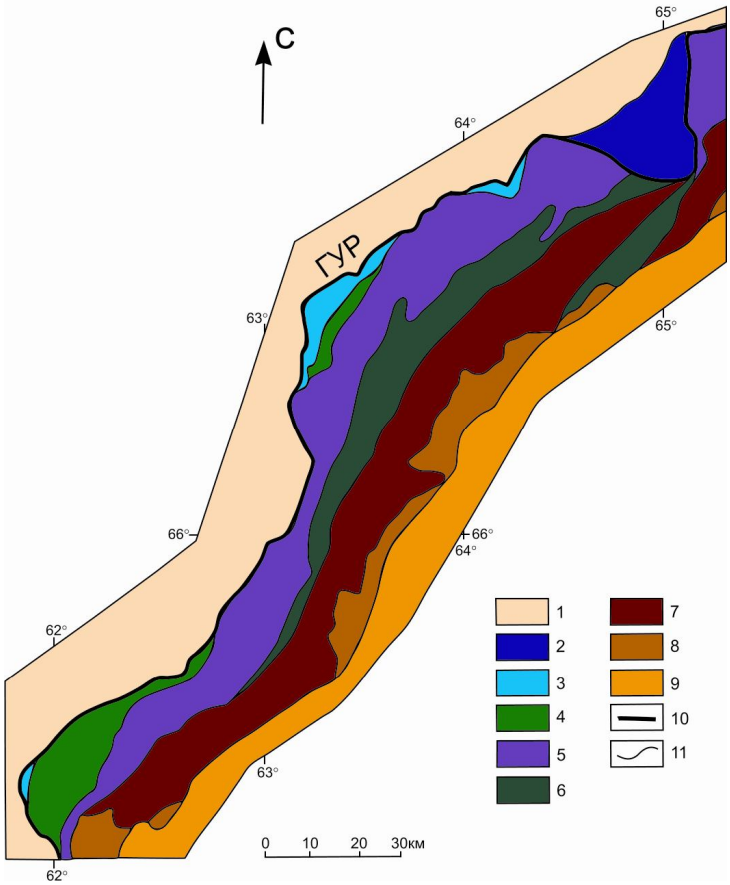


Рис.1. Схема геологического строения южной части Полярного Урала (Государственная геологическая карта..., 2007) с изменениями авторов.
Условные обозначения: 1 – формации палеозойской пассивной окраины Восточно-Европейского континента; 2 – докембрийские метаморфические образования Харамтолоуского блока; 3 – гранат-глаукофановые, эпидот-глаукофановые и эпидот-альбит-хлорит-актинолитовые сланцы в зоне Главного Уральского разлома; 4 – хордъюский гранулит-метабазитовый комплекс (PR_1?): клинопироксеновые и двупироксеновые кристаллосланцы, амфиболиты; 5 – ультраосновные породы райизко-войкарского комплекса; 6 – базиты кершорского и лагортинского комплексов; 7 – гранитоиды собского и конгорского комплексов; 8 – вулканогенно-осадочные образования (O-D); 9 – мезозойско-кайнозойский чехол Западно-Сибирской плиты; 10 – Главный Уральский разлом (надвиг); 11 – прочие границы.

ве выделяются также своеобразные оливин-антигоритовые породы – войкариты. К краевым зонам массива приурочены пироксениты и серпентиниты [9].

Дуниты. С целью определения возможности сопоставления петрофизических характеристик, имеющихся в разных источниках и их представительности, на примере дунитов нами рассмотрены материалы разных авторов. Было установлено, что пределы вариации плотности дунитов, по данным разных исследователей, заметно отличаются (примеч. к табл.): 2.6–3.30 г/см^3 (444 определения Савельевой и др., 1971); 2.76–3.09 г/см^3 (115 определений Савельева и др., 1974); 2.65–3.18 (210 определений Мартынова и др., 1974). По нашим данным, плотность дунитов изменяется в пределах 2.81–3.14 г/см^3 (табл., рис. 2). Несмотря на значительный разброс плотностных характеристик, установленных разными авторами, средняя величина плотности дунитов Войкаро-Сынинского массива определяется значениями в узком интервале 2.95–

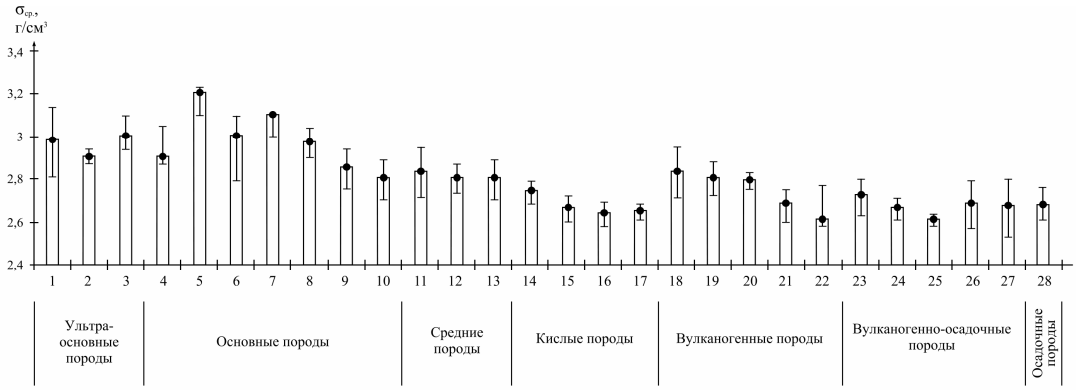


Рис. 2. Гистрограммы распределения плотности пород восточной структурной зоны севера Урала.
Условные обозначения: 1 – дуниты; 2 – гарцбургиты, лерцолиты; 3 – войкариты; 4 – верлиты, клинопироксениты; 5 – горнблендиты; 6 – габбро; 7 – габбронориты; 8 – амфиболизированное габбро; 9 – габбродолериты; 10 – долериты; 11 – диориты; 12 – габбродиориты; 13 – кварцевые диориты; 14 – гранодиориты; 15 – плагиограниты; 16 – граниты; 17 – гранитпорфиры; 18 – базальты; 19 – андезибазальты 20 – андезиты; 21 – дациты и андезидациты; 22 – вулканиты кислого состава; 23 – туфы основного состава; 24 – туфы андезитового состава; 25 – туфы дацитового состава; 26 – туфопесчаники; 27 – туфоконгломераты; 28 – известняки.

2.98 г/см^3, что может свидетельствовать о представительности всех выборок. Существенные различия максимальных значений плотности, скорее всего, связаны с вариациями в содержании рудных минералов в разных выборках дунитов, а также степенью их серпентинизации. Понижение плотности дунитов зависит в основном от интенсивности проявления процесса серпентинизации (рис. 3 а). Так, плотность неизмененных и слабо серпентинизированных дунитов меняется в пределах 3.10–3.14 г/см^3 при $\sigma_{ср}$, равной 3.12 г/см^3, умеренно серпентинизированных – 2.76–2.82 г/см^3 при $\sigma_{ср}$, равной 2.80 г/см^{3}и интенсивно серпентинизированных – менее 2.76 г/см^3.

Серпентинизация также влияет на изменение магнитных свойств дунитов, поскольку при замещении оливина серпентином выделяется магнетит. При вариации магнитной восприимчивости дунитов в интервале 49–4000×10^{-6} ед. СГС, у слабо серпентинизированных дунитов æ составляет 49–500×10^{-6} ед. СГС, у серпентинизированных – 750–1500×10^{-6} ед. СГС и у интенсивно серпентинизированных – 1200–4000×10^{-6} ед. СГС. Зависимость магнитных свойств дунитов от степени их серпентинизации иллюстрируется на графике (рис. 3 б).

Гарцбургиты. Плотность гарцбургитов по всем имеющимся данным изменяется в интервале 2.74–3.30 г/см^3. Находящийся в нашем распоряжении набор измерений плотности гарцбургитов варьирует в пределах 2.87–2.94 г/см^3 при $\sigma_{ср}$, равной 2.90 г/см^3 (табл., рис. 2). Серпентинизированные гарцбургиты имеют пределы плотности от 2.68 до 2.97 г/см^3 при $\sigma_{ср}$, равной 2.84 г/см^3, а интенсивно серпентинизированные – от 2.72 до 2.79 г/см^3 при $\sigma_{ср}$, равной 2.75 г/см^3 (рис. 3 а). Магнитные свойства гарцбургитов аналогичны дунитам и также зависят от степени серпентинизации. Так, магнитная восприимчивость у неизмененных и слабо серпентинизированных гарцбургитов изменяется в пределах от 59 до 150×10^{-6} ед. СГС при æ$_{ср,}$ равной 455×10^{-6} СГС, у серпентинизированных – от 150 до 300×10^{-6} ед. СГС и у интенсивно серпентинизированных – свыше 750×10^{-6} ед. СГС (рис. 3 б).

Войкариты. Физические свойства этих пород имеют высокие значения плотности – от 2.94 до 3.10 г/см^3 при $\sigma_{ср}$, равной 3.00 г/см^3 и магнитной восприимчивости – от 132 до 5248×10^{-6} СГС при æ$_{ср}$, равной 1200×10^{-6} СГС (см. таблицу).

Из анализа гистограмм распределения магнитной восприимчивости для основных разновид-

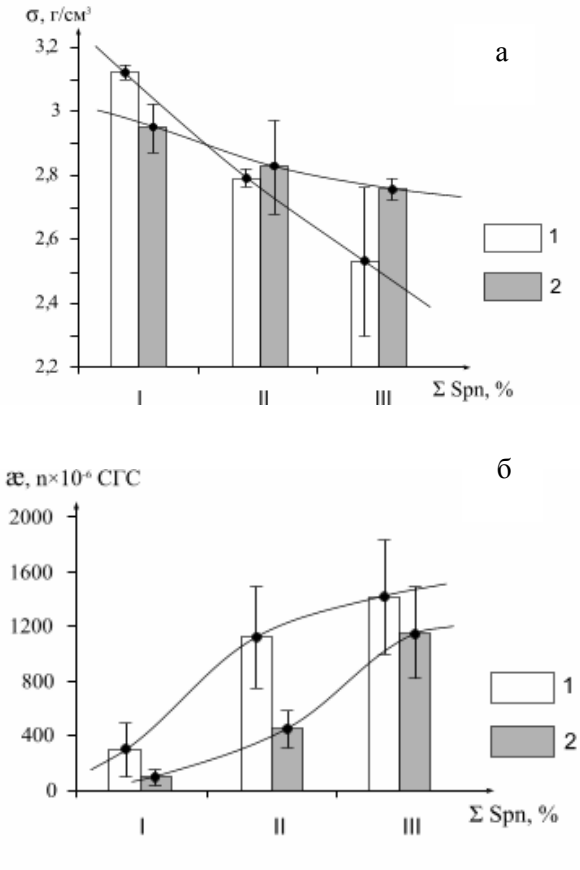


Рис. 3. Графики изменения плотности (а) и магнитной восприимчивости (б) ультраосновных пород (1 – дуниты; 2 – гарцбургиты) от степени их серпентинизации.

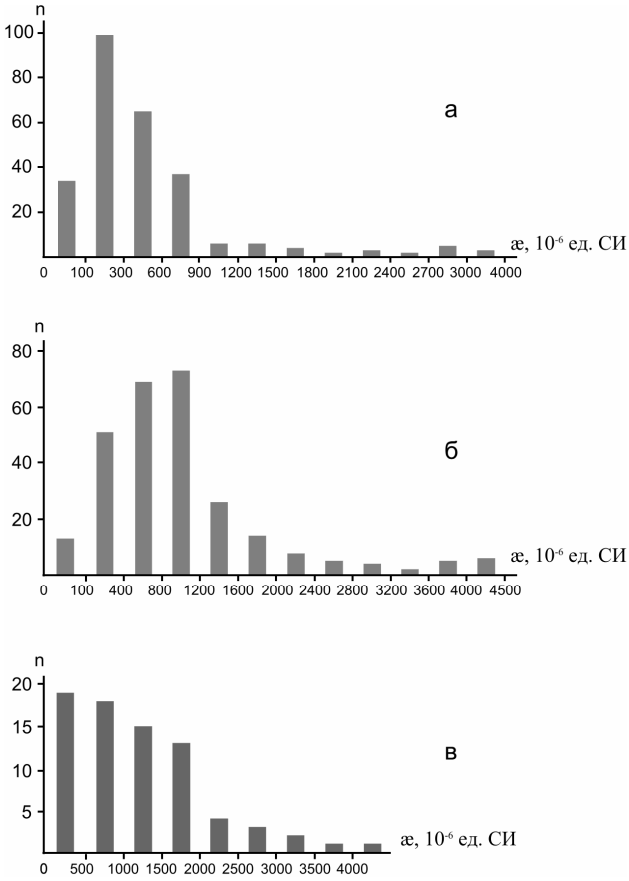


Рис. 4. Гистограммы распределения магнитной восприимчивости ультраосновных пород Войкаро-Сынинского массива: а – гарцбургитов и лерцолитов, б – дунитов, в – войкаритов.

ностей пород Войкаро-Сынинского массива (рис. 4) следует, что наиболее высокое среднее фактическое значение æ имеют войкариты 1200×10^{-6} СГС, меньше оно у дунитов – 680×10^{-6} СГС. Самое низкое среднее фактическое значение æ наблюдается у гарцбургитов и лерцолитов – 455×10^{-6} СГС. На изменение магнитных свойств пород влияет вторичный магнетит, развивающийся в виде пылевидных выделений в кристаллах пироксена, по периферии кристаллов или по трещинам. В любом случае, его количество прямо зависит от интенсивности процесса замещения при серпентинизации. Для доказательства влияния содержания магнетита на магнитную восприимчивость были проведены дополнительные исследования. Экспериментальная кривая получена в результате постепенного добавления магнетита в неизмененный гарцбургит (проба М–3193) с первоначальной магнитной восприимчивостью 51.12×10^{-6} СГС (рис. 5). Как видно из графика, магнитная восприимчивость в ультрабазитах прямо пропорциональна содержанию магнетита в породе [10, 11].

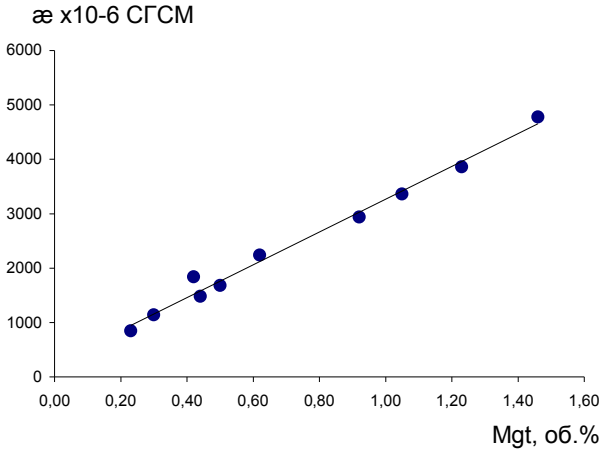


Рис. 5. Зависимость магнитной восприимчивости (æ) ультрабазитовых пород Войкаро-Сынинского массива от содержания магнетита.

Детальные исследования магнитной восприимчивости пород Войкаро-Сынинского массива, отобранных для минералогического картирования по регулярной сети 0.5×4 км, позволили построить петромагнитную карту (рис. 6), отражающую латеральную изменчивость магнитных свойств пород Войкаро-Сынинского массива [10, 11]. Изолинии магнитной восприимчивости проведены согласно методическим рекомендациям через 300, 750, 1500, 3000, и 4000×10^{-6} СГС [12]. При этом породы с æ менее 300×10^{-6} СГС отнесены к слабомагнитным, от 300 до 750×10^{-6} СГС – к среднемагнитным; от 750 до 1500×10^{-6} СГС – к магнитным и более 1500×10^{-6} СГС – к сильномагнитным. При рассмотрении петромагнитной карты видно, что единой чертой всех четырех блоков Войкаро-Сынинского массива (Пайерского, Войкарского, Лаптопайского и Сынинского) является повышение магнитной восприимчивости от центральных его частей к периферии. Учитывая, что в составе массива резко преобладают гарцбургиты (до 70%), которые характеризуются низкими значениями æ по сравнению с дунитами и войкаритами, то повышение магнитной восприимчивости в периферийных частях связано в основном с серпентинизацией, в процессе которой происходит обогащение ультраосновных пород магнетитом. Однако определенный вклад в наблюдаемую картину вносит первичный состав пород. Войкариты как наиболее высокомагнитные породы массива приурочены к его западному контакту.

Проведенный петрофизический анализ ультраосновных пород Войкаро-Сынинского массива показал сложные и неустойчивые связи между физическими свойствами (плотности и магнитной восприимчивости). Так, например, неизмененные породы с наибольшими значениями плотности имеют в среднем низкую магнитную восприимчивость. А измененные породы характеризуются прямо противоположной зависимостью, когда потеря плотностных свойств сопрягается ростом магнитной восприимчивости. Отмеченные закономерности изменения физических свойств данных пород следует рассматривать с учетом интенсивности процесса серпентинизации, сопровождающегося выделением магнетита в различном количестве. В результате при увеличении степени серпентинизации дуниты сильно теряют свои плотностные свойства и приобретают высокие магнитные свойства.

К востоку от Войкаро-Сынинского массива расположен *кэршорский плутонический комплекс*, который прослеживается почти непрерывной узкой полосой (шириной до 5 км) на расстоянии около 200 км. Комплекс представляет собой среднюю, существенно габброидную часть райизско-войкарской офиолитовой ассоциации. Наиболее хорошо он изучен на севере в бассейне р. Мал. Хараматалоу. Здесь комплекс подразделяется на три структурно-вещественных подкомплекса (СВП), различающихся соотношением пород разного состава и характером их метаморфического изменения [13].

Нижний СКП по надвиговой зоне контактирует с образованиями дунит-гарцбургитового комплекса райизско-войкарской офиолитовой ассоциации. Подкомплекс представляет собой тектонически разлинзованную серию, в которой чередуются тела амфиболитов, габбро-амфиболитов, дунитов, верлитов и клинопироксенитов. Амфиболиты утратили признаки первичной структуры. Наложенные процессы сформировали гнейсоподобную полосчатую породу.

Средний СВП надвинут на описанные выше породы с юго-востока. Он сложен в основном клинопироксенитами, оливиновыми клинопироксенитами и верлитами. Характерной особенностью этой части кэршорского комплекса является наличие ритмичной расслоенности, обусловленной сменой снизу вверх оливиновых разновидностей пород безоливиновыми.

Детальное картирование этой части комплекса показало, что он имеет автономную структуру, резко дискордантную генеральному простиранию уралид, а также ориентировке полосчатости в габброидах, расположенных восточнее и юго-восточнее СВП [14, 15].

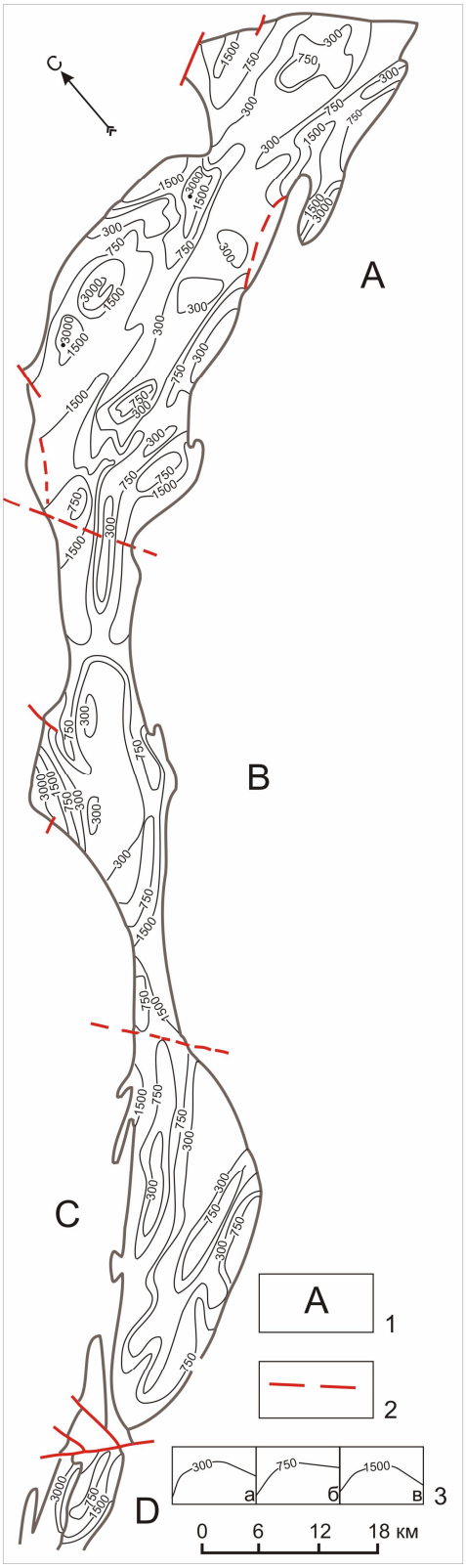


Рис. 6. Петромагнитная карта Войкаро-Сынинского массива.
Условные обозначения: 1-блоки: A – Пайерский; B – Лаптопайский; C – Войкарский; D – Сынинский; 2 – разломы; 3 – изолинии магнитной восприимчивости.

Верхняя составляющая кершорского комплекса надвинута с юго-востока на породы среднего СВП и представлена преимущественно рогово-обманковыми, пироксен-роговообманковыми габбро, реже горнблендитами.

Вопрос о возрасте пород кэршорского комплекса остается открытым. Поздним ордовикским датируются габброиды: 446.8±4.3, 446±2, 454±7 млн. лет (циркон, U-Pb, SHRIMP-II, [16]). Однако дискордантные взаимоотношения габброидов с верлит-клинопироксенитовой составляющей комплекса (со средним СВП) дают основание предполагать, что в его составе могут находиться разновозрастные образования, в том числе допозднеордовикские.

В целом породы кэршорского плутонического комплекса имеют высокие значения плотности и магнитной восприимчивости, что характерно для базитов. У верлитов и клинопироксенитов σ соответствует значениям 2.87–3.05 г/см^3, а æ варьирует в широких пределах от 800 до 9000×10^{-6} СГС. У горнблендитов пределы изменения плотности составляют 3.10–3.23 г/см^3, а магнитной восприимчивости – от 600 до 1000×10^{-6} СГС, у габбро, соответственно, 2.79–3.10 г/см^3 и 1500–4000×10^{-6} СГС (табл.). Обращает на себя внимание, что амфибол-содержащие габбро, основную часть которых составляют, по-видимому, амфиболизированные габбро, имеют относительно низкие значения магнитной восприимчивости: 50–1000×10^{-6} СГС при æ$_{ср}$ равной 530×10^{-6} СГС. Это связано с тем, что амфибол (актинолит, роговая обманка) имеет более высокую железистость в сравнении с пироксеном и при амфиболизации пород происходит частичное или полное «разрушение» железистых рудных минералов, в том числе магнетита.

Восточнее кэршорского плутонического комплекса выделяются фрагменты *лагортинского комплекса параллельных даек*. Комплекс прослеживается по простиранию более чем на 150 км (от широты р. Войкар на юге до р. Енгаю на севере) при ширине зоны от 1,5 до 3,0 км. Мощность отдельных даек от 0,2 до 2,0 м [9]. В состав комплекса входят плагиоклаз-пироксеновые и мегафировые долериты, а также единичные дайки плагиогранитов и метариолитов.

По мнению авторов [9], комплекс параллельных даек комагматичен базальтоидам пальникшорской свиты и должен быть датирован поздним ордовиком–ранним силуром. Выполненные позднее геохронологические исследования подтвердили правомерность такого заключения. Для плагиогранитов по единичным цирконам были получены конкордантные значения возраста 452.7±5.1 и 444.1±6.5 млн. лет (U-Pb, SHRIMP-II, [16]), а по данным U-Pb изотопного датирования цирконом методом LA-MC-ICPMS – 427.3±7.6 млн. лет [17]. Следует отметить, что методами U-Pb изотопного датирования получены также доордовикские значения возраста – 490±7 млн. лет [18], что вносит определенную неясность в вопрос о возрасте пород лагортинского комплекса. На сегодняшний день, с учетом геологических данных, более обоснованным является

представление о позднеордовикском–раннесилурийском возрасте пород, близком к возрасту габброидов кэршорского комплекса [16].

Преобладающие в составе лагортинского комплекса долериты характеризуются умеренной плотностью: 2.70–2.89 г/см^3 при $\sigma_{ср}$, равной 2.80 г/см^3 и магнитной восприимчивостью – от 50 до 1000 при $æ_{ср}$, равной 530×10^{-6} СГС (табл.). Габбродолериты отличаются более высокими значениями этих параметров: $\sigma_{ср}$ =2.85 г/см^3, $æ_{ср}$ равной 930×10^{-6} СГС (табл.).

Расположенный восточнее *собский диорит-тоналитовый комплекс* прослеживается почти непрерывной полосой шириной до 12 км, параллельно описанным выше комплексам восточной структурной зоны севера Урала. И только на крайнем севере Полярного Урала, в восточном обрамлении Райизского и Сыумкеуского дунит-гарцбургитовых массивов, область распространения пород собского комплекса резко сокращается. Здесь он представлен небольшими массивами.

Состав пород варьирует от габбродиоритов до гранодиоритов при преобладании относительно кислых разновидностей пород: кварцевых диоритов и гранодиоритов. Возраст пород по геологическим данным определяется как послераннесилурийский [9]. Полученные в последние годы U-Pb датировки единичных зерен цирконов методом SHRIMP-II: 395±5 и 386±3 млн. лет [19] и возрастные определения в интервале 411.8±6.3–392.1±5.2 млн. лет [20, 16, 21] позволяют поднять верхний возрастной рубеж образования пород комплекса до среднего девона.

Доминирующие в разрезе собского комплекса кварцевые диориты и гранодиориты характеризуются близкими значениями магнитной восприимчивости от 80 до 2000 при $æ_{ср}$, равной 900–1100×10^{-6} СГС (табл.). Значения плотностных характеристик пород закономерно снижаются от $\sigma_{ср}$ =2.80 г/см^3 для кварцевых диоритов до $\sigma_{ср}$ =2.74 г/см^3 для гранодиоритов (табл., рис. 2).

К востоку от собского комплекса на всем его протяжении прослеживается цепочка массивов пород, варьирующих по составу от габбро до гранитов. Они в современных корреляционных схемах объединяются в *конгорский комплекс*. Наиболее крупные массивы этого комплекса, сложенные преимущественно диоритами, кварцевыми диоритами и гранодиоритами достигают 50 км в длину при ширине до 9 км. Возраст конгорского комплекса определяется как позднедевонский на основании того, что его породы имеют активные контакты со средне-верхнедевонскими отложениями [9].

Близкие по составу породы конгорского и собского комплексов характеризуются аналогичными петрофизическими параметрами. Кислые разновидности пород (плагиограниты, граниты, гранитпорфиры) отличаются более низкими значениями плотности ($\sigma_{ср}$ 2.66–2.64 г/см^3) и магнитной восприимчивости: $æ_{ср}$ равной около 400×10^{-6} СГС (табл., рис.2).

Крайнее восточное положение в пределах восточной структурной зоны севера Урала занимают *вулканогенно-осадочные образования* ордовикско-девонского возраста. Нижние части разрезов сложены вулканитами нормальной щелочности с дифференциацией составов от базальтовых до плагиориолитовых и дацитовых. Комплексы средней и верхней частей разреза имеют субщелочную направленность дифференциации. С вулканогенными породами ассоциируют туфы, туфопесчаники, туфоконгломераты и известняки.

Как видно из таблицы, плотность и магнитная восприимчивость вулканогенных пород закономерно снижается с уменьшением их основности. Наиболее высокие значения плотности и магнитной восприимчивости присущи базальтам ($\sigma_{ср}$ =2.83 г/см^3 и $æ_{ср}$=1400×10^{-6} СГС), минимальные – вулканитам кислого состава ($\sigma_{ср}$ =2.61 г/см^3 и $æ_{ср}$=50×10^{-6} СГС). Тенденция изменения плотностных характеристик туфов разного состава та же, что и для вулканитов, хотя их абсолютные значения ниже на 0.07–0.13 г/см^3. Однако в отличие от вулканитов, туфы разного состава имеют абсолютно одинаковые значения магнитной восприимчивости ($æ_р$= 250–750×10^{-6} СГС, при $æ_{ср}$=500×10^{-6} СГС). Близкие к туфам значения магнитной восприимчивости имеют также туфопесчаники и туфоконгломераты ($æ_{ср}$=500×10^{-6} СГС). Известняки резко отличаются аномально низкими значениями магнитной восприимчивости ($æ_{ср.}$<1×10^{-6} СГС).

Выводы

В процессе проведенного петрофизического исследования, при котором учитывались общность плотностных и магнитных свойств пород, схожесть корреляционных зависимостей между физическими свойствами, а также близость формаций по времени образования на разных этапах геологического развития земной коры севера Урала, в пределах Восточной структурной зоны были выделены четыре петрофизические группы пород.

К первой (*гипербазитовой*) петрофизической группе отнесены ультраосновные породы райизско-войкарского офиолитового комплекса с повышенной плотностью (2.90-3.10 г/см^3) и средней намагниченностью (455–680×10^{-6} СГС). В породах данной петрофизической группы выявлены сложные и неустойчивые корреляционные связи между плотностью и магнитной восприимчивостью, которые следует рассматривать с учетом процесса серпентинизации. При увеличении степени серпентинизации дуниты и гарцбургиты сильно теряют свои плотностные свойства до 2.76 и 2.72 г/см^3 и приобретают высокие магнитные свойства до 6329×10^{-6} СГС.

Вторая (*пироксенит-габбровая*) петрофизическая группа включает породы дунит-верлит-клинопироксенитового и габбрового комплексов. Базиты кэршорского плутонического комплекса имеют высокие значения плотности и магнитной восприимчивости. У верлитов и клинопироксенитов σ соответствует значениям 2.87–3.05 г/см^3, а æ варьирует в широких пределах от 800 до 9000×10^{-6} СГС. У горнблендитов пределы изменения плотности составляют 3.10–3.23 г/см^3, а магнитной восприимчивости – от 600 до 1000×10^{-6} СГС, у габбро, соответственно, 2.79–3.10 г/см^3 и 1500–4000×10^{-6} СГС

(табл.). В породах второй петрофизической группы установлены устойчивые прямо пропорциональные зависимости между плотностью и магнитной восприимчивостью.

В интрузивных образованиях первой и второй петрофизических групп отмечается классическая зависимость плотности от основности пород. Исключение составляют только сильно серпентинизированные измененные базиты.

В третью (*диорит-плагиогранитовую*) петрофизическую группу вошли интрузивные образования среднего, реже умеренно-кислого составов, представленную диоритами, кварцевыми диоритами и гранодиоритами собского и конгорского комплексов. Повышенные значения плотности ($\sigma_{ср}$ равна 2.80 г/см^3) и магнитной восприимчивости ($æ_{ср}$ равна 900×10^{-6} СГС) у средних интрузивных пород нормального ряда (диоритов, кварцевых диоритов) понижаются в кислых дифференциатах. Так, плагиограниты и гранитпорфиры характеризуются пониженными плотностными и магнитными свойствами ($\sigma_{ср}$ 2.66 г/см^3 и 400×10^{-6} СГС).

Четвертая (*вулканогенно-осадочная*) петрофизическая группа представлена дацитами, андезитами, андезибазальтами и их с туфами с прослоями туфопесчаников и рифогенных известняков малоуральской свиты, а также конгломератами, гравелитами и туфопесчаниками варчатинской свиты [20]. Дифференциация физических свойств наиболее выразительно проявляется в вулканитах, у которых плотность (с 2.83 до 2.66 г/см^3) и магнитная восприимчивость (с 3100×10^{-6} до 400×10^{-6}) закономерно снижаются с уменьшением их основности. Плотности вулканогенно-осадочных пород в большинстве случаев ниже плотности эффузивов того же состава, что позволяет достаточно уверенно выделять их в геофизических полях. В магнитных свойствах отмечается строгое постоянство, независимое от состава пород.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований РАН №15-18-5-17.

Литература

1. *Тектоника Урала* / Под ред. А.В. Пейве. М., 1977. 120 с.
2. *Язева Р.Г., Бочкарев В.В.* Войкарский вулкано-плутонический пояс (Полярный Урал). Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984. 160 с.
3. *Савельева Г.Н.* Габбро-гипербазитовые комплексы офиолитов Урала и их аналог в современной океанической коре. М.: Наука, 1987. 246 с.
4. *Пыстин А.М.* Полиметаморфические комплексы западного склона Урала. СПб.:Наука, 1994. 112 с.
5. *Душин В.А., Бурмако П.Л., Ронкин Ю.Л. и др.* Состав и новые возрастные датировки метагабброидов малыкского комплекса на Полярном Урале // Структурно-вещественные комплексы и проблемы геодинамики докембрия фанерозойских орогенов: Материалы Международной научной конференции (III чтения памяти С.Н. Иванова). Екатеринбург, 2008. С. 27–29.
6. *Пономарева Т.А., Пыстин А.М.* Петрофизическая характеристика пород полиметаморфических комплексов севера Урала // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2014. №2(18). С.68–74.
7. *Ронкин Ю.Л., Прямососов А.П., Телегина Т.В., Лепихина О.П.* Дунит-гарцбургитовый и дунит-верлит-клинопироксенит-габбровый комплексы Полярного Урала: REE и Sm-Nb ограничения // Изотопное датирование геологических процессов: новые методы и результаты. М.: ИГЕМ РАН, 2000. С.302–305.
8. *Пучков В.Н.* Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
9. *Государственная геологическая карта* Российской Федерации масштаба 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская, лист R-41 (Воркута). М.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2007.
10. *Макеев А.Б., Лыюрова (Пономарева) Т.А.* Магнитная восприимчивость пород и минералов ультрабазитов и ее значение для картирования Полярного Урала // Минералогия Тимано-Североуральского региона. Сыктывкар, 1989. С.97–106. (Тр. Ин-та геологии Коми НЦ УрО АН СССР. Вып.72).
11. *Лыюрова (Пономарева) Т.А.* Глубинное строение Полярного Урала: Дис. на соиск. канд. г.-м. н. Сыктывкар: Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, 1997. 104 с.
12. *Логачев А.А., Захаров В.П.* Магниторазведка. Л.: Недра, 1973. 452 с.
13. *Терешко В.В., Шлома А.А., Карчевский А.Ф., Онищенко С.А.* Медно-благороднометальное проявление Озерное на восточном склоне Полярного Урала // Алмазы и благородные металлы Тимано-Уральского региона. Сыктывкар: Геопринт, 2006. С. 221–223.
14. *Пыстин А.М., Потапов И.Л., Пыстина Ю.И. и др.* Малосульфидное платинометальное оруденение на Полярном Урале. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 152 с.
15. *Пыстин А.М., Потапов И.Л., Пыстина Ю.И.* Проявление малосульфидных золото-платинометальных руд на Полярном Урале // Записки РМО. №4. 2012. С.60–73.
16. *U-Pb-возраст цирконов* из плагиогранитов лагортаюского дайкового комплекса на Полярном Урале / Д.Н.Ремизов, К.В.Куликова, С.Р.Сычев, М.В.Носиков, С.А.Сергеев//Докл. РАН. 2012. Т. 447. № 5. С.538–540.
17. *Queiroga G., Martins M., Kulikova K. et al.* First U-Pb dating of a plagiogranit from Voikar massif, Polar Urals, Russia // VII South American Symposium on Isotope Geology. Short Papers// Brasilia, 2010. P. 397–400.
18. *Хаин Е.В., Сальникова Е.Б., Котова А.Б. и др.* U-Pb возраст плагиогранитов офиолитовой ассоциации Войкаро-Сынинского массива (Полярный Урал) // Докл. РАН. 2008. Т. 419. №4. С.524–529.

19. *Удоратина О.В., Кузнецов Н.Б., Ларионов А.Н., Шишкин М.А.* U-Pb возраст плагиогранитов Собского массива (Полярный Урал) // Петрология и минералогия севера Урала и Тимана: Сборник статей.Сыктывкар, 2008. №5. С. 52–62 (Тр. Ин-та геол. Коми НЦ УрО РАН. Вып. 124).
20. *Государственная геологическая карта* Российской Федерации масштаба 1:200 000 (третье поколение). Полярно-Уральская серия, лист. М.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2014. (подготовленная к изданию).
21. *Сычев С.Н.* Деформационная история зоны главного Уральского разлома (южная часть Полярного Урала) // Тектоника складчатых поясов Евразии: сходство, различие, характерные черты новейшего горообразования, региональные обобщения: Материалы совещания. Т. II. М.:ГЕОС, 2014. С.211–215.

References

1. *Tektonika Urala* [Tectonics of the Urals]. Moscow: Nauka, 1977. 120 p.
2. *Yazeva R.G., Bochkarev V.V.* Vojkarskij vulkano-plutonicheskij poyas (Polyarnyj Ural) [Voikarsky plutonic belt (Polar Urals)]. Sverdlovsk: UNC AN SSSR, 1984. 160 p.
3. *Savelyeva G.N.* Gabbro-giperbazitovye kompleksy ofiolitov Urala i ih analog v sovremennoy okeanicheskoy kore [Gabbro-ultrabasite associations of ophiolites of the Urals and their analogue in modern oceanic crust]. Moscow: Nauka, 1987. 246 p.
4. *Pystin A.M.* Polimetamorficheskie kompleksy zapadnogo sklona Urala [Polymetamorphic associations in western slope of the Urals]. St.Petersburg: Nauka, 1994. 112 p.
5. *Dushin V.A., Burmako P.L., Ronkin Yu.L. et al.* Sostav i novye vozrastnye datirovki metagabbroidov malykskogo kompleksa na Polyarnom Urale [Composition and dates of metagabbro of Malyksky complex in the Polar Urals] // Stukturno-veshhestvennye kompleksy i problemy geodinamiki dokembriya fanerozoyskih orogenov [Structural-material complexes and geodynamics problems of the Pre-Cambrian Phanerozoic orogenes]. Materials of Intern. Sci. Conf. (III S.N. Ivanov's readings). Ekaterinburg, 2008. P. 27–29.
6. *Ponomareva T.A., Pystin A.M.* Petrofizicheskaya harakteristika porod polimetamorficheskih kompleksov severa Urala [Petrophysical characteristics of rocks of polymetamorphic associations in the north of the Urals] // Proc. of Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS, 2014. №2(18). P. 68–74.
7. *Ronkin Yu.L., Pryamososov A.P., Telegina T.V., Lepikhina O.P.* Dunit-gartsburgitovyy i dunit-verlit-klinopiroksenit-gabbrovyy kompleksy Polyarnogo Urala: REE i Sm-Nb ogranicheniya [Dunite-harzburgite-wehrlite-clinopyroxenite-gabbro associations in the Polar Urals: REE and Sm-Nb limitations // Izotopnoe datirovanie geoogicheskiy protsessov: novye metody i rezul'taty [Isotope dating of geological processes: new methods and results]. Moscow: IGEM RAN, 2000, P.302–305.
8. *Puchkov V.N.* Geologiya Urala i Priural'ya (aktual'nye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii) [Geology of the Urals and Pre-Urals (topical questions of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny). Ufa: DizaynPoligrafServis, 2010. 280 p.
9. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta* Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Ural'skaya, list R-41 (Vorkuta) [State geological map of Russian Federation 1:1 000 000 (the third generation). Uralian series]. Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2007.
10. *Makeev A.B., Lyyurova (Ponomareva) T.A.* Magnitnaya vospriimchivost' porod i mineralov ul'trabazitov i ee znachenie dlya kartirovaniya Polyarnogo Urala [Magnetic susceptibility of rocks and minerals of ultrabasites and its significance for geological maps of the Polar Urals]//Mineralogiya Timano-severoural'skogo regiona [Mineralogy of Timan-North Urals region]. Syktyvkar, 1989. P.97–106. (Trans. of Inst. of Geology, Komi Sci.Centre, Ural Br., USSR Ac. Sci.]. Issue.72).
11. *Lyyurova (Ponomareva) T.A.* Glubinnoe stroenie Polyarnogo Urala [Deep structure of the Polar Urals]: Diss. Cand. Sci. (Geol.-Miner.). Syktyvkar, Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Br., RAS, 1997, 104 p.
12. *Logachev A.A., Zakharov V.P.* Magnitorazvedka [Aeromagnetic survey]. Leningrad: Nedra, 1973. 452 p.
13. *Tereshko V.V., Shloma A.A., Karchevsky A.F., Onishchenko S.A.* Medno-blagorodnometal'noe proyavlenie Ozernoe na vostochnom sklone Polyarnogo Urala [Copper and noble metal deposit Ozernoe in the eastern slope of the Polar Urals] // Almazy i blagorodnye metally Timano-Ural'skogo regiona [Diamonds and noble metals of the Timan-Urals region]. Syktyvkar: Geoprint, 2006. P. 221–223.
14. *Pystin A.M., Potapov I.L., Pystina Yu.I. et al.* Malosul'fidnoe platinometal'noe orudenenie na Polyarnom Urale [Sulfide minerals and platinum ores in the Polar Urals]. Ekaterinburg: Ural Br., RAS, 2011. 152 p.
15. *Pystin A.M., Potapov I.L., Pystina Yu.I.*. Proyavlenie malosul'fidnyh zoloto-platnometal'nyh rud na Polyarnom Urale [Sulfide minerals and platinum ores in the Polar Urals]. Zapiski RMO, №4, 2012 P.60–73.
16. *Remizov D.N., Kulikova K.V., Sychev S.R., Nosikov M.V., Sergeev S.A.* U-Pb-vozrast tsirkonov iz plagiogranitov lagortayuskogo daykovogo kompleksa na Polyarnom Urale [U-Pb dates on zircons from plagiogranites of Lagortayusky dike complex in the Polar Urals] // Dokl. RAN, 2012, Vol. 447, № 5. P.538–540.
17. *Queiroga G., Martins M., Kulikova K., Sychev S., Kuznetsov N., Chemale F. Gr. Dussen I., Dantas E.* First U-Pb dating of plagiogranites from Voikar massif, Polar Urals, Russia // VII South American Symposium on Isotope Geology. Short Papers. Brasilia 2010. P. 397-400.

18. *Khain E.V., Sal'nikova E.B., Kotova A.B. et al.* U-Pb vozrast plagiogranitov ofiolitovoy assotsiatsii Voykaro-Syninskogo massiva (Polyarnyy Ural) [U-Pb dates of plagiogranites of ophiolite association of Voikaro-Syninsky massif (Polar Urals)] // Dokl. RAN, 2008. Vol. 419, №4. P.524–529.
19. *Udoratina O.V., Kuznetsov N.B., Larionov A.N., Shishkin M.A.* U-Pb vozrast plagiogranitov Sobskogo massiva (Polyarnyy Ural) [U-Pb dates of plagiogranites of Sobsky massif (Polar Urals)] / Petrologiya i mineralogiya severa Urala i timana [Petrology and mineralogy of the north of Urals and Timan: Collected papers]. Syktyvkar, 2008, № 5, P. 52–62 (Trans. of Inst. of Geology, Komi Sci.Centre, Ural Branch, RAS. Issue. 124).
20. *Gosudarstvennaya geologicheskaya* karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:200 000 (tret'e pokolenie). Seriya Ural'skaya, list R-41 (Vorkuta) [State geological map of the Russian Federation 1:1 000 000 (the third generation). Uralian series]. Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2014.
21. *Sychev S.N.,* Deformatsionnaya istoriya zony glavnogo Ural'skogo razloma (yuzhnaya chast' Polyarnogo Urala) [Deformational history of the zone of the main Uralian fault (southern part of the Polar Urals)] // Tektonika skladchatyh poyasov Evrazii: skhodstvo, razlichie, harakternye cherty noveyshego goroobrazovaniya, regional'nye obobshheniya. Materials of meeting. Vol. II. Moscow: GEOS, 2014. P.211–215.

Статья поступила в редакцию 12.10.2015

УДК 579:541.5

НАНОКЛАСТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ ЖИДКОЙ ВОДЫ

А.М. АСХАБОВ

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
xmin@geo.komisc.ru

Предложена новая кластерная модель образования жидкой воды. Согласно этой модели, конденсации водяного пара предшествует образование полимолекулярных нанокластеров воды (кластеров «скрытой» фазы или кватаронов). Конденсация разных по своей структуре и размерам кватаронов приводит к формированию разных конденсированных фаз. Главными структурообразующими единицами для реальной воды являются полые кватароны в форме додекаэдра или усеченного октаэдра, содержащие 20÷24 молекулы воды или плотные кватароны икосаэдрической формы, образованные 13 молекулами воды. В то же время вода с плотностью ≈ 1г/см^3 может образоваться и при слиянии кластеров (нанокапель воды), содержащих примерно 560 молекул. Несмотря на разные варианты образования жидкой воды, ее последующая «жизнь» и свойства определяются, главным образом, устанавливающимися между молекулами воды водородными связями. Соответственно, предлагаемая модель не допускает существование в воде долгоживущей памяти и структур в виде полимерных матриц.

Ключевые слова: **нанокластеры, кватароны, фазы жидкой воды**

A.M.ASKHABOV. NANO-CLUSTER MODEL OF FORMATION OF LIQUID WATER

A new cluster model of formation of liquid water is proposed. According to this model the condensation of water vapor is preceded by the formation of polymolecular water nano-clusters (clusters of «hidden» phase or quatarons), which, according to the classical nucleation theory, should not be. Condensation of different in their structure and size quatarons leads to the formation of various condensed phases. The main structure-forming units for real water are hollow quatarons dodecahedron- or truncated octahedron-shaped containing 20÷24 molecules of water or dense quatarons of icosahedral shape, containing 13 water molecules. At the same time, water with density of ≈ 1 g/cm^3, corresponding to real water, can be formed by merging of clusters containing approximately 560 molecules. This dual way of formation of liquid water suggests that ordinary water is, at least at the stage of formation, a mixture of two phases ("structured" in the first case and unstructured – in the second one). This conclusion should not be understood as the repetition of the known two-structure model of water, considering water as an additive mixture of ice-like structure and unbound single water molecules, since in this case there are no fields with very different densities and boundaries of the division. Despite the various possibilities of formation of liquid water its consequent "life" and the properties are determined mainly by the establishing hydrogen bonds between water molecules. Accordingly, the proposed model does not allow the existence in water of long-lived memory and structures in the form of polymer matrices.

Keywords: **nanoclusters, quatarons, liquid water phases**

Введение

Вода, возможно, важнейшее вещество в природе, играющее фундаментальную роль во многих процессах и явлениях, происходящих в Земле, на Земле и вокруг Земли, на других планетах. Вопросы, связанные с раскрытием природы уникальных свойств воды и механизмов ее образования, еще долго будут оставаться актуальными задачами всех наук, имеющих отношение к воде и технологическим процессам с участием водной фазы.

За многие годы интенсивного изучения воды существенный прогресс достигнут в понимании структуры воды, информация о которой получается на основе анализа данных дифракции рентгеновского и нейтронного излучения, рамановской спектроскопии, а в последнее время и по данным синхротронных источников. Много нового о воде стало известно на основе компьютерного моделирования ее свойств. Однако эти знания большей частью характеризуют абстрактную или, по словам академика А.М. Кутепова, «машинную» жидкость [1]. В этом

смысле эвристически более ценными оказываются подходы, выводящие свойства воды из общих идей об организации вещества на микроуровне. Таков, в частности, был подход, который развивал Ю.А. Колясников [2] и в котором решающее значение придавалось структурной единице, формирующей воду. Аналогичный подход развит и в данной работе, где предлагается новая кластерная (кватаронная) модель образования жидкой воды.

В рамках развиваемой нами кватаронной концепции [3, 4], удается решить старый вопрос о формах существования водной фазы в пересыщенном паре, истоки которого восходят к С.Т.Р. Вильсону [5]. Им еще в конце XIX столетия установлено, что водяной пар содержит электрически нейтральные кластеры водных молекул. В последующем малые кластеры воды были зафиксированы также масс-спектрометрическими методами [6]. Этот факт до сих пор не нашел должного теоретического обоснования. Главная трудность здесь заключается в том, что существование малых кластеров воды в насыщенном или слабо пересыщенном паре противоречит классической теории конденсации. Как оказалось, эта проблема также легко разрешается в рамках новой модели образования жидкой воды.

Впервые о возможном кватаронном механизме образования жидкой воды нами сообщалось в 2005 г. [7]. В настоящей работе на основе новых данных дается развернутое описание теории образования полимолекулярных нанокластеров воды и обсуждаются различные варианты образования конденсированной водной фазы.

Нанокластеры воды – кватароны и их свойства

Работа образования зародыша из паровой фазы без учета электрического заряда выражается следующим образом [8]:

$$A = \sigma S - V\Delta p, \qquad (1)$$

где σ – удельная поверхностная энергия (поверхностное натяжение), S – поверхность зародыша, V – объем конденсирующегося пара, Δp – изменение давления при конденсации.

Изменение свободной энергии образования зародыша ΔG в зависимости от его радиуса r при его сферической форме может быть представлено в следующем виде:

$$\Delta G = 4\pi r^2\sigma - \frac{4}{3}\pi r^2\Delta G_V, \qquad (2)$$

где ΔG_v – энергия, затрачиваемая на изотермическое сжатие пара.

Критический зародыш определяется из условия: $\frac{\partial \Delta G}{\partial r} = 0$. Тогда из уравнения (2) имеем

$$\Delta G_V = \frac{2\sigma}{r}. \qquad (3)$$

Подставив (3) в (2), мы получаем известную формулу Гиббса для энергии образования критических зародышей:

$$\Delta G = \frac{4}{3}\pi r^2\sigma. \qquad (4)$$

Обращаем внимание на то, что величина σ может зависеть от размера, тогда формула Гиббса, очевидно, будет иметь иную форму. Действительно, если использовать в наших рассуждениях следующую зависимость σ от r:

$$\sigma = \sigma_0\left(1 - \frac{2\delta}{r}\right), \qquad (5)$$

то по той же процедуре получим

$$\Delta G_V = \frac{2\sigma_0}{r}\left(1 - \frac{\delta}{r}\right) \quad \text{и} \qquad (6)$$

$$\Delta G = \frac{4}{3}\pi r^2\sigma_0\left(1 - \frac{4\delta}{r}\right). \qquad (7)$$

В выражениях (5) – (7) σ_0 – удельная поверхностная энергия плоской границы раздела, δ – диаметр кластерообразующих молекул или структурных единиц (для воды $\delta \approx 0.3$ нм). Зависимость (5) близка по форме к той, что была обоснована [9] в рамках теории масштабных единиц, однако получена нами из других соображений [3]. Любопытно, что величина $\frac{2\delta}{r}$ есть не что иное, как доля поверхностных атомов n_s от общего числа атомов n в кластере, т.е. $\frac{2\delta}{r} = \frac{n_s}{n}$.

Графически зависимости (4) и (7) представлены на рис. 1.

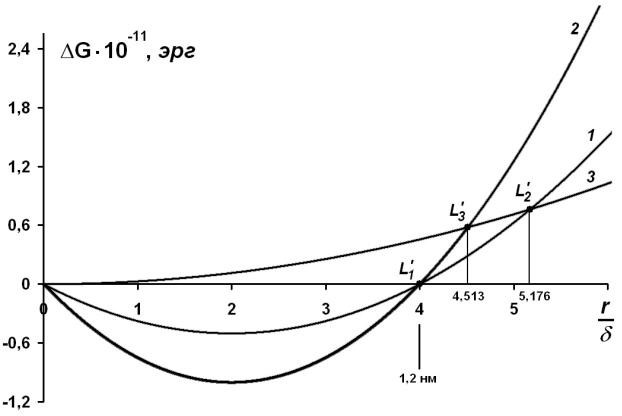


Рис. 1. Зависимость энергии образования критических кластеров воды от их радиуса для:

1 – плотных кватаронов $\Delta G = 125.4\times10^{-14}\left(\frac{r}{\delta}\right)^2\left(1-\frac{4\delta}{r}\right)$;

2 – полых кватаронов $\Delta G = 250.1\times10^{-14}\left(\frac{r}{\delta}\right)^2\left(1-\frac{4\delta}{r}\right)$;

3 – капель воды $\Delta G = 28.5\times10^{-14}\left(\frac{r}{\delta}\right)^2$.

Согласно (4), $\Delta G > 0$ при всех r. В то же время из (7) следует, что $\Delta G \le 0$ при $r \le 4\delta$! Следова-

тельно, такие кластеры (они были названы кластерами «скрытой» фазы или кватаронами) могут самопроизвольно образоваться в пересыщенном паре.

Скорость образования кластеров пропорциональна $\exp(-\Delta G/kT)$, а поскольку для кватаронов $\Delta G<0$, то образование кватаронов происходит взрывообразно. Тем самым решается известная проблема чрезвычайно малой скорости зарождения, существующая в классической теории зародышеобразования и противоречащая эксперименту. Согласно расчетам [8], когда пересыщение $\ln p/p_0 \approx 1.1$, скорость зарождения составляет 10^{-12} зародышей в 1 см^3 в сек. При этом время, необходимое для появления первого зародыша в объеме 1 см^3, равно 1 тыс. лет.

Далее, поскольку

$$\Delta G_V = \frac{RT}{V_m}\ln\frac{p}{p_0}, \qquad (8)$$

где R – газовая постоянная, T – температура, V_m – мольный объем, p_0 – равновесное давление пара, то из (6) и (8) получим модифицированный вариант уравнения Гиббса-Томсона

$$\ln\frac{p}{p_0} = \frac{2\sigma_0 V_m}{RTr}\left(1-\frac{\delta}{r}\right), \qquad (9)$$

который отличается от классического наличием множителя в скобках. Из уравнения (9) следует, что при $\ln\frac{p}{p_0}=0$, наряду с $r\to\infty$, мы имеем еще одно решение $r = \delta$! Это принципиально новый результат. Он означает, что кватароны могут образоваться даже при отсутствии пересыщения (в насыщенном паре). А при максимально возможном (предельном) пересыщении их радиус равен 2δ (рис. 2).

Таким образом, новая модель конденсации воды предсказывает существование в пересыщенном паре кластеров воды (кватаронов), которых не должно быть согласно классической теории.

Число молекул в кватаронах (если это плотные образования):

$$n_V = 8\left(\frac{r}{\delta}\right)^3. \qquad (10)$$

Если $r=\delta$, то $n = 8$, а при $r = 2\delta$ число молекул в кватароне может достигать 64. В то же время на поверхности кватарона (при его полой структуре) может располагаться n_S молекул

$$n_S = 16\left(\frac{r}{\delta}\right)^2. \qquad (11)$$

Для кватаронов с радиусом $r = \delta$ имеем $n_S = 16$, а если $r = 2\delta$, то $n_S = 64$. С учетом коэффициента упаковки ($k_{упак}$= 0.75 – для плотных и 0.9375 для полых) в интервале пересыщений от нуля до предельного его значения плотные кватароны воды содержат от 6 до 48 молекул. При полой структуре число молекул в кватаронах составит от 15 до 60. Следовательно, кватароны воды в интервале их размеров от δ до 2δ – это полимолекулярные кластеры, содержащие от нескольких единиц до десятков молекул.

Кватароны как объекты, преимущественно связанные вандерваальсовыми связями, представляют собой образования с динамической структурой, непрерывно меняющей свою форму. Так, кластеры, состоящие из шести молекул, могут с равным успехом существовать в форме колец, призм или октаэдров (энергетически эти формы практически эквивалентны). Поэтому кватароны воды в первом приближении интерпретируются как квазисферические образования с переменной структурой. Возможно, наиболее устойчивыми из них будут структуры, которые описываются правильными и полуправильными многогранниками (от октаэдра до икосаэдра). При этом тетраэдрические группировки (n = 4) могут образоваться еще до наступления пересыщения. При сохранении полой структуры ква-

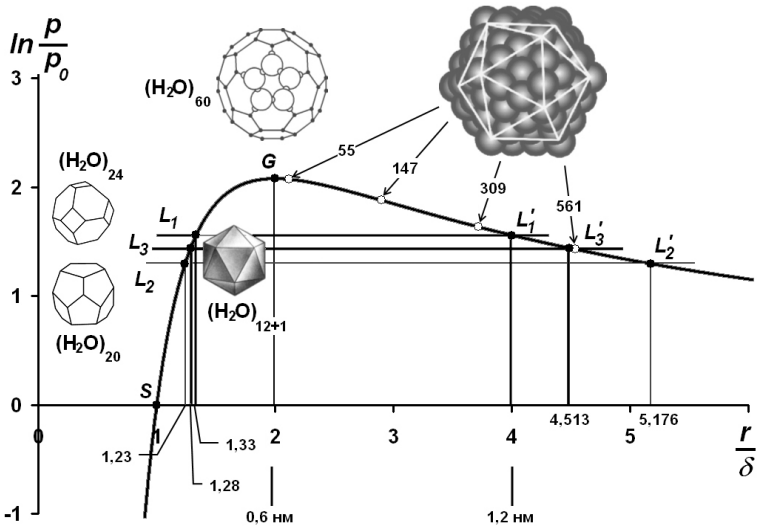


Рис. 2. Зависимость между радиусом кластеров воды и пересыщением пара. Кривая построена по уровню $\ln\frac{p}{p_0} = \frac{8.316\delta}{r}\left(1-\frac{\delta}{r}\right)$, полученному из уравнения (9) при $V_m = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{\delta}{2}\right)N$, где N – число Авогадро и $\sigma_0 = \frac{2RT\delta}{V_m}\ln 8$. Последнее получено из условия невозможности слияния кватаронов при $r<2\delta$ [10]. L_1, L_2, L_3, S и G – кватароны, формирующие «структурированную» воду, кластеры – нанокапли. L_1, L_2, L_3 – образуют неструктурированную воду. Светлые кружки и числа на кривой отвечают соответствующим магическим кластерам икосаэдрической формы. На графике представлены также предполагаемые устойчивые структуры полых кватаронов – $(H_2O)_{20}$ и $(H_2O)_{24}$, образующие воду плотностью ≈1 г/см^3, и фуллереноподобная структура полого кватарона $(H_2O)_{60}$, формирование которой возможно вблизи предельных пересыщений пара.

таронов при пересыщениях, близких к предельным, возможно даже образование фуллерена воды $(H_2O)_{60}$, аналогичного фуллерену углерода C_{60}. Плотноупакованные икосаэдрические кватароны могут увеличиваться в своих размерах путем наращивания последующих оболочек и формировать так называемые магические кластеры, содержащие от 55 до 561 молекул. Существование полых кватаронов («пузырьков») больших размеров маловероятно, поскольку уже при $r > 2\delta$ начинается заполнение их внутренних оболочек.

Внутренние полости кватаронов являются местами консервации (заключения) инородных примесей. Даже для наименьших по радиусу кватаронов воды диаметр внутренней полости равен 0.3 нм, что вполне достаточно для включения небольших атомов и молекул. Это обстоятельство может иметь важное значение, если кватароны рассматривать как объекты инфракрасного поглощения (тепличный газ) в земной атмосфере.

Специфичность кватаронов как особых кластеров состоит также в том, что состояние вещества в них не может быть характеризовано в обычных терминах газообразного, жидкого или твердого состояния. Это связано не только с малыми размерами кватаронов. Реально мы имеем дело с новым (кватаронным) состоянием вещества. Оно существует только на наноуровне и представляет собой особую форму «дохимического» переходного состояния.

Нанокластерная модель образования жидкой воды

Что касается образования жидкой воды через кватароны, то имеется несколько способов конденсации, предусматривающих их слияние или агрегацию. В частности, слияние N кватаронов с радиусом r_0 с формированием более крупных однородных кластеров с радиусом R возможно, если выполняется условие

$$N \cdot 4\pi r_0^2 \gamma(r_0) \geq 4\pi R^2 \gamma(R). \qquad (12)$$

Из условия сохранения массы при слиянии кватаронов имеем:

$$N\frac{\rho_0}{\rho} = \left(\frac{R}{r_0}\right)^3, \qquad (13)$$

где ρ_0 и ρ – плотности исходных кватаронов и образовавшейся частицы. Предполагая, что плотность кватаронов при слиянии не изменяется, с учетом (5) получим

$$r_0 \geq 2\delta\left(1 + \frac{1}{N^{1/3}}\right) \quad \text{и} \quad R \geq 2\delta\left(1 + N^{1/3}\right). \qquad (14)$$

Отсюда следует, что размер способных к слиянию частиц находится в пределах от 2δ до 4δ. Следовательно, радиус минимальной нанокапли воды ($N \approx 1$) равен $R = 4\delta \approx 1.2$ нм. Интересно, что это значение совпадает с нижней границей кристаллического состояния, определяемой по локальной теореме [11].

Кватароны L_1 с радиусом $r = 1.333\delta \approx 0.4$ нм, которые равновесно существуют в паровой фазе при том же пересыщении, что и минимальные нанокапли, в конденсированном состоянии могут образовать жидкую фазу L_1 с плотностью $\rho = 0.9017$ г/см^3. Поскольку конденсация кватаронов с радиусом $r < 2\delta$ происходит с сохранением их целостности, то образуется «структурированная» вода. В момент своего образования она имеет меньшую плотность, чем обычная вода, плотность которой при той же температуре (0^o C) равна 0.997 г/см^3.

При конденсации кватаронов радиусом $r = \delta$, возможных в насыщенном паре, может образоваться аномальная «структурированная» фаза (S-фаза, или «твердая» вода) с высокой плотностью ($\rho = 2.12$ г/см^3). Это интересно, потому что о регистрации аномальной сверхплотной ($\rho = 1{,}4$ г/см^3) воды ранее уже сообщалось [12]. Однако экспериментальные доказательства ее существования остаются до сих пор спорными, хотя окончательно и не опровергнуты.

Соответственно, конденсация кватаронов G с радиусом $r = 2\delta$ (предельное пересыщение) должна дать аномальную «газообразную» G-фазу ($\rho = 0.26$ г/см^3). Очевидно, что вода с такой плотностью еще не является жидкой водой в прямом смысле слова, но это уже и не газ.

Кроме того, возможно образование еще двух «структурированных» водных фаз L_2 и L_3 с плотностью соответственно 1.1232 г/см^3 и 1.0092 г/см^3. Эти фазы прогнозируются при сопоставлении классической и кватаронной моделей образования жидкой воды (рис. 1). Причем образование фазы L_3 (при конденсации полых кватаронов) энергетически более выгодно, чем фазы L_2 (конденсация плотных кватаронов). Именно она (фаза L_3) наиболее близка по плотности к реальной воде.

Таким образом, конденсация разных по своей структуре и размерам кватаронов приводит к формированию разных конденсированных фаз воды. По крайней мере, потенциальная возможность для образования различных водных фаз имеется, однако экспериментальные доказательства их образования отсутствуют и долговременное существование также вызывает сомнения.

Выше мы рассматривали случай образования электрически нейтральных кластеров. Если же кластеры заряжены, то ситуация может быть иной. Очевидно, что заряды будут препятствовать агрегации и слиянию кватаронов. Тогда конденсация кластеров, радиус которых больше 4δ (капельный механизм), может оказаться единственно возможным способом образования жидкой воды. Соответственно, воду с плотностью 1 г/см^3 будут образовывать «капельки» радиусом 1.35 нм. Образование «структурированных» фаз воды станет практически невозможным.

Вместе с тем заряженные кватароны при определенных условиях по принципу кулоновского кристалла могут образовать особую «структурированную» фазу («плазменную» воду). Не исключено, что подобную природу имеют изредка наблюдаемые водные образования, называемые шаровыми

молниями [13]. В пользу данной гипотезы свидетельствует то, что шаровые молнии чаще всего образуются в грозу и их существование ограничено во времени (до десятков секунд). Заметим, что согласно одной из распространенных гипотез [14], шаровая молния также рассматривается как кластерное образование, состоящее из необычной плазмы – смеси положительных и отрицательных ионов. Но в этой гипотезе приходилось предполагать, что ионы облеплены нейтральными молекулами воды – иначе невозможно было бы обеспечить отсутствие рекомбинации ионов.

Как указывалось выше, формирующие жидкую воду кватароны находятся в интервале $L_1 - L_2$, которые можно рассматривать как верхнюю и нижнюю границы жидкофазной конденсации. Еще одна возможность образования относительно крупных кластеров и соответственно жидкой водной фазы связана с фрактальной агрегацией кватаронов, радиус которых менее 2δ. Радиус R фрактального кластера связан с радиусом исходных кватаронов следующим выражением [10]:

$$\ln R = \ln r - \frac{\ln \rho / \rho_0}{3 - D}, \qquad (15)$$

где ρ_0 и ρ – плотности исходного кватарона и фрактального кластера, D – фрактальная размерность. При $D = 2.5$ и $\rho/\rho_0 = 0.37$ (до этого значения сохраняется целостность кластера в свободно дисперсной среде) имеем $\ln R = \ln r + 2$. Соответственно, радиус кластера для последующих уровней агрегации определяется из выражения:

$$\ln R_n = \ln R_{n-1} + 2. \qquad (16)$$

При $r = \delta \cong 0.3$ нм, $R_1 = 2.2$ нм, $R_2 = 16.3$ нм и $R_3 = 120.4$ нм. При $r = 2\delta \cong 0.6$ нм, $R_1 = 4.4$ нм, $R_2 = 32.8$ нм и $R_3 = 242.1$ нм. Из этих данных следует, что уже первый уровень агрегации вполне достаточен для образования капель воды, формирующих иной тип жидкой воды («фрактальная» вода).

Заключение

Таким образом, мы приходим к выводу, что реальная жидкая вода – это совокупный результат реализации различных способов образования ее разных типов – «полиморфных модификаций». Если так, то неудивительно существование огромного количества моделей строения воды, каждая из которых вроде бы находит экспериментальное подтверждение. Очевидно, что между этими модификациями, если они в каком-то виде сохраняются в воде, могут происходить структурные превращения (фазовые переходы), что, возможно, обуславливает дискретность изменения свойств воды с изменением температуры [15]. Отсюда следует также предположение о том, что свойства жидкой воды зависят не только от свойств ее молекул, их взаимного расположения в данный момент, но и от способа образования кластеров, времени их жизни, особенностей межкластерного взаимодействия и последующей структурной релаксации. Однако, каким бы способом ни образовалась обычная жидкая вода, ее «жизнь» и свойства в значительной степени будут определяться особенностями устанавливающихся между молекулами воды более сильных водородных связей и межкластерного взаимодействия. Но схема случайной сетки этих связей (континуальные модели структурны) не будет в полной мере отражать структурные свойства воды. Некая «кватаронная память» в структуре воды в виде особенностей ближнего порядка может сохраниться. Это означает, что, несмотря на непрерывно протекающие процессы образования и распада водородных связей, наиболее вероятные, наряду с тетраэдрическими, экспериментально могут быть зафиксированы октаэдрические, додекаэдрические, икосаэдрические и другие непредсказуемые конфигурации молекулярного окружения. Особенно велика вероятность существования таких структур в переохлажденной воде. Если эти предсказания подтвердятся надежными экспериментальными данными, то должны измениться и существующие представления о молекулярной и надмолекулярной структуре воды и водных растворов. В связи с этим напомним, что представления о скрытой собственной структуре (inherent hidden structure) – F-структуре, отличной от известных I-, V- и D-структур воды, на основе совершенно иных соображений были введены Т. Вебером и Ф. Стиллинджером еще в 1982 г. [16]. Эта структура отвечает минимуму потенциальной энергии к ближайшей мгновенной I-структуре.

В заключение нельзя не заметить, что изложенные здесь представления о возможной «кватаронной памяти» в структуре воды не имеют ничего общего с гипотезой о существовании в воде неких долгоживущих структур, полимерных и информационных матриц. Такие предположения опровергаются многочисленными экспериментами [17]. Не подтверждаются также и идеи о якобы особых свойствах воды, подвергнутой различным воздействиям (механическим, магнитным и т.д.) или в которой когда-то были растворены какие-то биоактивные вещества даже после многократного разведения.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 14-05-00592) и НШ-4795.2014.5, а также Программы фундаментальных исследований УрО РАН (проект №15-18-5-45).

Литература

1. *Кесслер Ю.М., Петренко В.Е., Лященко А.К. и др.* Вода: структура, состояние, сольватация. Достижения последних лет / Отв. ред. А.М. Кутепов. М.: Наука, 2003. 404 с.
2. *Колясников Ю.А.* К тайнам мироздания. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 1997. 225 с.
3. *Асхабов А.М.* Кластерная (кватаронная) самоорганизация вещества на наноуровне и образование кристаллических и некристаллических материалов // Зап. ВМО. 2004. № 4. С. 108–123.
4. *Асхабов А.М.* Кватаронная концепция: основные идеи и некоторые приложения // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2011. № 3(7). С. 70–77.

5. *Wilson C.T.R.* Condensation of water vapor in the presence of dust-free air and other gases // Philos. Trans. R. Soc. London (1897) A. Vol. 189. P. 265.
6. *Carlon H.R. and Harden C.S.* Mass spectrometry of ion-induced water clusters: an explanation of the infrared continuum absorption // J. Applied Optics. 1980. Vol. 19. P. 1779.
7. *Асхабов А.М.* Как образуется жидкая вода // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2005. № 4. С. 2–4.
8. *Volmer M.* Die Kinetik der Phasenbildung // Steinkopff, Dresden, 1939.
9. *Reiss H., Frish H.L., Helfand E., Lebowitz J.L.* Aspects of the statistical thermodynamics of real fluids//J. Chem. Phys. 1960. Vol. 32. P. 119.
10. *Асхабов А.М.* Агрегация кватаронов как механизм формирования аморфных сферических частиц // Докл. АН. 2005. Т. 400. № 2. С. 224–227.
11. *Асхабов А.М., Галиулин Р.В.* Кватаронный механизм образования и роста кристаллов // Докл. АН. 1998. Т. 363. № 4. С. 513–514.
12. *Дерягин Б.В., Чураев Н.В.* Новые свойства жидкостей. М.: Наука, 1971. 176 с.
13. *Асхабов А.М.* Кватаронная модель шаровой молнии//ДАН.2008. Т.418. № 5. С. 611–613.
14. *Стаханов И.П.* О физической природе шаровой молнии. М.: Научный мир, 1986. 264 с.
15. *Овчинников Л.Н., Масалович А.М.* Полиморфизм воды и его роль в гидротермальном минералообразовании // ЗВМО. 1977. Ч. 106. Вып. 2. С.179–192.
16. *Саркисов Г.Н.* Структурные модели воды // УФН. 2006. Т. 176. № 8. С. 833–845.
17. *Иваницкий Г.Р., Деев А.А., Хижняк Е.П.* Может ли существовать долговременная структурно-динамическая память воды // УФН. 2014. Т. 184. № 1. С. 43–74.

References

1. *Voda:* struktura, sostoyanie, sol'vanaciya. Dostizheniya poslednikh let [Water: structure, state, salvation. Achievements of recent years] // Yu.M.Kessler, V.E.Petrenko, A.K.Lyashchenko et al. Ed. A.M.Kutepov. Moscow: Nauka. 2003. 404 p.
2. *Kolyasnikov Yu.A.* K tainam mirozdaniya [To the mysteries of the universe] // Magadan: SNVTs DVO RAN [North-East. Sci. Centre, Far-East Branch, RAS], 1997. 225 p.
3. *Askhabov A.M.* Klasternaya (kvataronnaya) samoorganizaciya veshchestva na nanourovne i obrazovanie kristallicheskikh i nekristallicheskikh materialov [Cluster (quataron) self-organization of mater at nano-level and formation of crystalline and non-crystalline materials] // West. All-Union Mineral. Soc. 2004. No. 4. P. 108–123.
4. *Askhabov A.M.* Kvataronnaya kontseptsiya: osnovnye idei i nekotorye prilozheniya [The quataron concept: main ideas and some application] // Proc. of Komi Sci. Centre, RAS. 2011. No. 3(7). P. 70-77.
5. *Wilson C.T.R.* Condensation of water vapor in the presence of dust-free air and other gases // Philos. Trans. R. Soc. London (1897) A. Vol. 189. P. 265.
6. *Caron H.R. and Harden C.S.* Mass spectrometry of ion-induced water clusters: an explanation of the infrared continuum absorption // J. Applied Optics. 1980. Vol. 19. P. 1779.
7. *Askhabov A.M.* Kak obrazuetsya zhidkaya voda [How is liquid water formed] // Bull. of Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. Syktyvkar. 2005. No. 4. P. 2–4.
8. *Volmer M.* Die Kinetik der Phasenbildung // Steinkopff, Dresden 1939.
9. *Reiss H., Frish H.L., Helfand E., Lebowitz J.L.* Aspects of the statistical thermodynamics of real fluids // J. Chem. Phys. 1960. Vol. 32. P. 119.
10. *Askhabov A.M.* Agregatsiya kvataronov kak mekhanizm formirovaniya amorfnykh sfericheskikh chastits [Aggregation of quatarons as the formation mechanism of amorphous spherical particles] // Doklady Ac. Sci. Vol. 400. No. 2. P. 224–227.
11. *Askhabov A.M., Galiulin R.V.* Kvataronnyi mekhanizm obrazovaniya i rosta kristallov [Quataron mechanism of formation and growth of crystals] // Doklady Ac. Sci. 1998. Vol. 363. No. 4. P. 513–514.
12. *Deryagin B.V., Churaev N.V.* Novye svoistva zhidkostei [New properties of liquids] // Moscow: Nauka, 1971. 176 p.
13. *Askhabov A.M.* Kvataronnaya model' sharovoi molnii [Quataron model of ball lightning] // DAN. 2008. Vol. 418. No. 5. P. 611-613.
14. *Stakhanov I.P.* O fizicheskoi prirode sharovoi molnii [On the physical nature of ball lightning] // Moscow: Nauchy mir [Scientific world]. 1986. 264 p.
15. *Ovchinnikov L.N., Masalovich A.M.* Polimorfizm vody i ego rol' v gidrotermal'nom mineraloobrazovanii [The polymorphism of water and its role in hydrothermal mineral formation] // ZBMO. 1977. Pt. 106. Issue 2. P. 179–192.
16. *Sarkisov G.N.* Strukturnye modeli vody [Structural models of water] // UFN. 2006. Vol. 176. No. 8. P. 833–845.
17. *Ivanitsky G.R., Deev A.A., Khizhnyak E.P.* Mozhet li sushchestvovat' dolgovremennaya strukturno-dinamicheskaya pamyat' vody [Can there be long-term dynamic structural memory in water] // UFN. 2014. Vol. 184. No. 1. P. 43–74.

Статья поступила в редакцию 15.02.2016

Известия Коми научного центра УрО РАН
№ 1(25). Сыктывкар, 2016.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 628.16.081: 303.732.4

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ПЛАСТОВЫХ ВОД ОТ ЭМУЛЬГИРОВАННЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМЫ МАГНИТНЫХ ЧАСТИЦ И МАГНИТНОГО ПОЛЯ

А.А. ЛЮТОЕВ*, Ю.Г. СМИРНОВ*, Е.А. ЛЮТОЕВА**

**ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет», г. Ухта*
***ФГБОУ ВПО «Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина», г. Сыктывкар*
allyutoev@yandex.ru

Рассматривается метод очистки пластовых вод от эмульгированных нефтепродуктов при помощи магнитных частиц магнетита и магнитного поля. Выполнен анализ рассматриваемой системы и выделены управляемые параметры. На основе экспериментальных исследований, проведенных с пластовыми водами Ярегского и Нижнечутинского месторождений и построенной математической модели, выполнена оценка целевой функции (повышение эффективности очистки) по разработанным критериям эффективности.

Ключевые слова: **магнитные частицы, нефтяные эмульсии, параметры системы, эффективность очистки, критерии оценки**

A.A. LYUTOEV, YU.G. SMIRNOV, E.A. LYUTOEVA. EVALUATION OF EFFICIENCY OF PURIFICATION OF RESERVOIR WATERS FROM EMULSIFIED OIL PRODUCTS USING A SYSTEM OF MAGNETIC PARTICLES AND MAGNETIC FIELDS

The method of purification of reservoir waters from the emulsified oil products with the aid of magnetic magnetite particles and magnetic field is considered. The analysis of the system is made and control parameters are highlighted. Evaluation of the effectiveness of the method used is performed by two criteria: improving the purity and increasing the rate of cleaning by choosing optimal concentrations of magnetic particles.
To evaluate the effectiveness according to the first criterion (cleaning quality) a series of experiments of cleaning reservoir waters of Yarega and Nizhnechutinsky fields was conducted. Experiments were conducted with various sizes of magnetite particles obtained by grinding and condensation. Evaluation of the rate of purification was tied to optimum concentration of magnetic particles so as not to use their excessive amount. For this purpose a mathematical model was constructed determining the optimum concentration of use of a monodisperse system of magnetic particles in the purification from emulsified oil products.
Combining the data obtained, the algorithm for estimating the objective function according to specified efficiency criteria is set. The importance of the efficiency criteria is determined by the coefficients K_1 and K_2. Depending on the quality requirements of purification of reservoir waters, the developed program allows to evaluate the significance of the coefficients to the relevant efficiency criteria and to determine the optimal concentration for the system of magnetic particles used.

Keywords: **magnetic particles, oil emulsion, parameters of the system, efficiency of purification, criteria of evaluation**

Введение

Для очистки вод от нефтепродуктов разработано и внедрено множество методов. На сегодняшний день по-прежнему остается актуальным вопрос об эффективности методов глубокой очистки промысловых вод от эмульгированных нефтепродуктов. Нефтепромысловые воды содержат высокое количество нефтяных эмульсий, из-за чего наиболее часто применяемые традиционные методы не способны достичь необходимой степени очистки, которая регламентируется либо экологическими нор-

мами (при сбросе на ландшафт), либо отраслевыми стандартами (например, при закачке в пласт). Учитывая, что нормы качества сточной воды достаточно жесткие, проблема ее очистки от нефтепродуктов остается по-прежнему актуальной.

В последние годы наблюдается огромный интерес многих исследователей к вопросам очистки воды от нефтяных загрязнений с использованием магнитного порошка из ферромагнитных материалов [1–3]. В частности, этой проблеме посвящен ряд патентов таких авторов, как Ю.А.Миргород и С.Г.Емельянов, А.Л.Бачурихин и А.В.Демин. Как отмечено в этих патентах, высокая эффективность очистки достигается путем повышения гидрофобности ферромагнитного сорбтива.

В работе [4] было установлено, что среди параметров, влияющих на сорбционную способность, значимым является размер частиц сорбтива. Также здесь показано, что твердые частицы размерами меньше микрона способны стабилизировать эмульсии различного типа (вода в нефти или нефть в воде).

Материал и методы

На основе выполненного анализа литературы и построенной теоретической модели для систематизации объекта исследования была составлена структурная схема системы, из которой выделено множество внутренних (управляемых) параметров:

1. Размер магнитных частиц (d_{ch}, мкм);
2. Индукция магнитного поля (B, Тл);
3. Градиент магнитного поля (dB/dx, Тл/м);
4. Концентрация ферромагнитных частиц (C, мг/л);
5. Расстояние извлечения омагниченной эмульсионной капли (L, м);
6. Время сорбции (T,ч);
7. Поверхностно-активное вещество на магнитной частице (P).

Цель настоящей работы – усовершенствование рассматриваемого метода очистки путем подбора выделенных параметров функционала качества

$$F(d_{ch}, B, dB/dx, C, L, T, P) \rightarrow max. \quad (1)$$

Рассмотренная целевая функция является абстрактной. Из-за отсутствия аналитической зависимости между целевой функцией и параметрами была выполнена декомпозиция объекта исследования [5]. Поэтому эффективность функционала качества будем оценивать, опираясь на методы системного анализа, с определением воздействия каждого из параметров на систему. При этом сама целевая функция определяется двумя критериями эффективности: F_1 – повышение степени очистки; F_2 – повышение скорости очистки за счет выбора оптимальных концентраций магнитных частиц.

Для проведения экспериментальных исследований изготовлен магнитный разделитель с ферромагнитной упаковкой, описание которого приведено в работе [6]. На данной установке были подобраны оптимальные параметры напряженности и градиента магнитного поля. Конструкция ферромагнитной упаковки позволила значительно сократить расстояние извлечения.

В работе [8] приведены результаты моделирования параметров разрабатываемой системы очистки пластовых вод от нефтяных загрязнений с использованием магнитных частиц и разделителя с магнитным фильтром на базе ферромагнитной упаковки. Рассчитаны оптимальные характеристики потока жидкости в установке в зависимости от размеров эмульсионных капель. Полученные в результате моделирования характеристики потока жидкости в разделителе дают возможность выбрать оптимальный режим работы предлагаемой системы очистки пластовых вод в зависимости от параметров загрязняющих нефтяных эмульсий. Полученные данные [8] позволяют оценить возможность применимости данной установки.

Результаты и обсуждение

В настоящей работе выполним поиск максимального значения целевой функции

$$F=\sum K_i F_i \rightarrow max \quad (2)$$

по параметрам:

- размер магнитных частиц (d_{ch}, мкм);
- концентрация ферромагнитных частиц (C, мг/л);

где F_i – критерии оценки, K_i – вес критерия.

Для оценки по первому критерию эффективности (степень очистки) в работе [6] была выполнена серия экспериментов по очистке пластовых вод Ярегского и Нижнечутинского месторождений. Эксперименты проводились с частицами магнетита различных размеров, полученных путем размалывания и конденсации. Эффективность очистки определялась по формуле:

$$F_1 = \frac{C_u - C_{вых}}{C_u}, \quad (3)$$

где C_u – исходная концентрация нефтепродуктов в воде, $C_{вых}$ – концентрация нефтепродуктов после очистки.

Результаты определения эффективности очистки по первому критерию приведены на рис. 1. По линиям уровня однозначно можно сказать, что размер частиц влияет на эффект очистки. Поверхность имеет нестрогое возрастание из-за того, что эксперименты проводились с различными образцами без учета внешних параметров воздействия. В предыдущей работе [6] мы стремились увеличить степень дисперсности частиц магнетита путем химической конденсации двух- и трехвалентного хлорида железа. Полученные по данной методике коллоиды имеют размеры порядка 10 нм.

Несмотря на то, что данные частицы обладают суперпарамагнитными свойствами, они подвержены образованию конгломератов под действием сил межмолекулярного взаимодействия. Выполненное численное моделирование показало, что энергия межмолекулярного взаимодействия и тепловая энергия практически равны между собой. Средний размер таких конгломератов составил ≈ 1.8 мкм.

Для предотвращения образования подобных конгломератов обычно используются различные поверхностно-активные вещества (ПАВ). Молекулы ПАВ образуют монослой на поверхности коллоида, предотвращая сближение частиц на такие расстояния, при которых они слипаются. При этом за счет монослойной упаковки происходит стерическое отталкивание частиц, что обеспечивает агрегативную устойчивость.

В работе [7] решается проблема агрегирования магнитных наночастиц. Конденсацию частиц Fe_3O_4 производят путем гидролиза солей двух- и трехвалентного хлоридов железа в растворе гидроксида аммония. Далее стабилизируют оболочкой полидифениламин-2-карбоновой кислоты. Как отмечают авторы, полученный дисперсный магнитный наноматериал представляет собой стабильные суспензии в водных и органических средах. На наш взгляд, такие частицы являются отличными кандидатами для оптимизации разрабатываемого нами метода очистки по первому критерию. Но по второму критерию при этом наблюдается существенное снижение скорости извлечения эмульсии.

Для ее определения под действием магнитной силы была построена следующая модель. Допустим, что имеется эмульсия типа нефть в воде (капельки такой эмульсии имеют сферическую форму с диаметром $d_{эм}$). Также предположим, что в эмульсии содержатся в небольшой концентрации магнитные частицы с диаметрами $d_ч$, которые образуют монослой на поверхности капелек эмульсии.

С учетом силы вязкого трения в рамках рассматриваемой модели в работе [8] была получена аналитическая зависимость скорости извлечения омагниченной эмульсии нефти в зависимости от расстояния X до поверхности ферромагнитных стержней, расположенных внутри предлагаемого фильтра:

$$\upsilon(X) = \frac{2kd_{эм}d_ч M_{нас} L(z_ч)}{9\eta}(0,0728exp(-4,2X) + \\ +0,000855exp(-0,0038X)), \quad (4)$$

где $\eta = 8.9 \cdot 10^{-4} Па \cdot с$ – коэффициент вязкости, $d_{эм}$, $d_ч$ – диаметр капель нефтяных эмульсий и магнитных частиц, $M_{нас} = 4 \cdot 10^5$ А/м – намагниченность насыщения для магнетита, $L(z_ч)$ – функция Ланжевена, k – коэффициент упаковки магнитных частиц на поверхности эмульсионной капли.

Из приведенной формулы видно, что скорость движения эмульсионной капли можно повысить при увеличении коэффициента упаковки k и путем размеров магнитных частиц $d_ч$.

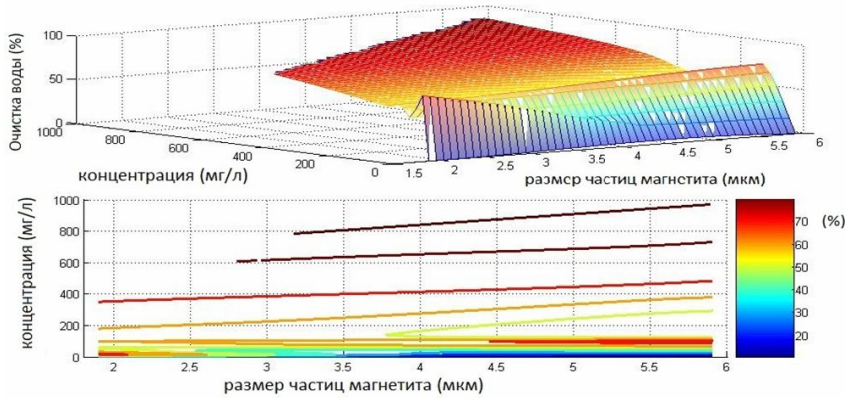


Рис. 1. Результаты экспериментов по очистке воды от нефтепродуктов с частицами магнетита различных размеров.

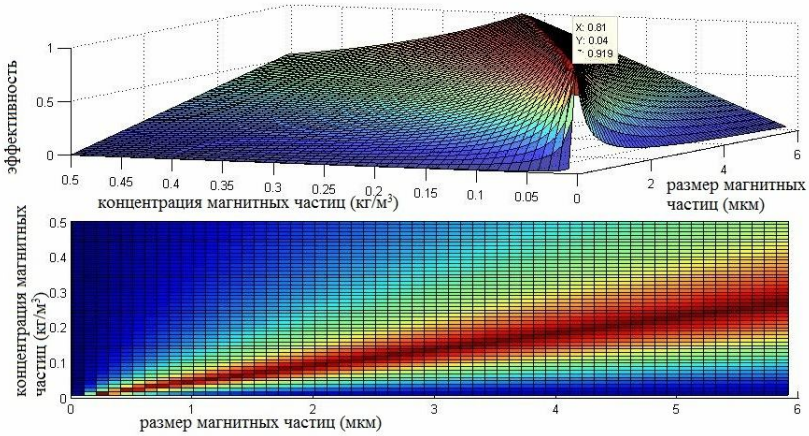


Рис. 2. Оценка эффективности очистки по второму критерию (скорость очистки).

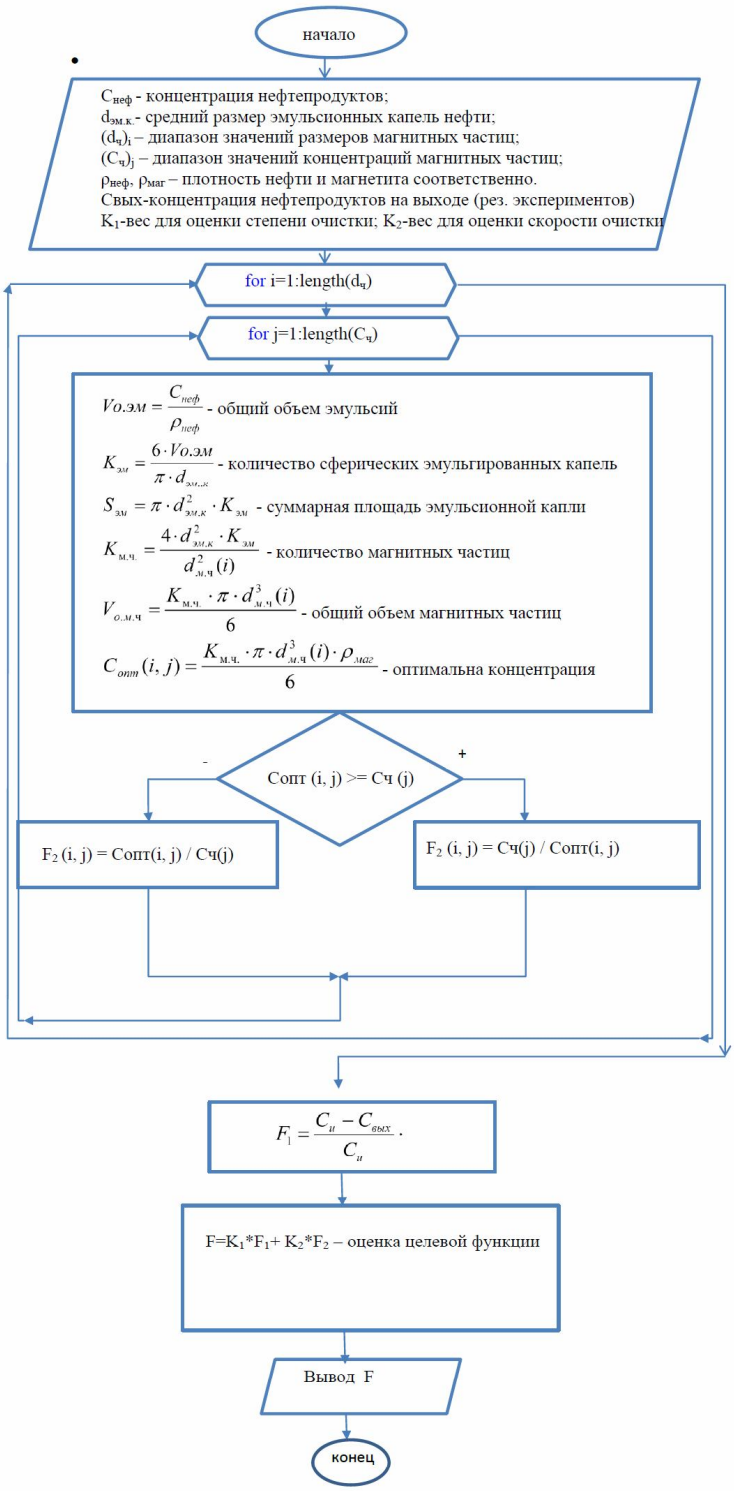


Рис. 3. Блок-схема алгоритма оценки целевой функции по критериям эффективности.

Оценку скорости очистки связываем с необходимой концентрацией магнитных частиц, чтобы не использовать их излишнее количество. Для каждого образца пластовых вод, содержащих определенную концентрацию нефтепродуктов $C_{неф}$, установим оптимальную концентрацию магнитных частиц:

$$C_{опт} = \frac{4 d_{ч} \rho_{маг} C_{неф}}{\rho_{неф} d_{эм}}, \qquad (5)$$

где $\rho_{неф}$ – плотность нефтепродуктов, $\rho_{маг}$ – плотность магнетита.

Максимум целевой функции по второму критерию для выбранной установки ферромагнитного разделителя будем оценивать по соотношению:

$$F_2=(d_{ch}, C) \rightarrow max. \qquad (6)$$

При этом целевая функция должна будет принимать максимум при значениях $C_{опт}$. Оценку по

второму критерию определим следующими двумя правилами:

1) повышение концентрации прямо пропорционально увеличению скорости извлечения

$$F_2 = Ci / C_{опт} \text{ при } Ci \leq C_{опт}; \quad (7)$$

2) дальнейшее увеличение концентрации при $Ci > C_{опт}$ будет обратно пропорционально экономической целесообразности, что определим выражением

$$F_2 = C_{опт} / Ci. \quad (8)$$

В рамках рассматриваемой модели оценим величину второго критерия для установления оптимальных концентраций магнитного сорбтива. Допустим, что концентрация эмульгированных нефтепродуктов на выходе из резервуаров отстойников $C_{неф}=50$ *мг/л* (такие данные на выходе резервуаров отстойников РВС-5000 и РВС-1000 приведены в работе [9]) при среднем размере эмульсионных капель $d_{эм.к}=10$ *мкм* и $\rho_{неф}=800$ *кг/м*^{3}. При заданных значениях оценим целевую функцию по критерию скорости очистки (рис. 2).

По полученным данным (рис. 2) видно, что концентрацию сорбтива следует повышать при увеличении размеров коллоидов магнитных частиц.

На рис. 3 приведена блок-схема алгоритма оценки целевой функции по заданным критериям эффективности. Важность таких критериев определяется весами K_1 и K_2. Данный алгоритм реализован в пакете Matlab. Результаты моделирования приведены на рис. 4.

Заключение

Таким образом, можно управлять процессом очистки, задавая нужные веса либо скорости, либо степени очистки. Из графиков (рис. 4) видно, что концентрацию магнитных частиц при увеличении значения первого критерия эффективности (степень очистки) следует увеличивать. В зависимости от требований к степени очистки пластовых вод разработанная программа позволяет оценивать значимость весов соответствующим критериям эффективности и определять оптимальные концентрации для используемой системы магнитных частиц.

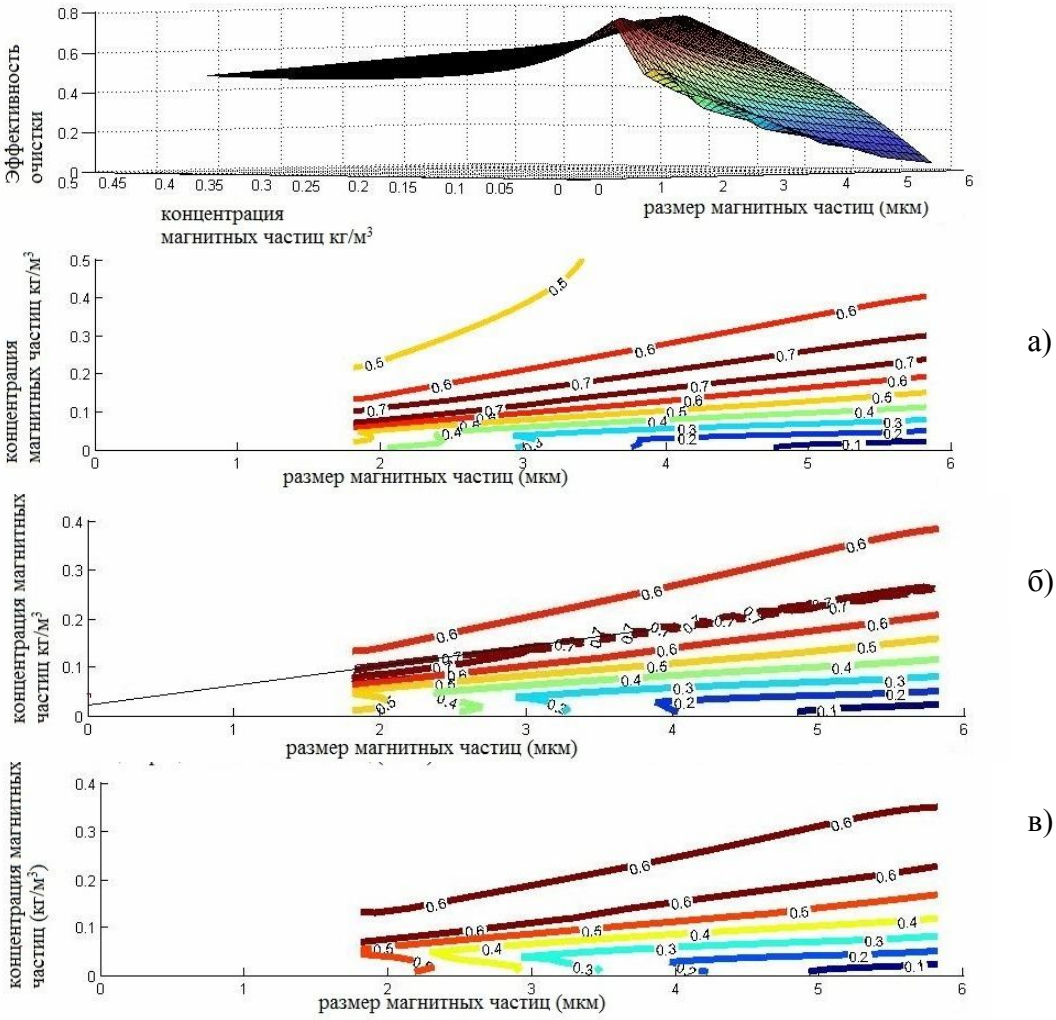


Рис. 4. Оценка целевой функции по заданным критериям эффективности с применением различных весов (K_1 – вес степени очистки, K_2 – вес скорости очистки за счет выбора оптимальных концентраций магнитных частиц). а) K_1= 0,5, K_2= 0,5; б) K_1= 0,6, K_2= 0,4; в) K_1= 0,7, K_2= 0,3.

Литература

1. *Apblett A.W., Al-Fadul S.M., Chehbouni M. and Trad T.* Removal of petrochemicals from water using magnetic filtration // Proceedings of the 8th International Environmental Petroleum Consortium, 2001. http://ipec.utulsa.edu/Ipec/Conf/apblett_101.pdf.
2. *Nagata E., Iwamoto H. and Kobayashi M.* Separation of Oil and Water. Japan Patent, 76111493 (1977).
3. *Назаров В.Д., Назаров М.В.* Очистка нефтепромысловых вод с применением магнитных сепараторов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2008. №6. С.32–34.
4. *Sullivan Andrew P. and Kilpatrick Peter K.* The Effect of Inorganic Solid Particles on Water and Crude Oil Emulsion Stability // Ind. Eng. Chem. Res. 2002. Vol.41. P.3389–3404.
5. *Лютоев А.А., Смирнов Ю.Г.* Оптимизация процесса магнитной очистки воды от нефтепродуктов методами системного анализа // Естественные и технические науки. М.: «Спутник+», 2013. №4. С. 248–252.
6. *Лютоев А.А., Смирнов Ю.Г., Ивенина И.В.* Извлечение эмульгированных примесей нефти из воды при помощи высокодисперсных частиц магнетита // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2014. №4. С. 40–45.
7. *Ефремов И.С., Озкан С.Ж., Карпачев Г.П.* Получение и изучение свойств магнитных наночастиц Fe_3O_4 / полидифениламин–2 карбоновой кислоты // III Всероссийская молодежная конференция с элементами научной школы «Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества». М.: ИМЕТ РАН, РХТУ им.Д.И. Менделеева, 2012. С.230–232.
8. *Лютоев А.А., Смирнов Ю.Г.* Моделирование работы ферромагнитного разделителя для очистки пластовых вод от нефтяных загрязнений // Физико-математическое моделирование систем: Материалы XI Междунар. семинара. Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2014. Ч. 2. С. 77–84.
9. *Ланина Т.Д., Литвиненко В.И., Варфоломеев Б.Г.* Процессы переработки пластовых вод месторождений углеводородов: монография. Ухта: УГТУ, 2006. 172 с.

References

1. *Apblett A.W., Al-Fadul S. M., Chehbouni M., and Trad T.* Removal of petrochemicals from water using magnetic filtration // Proc. of 8th Intern. Environmental Petroleum Consortium, 2001. http://ipec.utulsa. edu/Ipec/Conf/apblett_101.pdf.
2. *Nagata, E., Iwamoto, H. and Kobayashi, M.* Separation of Oil and Water. Japan Patent, 76111493 (1977).
3. *Nazarov V.D., Nazarov M.V.* Ochistka neftepromyslovyh vod s primeneniem magnitnyh separatorov [Cleaning of oil-field water using magnetic separators] // Zashhita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse [Environment protection in oil and gas complex]. 2008. №6. P.32–34.
4. *Sullivan Andrew P. and Kilpatrick Peter K.* The Effect of Inorganic Solid Particles on Water and Crude Oil Emulsion Stability // Ind. Eng. Chem. Res. 2002. Vol.41. P.3389–3404.
5. *Lyutoev A.A., Smirnov Yu.G.* Optimizacija processa magnitnoj ochistki vody ot nefteproduktov metodami sistemnogo analiza [Optimization of the process of the magnetic water purification from oil products by the methods of the system analysis] // Estestvennye i thenicheskie nauki [Natural and Technical Sciences]. Moscow: «Sputnik+». 2013. №4. P. 248–252.
6. *Lyutoev A.A., Smirnov Yu.G., Ivenina I.V.* Izvlechenie jemul'girovannyh primesej nefti iz vody pri pomoshhi vysokodispersnyh chastic magnetite [Extraction of the emulsified oil impurities from water by means of finely-dispersed particles of magnetite] // Zashhita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse [Environmental protection in the oil and gas complex]. 2014. №4. P. 40–45.
7. *Efremov I.S., Ozkan S.Zh., Karpachev G.P.* Poluchenie i izuchenie svojstv magnitnyh nanochastic Fe3O4 / polidifenilamin–2 karbonovoj kisloty [Preparation and study of the properties of magnetic nanoparticles Fe3O4 / polidiphenylamine-2 carboxylic acid] // 3 Vserossijskaja molodezhnaja konferencija s jelementami nauchnoj shkoly «Funkcional'nye nanomaterialy i vysokochistye veshhestva» [3 All-Russian Youth Conference with the elements of scientific school "Functional Nanomaterials and High-Purity Substances»]. Moscow: IMET RAS, D.Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, 2012. P. 230–232.
8. *Lyutoev A.A., Smirnov Yu.G.* Modelirovanie raboty ferromagnitnogo razdelitelja dlja ochistki plastovyh vod ot neftjanyh zagrjaznenij [Modeling of ferromagnetic delimiter to clean reservoir waters from oil pollution] // Fiziko–matematicheskoe modelirovanie sistem: materialy XI Mezhdunar. Seminara [Physical and mathematical modeling of systems: Proc. of XI Intern. Seminar]. Voronezh: FGBOU VPO «Voronezh State Technical University», 2014. Part. 2. P.77–84.
9. *Lanina T.D., Litvinenko V.I., Varfolomeev B.G.* Processy pererabotki plastovyh vod mestorozhdenij uglevodorodov: monografija [Conversion processes of formation waters of hydrocarbons: monograph]. Ukhta: Ukhta State Techn. Univ., 2006. 172 p.

Статья поступила в редакцию 09.04.2015.

УДК 622.276.66:552.578.3.061.43:519.87

РАЗРАБОТКА ТРУДНОИЗВЛЕКАЕМЫХ ЗАПАСОВ – ОСНОВНАЯ ЗАДАЧА БУДУЩЕГО

С.М. ДУРКИН, А.И. ХАСАНОВ

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта
Durkin@bk.ru, khasanov.ugtu@gmail.com

С учетом общемировой статистики приводится распределение трудноизвлекаемых запасов. Рассмотрены карбонатные коллекторы углеводородов и проблемы их разработки, существующие модели течения флюидов в этих коллекторах, а также принципиально новая математическая модель скважины для трещиноватого пласта. Уделено внимание гидравлическому разрыву пласта (ГРП), рассмотрены факторы, влияющие на эффективность данного мероприятия, в т.ч. количество трещин и их раскрытости. Описана краткая методика процесса гидродинамического моделирования в процессе разработки месторождений углеводородов и представлен разработанный программный комплекс для численного моделирования.

Ключевые слова: **разработка месторождений углеводородов, трудноизвлекаемые запасы углеводородов, трещиноватый карбонатный коллектор, гидродинамическое моделирование**

S.M. DURKIN, A.I.KHASANOV. DEVELOPMENT OF HARD-TO-RECOVER RESERVES – THE MAIN TASK OF THE FUTURE

The distribution of hard-to-recover reserves in view of global statistics is given. Carbonate hydrocarbon reservoirs and problems of their development, existing models of the fluid flow in these reservoirs, as well as a fundamentally new mathematical model for a fractured reservoir well are considered. The attention is paid to hydraulic fracturing, factors affecting the efficiency of this event, including the number of cracks and their disclosure are considered. The technique of the process of hydrodynamic modeling in the development of hydrocarbon fields is described in brief, the developed software package for numerical simulation is presented.

Keywords: **development of hydrocarbon fields, hard-to-recover hydrocarbon reserves, fractured carbonate reservoir, hydrodynamic modeling**

К трудноизвлекаемым запасам относят месторождения, для которых характерны следующие признаки: аномальные реологические свойства; сложное пустотное пространство породы-коллектора; суровые климатические условия.

Аномальными реологическими свойствами обладают месторождения высоковязких нефтей (ВВН) и битумов. Наибольшие запасы сверхтяжёлых углеводородов сконцентрированы в Венесуэле и Канаде. Суммарные запасы месторождений бассейна OrinocoBelt в Венесуэле и канадской провинции Альберта составляют свыше 70 % от мировых запасов. К странам, также имеющим крупные запасы ВВН и битумов, относятся США (28 млрд. $м^3$), Россия (10–20 млрд.$м^3$), Индонезия (2,5 млрд.$м^3$) и Китай (1,5 млрд. $м^3$).

В Российской Федерации основные запасы нефти вязкостью более 30 мПа·с расположены в Волго-Уральском, Западно-Сибирском и Тимано-Печорском регионах. В этих районах сконцентрировано более 93% вязкой нефти. Основные запасы нефти вязкостью более 100 мПа·с (45%) расположены на территории Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (ТПНП) и приурочены к Ярегскому месторождению в ее южной части и к пермокарбоновой залежи Усинского месторождения – в ее северной части.

Сложное пустотное пространство природного резервуара отмечается низкой проницаемостью и наличием естественной трещиноватости. Низкопроницаемые коллекторы – это горные породы, характеризующиеся коэффициентом абсолютной проницаемости менее $10 \cdot 10^{-3}$ $мкм^2$ [1].

Природные резервуары нефти и газа, как правило, приурочены к терригенным и карбонатным породам. Однако в последнее время пристальное внимание нефтегазодобычи уделено сланцевым горным породам. Горючий сланец состоит из преобладающих минеральных (кальцит, доломит, гидрослюды, монтмориллонит, каолинит, полевые шпаты, кварц, пирит и др.) и органических частей (кероген). Последняя составляет 10 – 30 % от массы породы и только в сланцах самого высокого качества достигает 50 – 70 %.

Основные ресурсы – около 52 % сланцевой нефти сосредоточены в США (штаты Колорадо,

Юта, Вайоминг). Большие запасы горючих сланцев есть в Бразилии – 21 %, России – 11 % мировых запасов (849 млрд. т), КНР – 5 %, Австралии – 5 %, меньшие – в Болгарии, на Украине, в Великобритании, ФРГ, Франции, Испании, Австрии, Канаде, Италии, Швеции, Эстонии, на территории бывшей Югославии.

В США в больших объемах осуществляется добыча сланцевого газа из сланцевых месторождений. Для его выделения из них применяется горизонтальное бурение и гидравлический разрыв. Крупнейшие по количеству добычи месторождения сланцевого газа: месторождение Барнетт (штат Техас), Marcellus, Haynesville, Fayetteville, Eagle Ford [2].

Карбонатные коллекторы занимают второе место после терригенных. Карбонатные породы состоят из низкопроницаемых матричных зон и трещин. На них приходится 42% запасов нефти и 23 – газа. Главные отличия карбонатных коллекторов от терригенных – наличие, в основном, только двух основных породообразующих минералов – кальцита и доломита. Фильтрация нефти и газа обусловлена, в первую очередь, трещинами и кавернами. Карбонатные коллекторы присутствуют на месторождениях бассейна Персидского залива, нефтегазоносных бассейнов США и Канады, в Прикаспийском бассейне.

Разработка газовых и нефтяных залежей с низкопроницаемыми коллекторами характеризуется рядом специфических особенностей, связанных с течением флюида в среде с двойной пористостью и двойной проницаемостью при создании искусственной трещиноватости. Развитие методов математического моделирования течения флюида в данной среде является актуальной задачей.

Сегодня уже нет вопросов о ведущих ролях трещиноватости в фильтрационных свойствах плотных пород-коллекторов. Это естественно, поскольку трещиноватость горных пород резко увеличивает их проницаемость. Таким образом, технологии разработки залежей с данными коллекторами могут эффективно осуществляться только на основе всестороннего изучения механизмов фильтрации в неоднородных трещиновато-пористых коллекторах.

Пространственная фильтрация флюида в реальных пластах к скважинам (вертикальным, горизонтальным) характеризуется сложной конфигурацией траектории движения частиц жидкости. Эти сложные траектории движения могут схематизироваться простейшими одномерными фильтрационными потоками или их различными комбинациями, что позволяет в конечном счете обеспечивать приближенное математическое моделирование фильтрационных течений и их изучение методами математической физики [3]. Простейшими одномерными фильтрационными потоками являются: прямолинейно-параллельный (линейный фильтрационный поток – ЛФП); плоскорадиальный (радиальный – РФП); билинейный фильтрационный поток (БЛФП).

Все рассмотренные модели одномерных фильтрационных потоков встречаются на практике. Описанные модели имеют точные аналитические решения.

В настоящее время большое внимание уделяется выбору технологий совершенствования разработки трещиновато-пористых коллекторов на основе математического моделирования. Трещины представляют собой нарушения сплошности тела горной породы. Геометрически они характеризуются существенным различием размеров в плоскости разрыва (ширина и длина трещин) и в перпендикулярном направлении (раскрытость или высота трещин). Размеры трещин могут изменяться от микрометров до метров [1].

Разработка трещиноватых коллекторов является актуальной задачей, так как по некоторым оценкам в карбонатных породах сосредоточено от 35 до 48% запасов нефти и от 23 до 28% газа в мире [4]. Поэтому для преодоления сложностей увеличивается роль эффективного применения современных методов изучения фильтрационно-емкостных параметров данных коллекторов. Например, специалисты Французского института нефти (IFP) разработали программу FracaFlow – программная технология для анализа и моделирования систем трещин. Данный программный продукт включает модуль геологического моделирования CobraFlow и модуль гидродинамического моделирования PumaFlow. Многие разработчики программного обеспечения такие западные компании как ROXAR, Shlumberger, CMG, KAPPA в области создания и прогноза технологических показателей разработки месторождений шагнули далеко вперед. Моделирование трещиновато-пористых коллекторов с помощью гидродинамических симуляторов основано на технологии вложенных сред [5]. Качественно иной подход моделирования трещиноватости и фильтрации в неоднородных коллекторах основан на реалистичном представлении трещиноватого пласта [6]. В статье [7] показана принципиально новая модель трещиноватого пласта, основанная на использовании нерегулярной сеточной области.

В настоящее время создание искусственной трещиноватости (гидроразрыв пласта) активно применяется практически на многих нефтяных и газовых месторождениях. Образованные трещины в результате разрыва пласта обеспечивают дополнительные пути фильтрации к скважине. Гидравлический разрыв пласта обеспечивает искусственную трещиноватость продуктивного пласта. Сущность технологии заключается в закачке рабочего и агента и расклинивающего материала. Дизайн трещин ГРП может быть весьма различным. Как правило, в качестве рабочего агента выступает вода в сочетании с различными химическими добавками. Протяженность трещин и проникновение расклинивающего материала вглубь пласта может варьироваться в широких пределах.

Для моделирования процессов, происходящих в трещиноватых, неоднородных, низкопроницаемых коллекторах, разработана и реализована математическая модель скважины в цилиндрических координатах (r, φ, z), принципиальная схема которой состоит из элементов «пласт–скважина–шлейф».

Таким способом смоделирована скважина до проведения и после ГРП на основе разработанной

математической модели. Расчеты были произведены для вертикальной газовой скважины. Результаты расчета до и после ГРП представлены на рис. 1. Как видно из данного рисунка, несмотря на то, что рабочий агент загрязняет призабойную зону пласта, но, обеспечив определенную раскрытость и проницаемость трещин, позволяет повысить производительность добывающих скважин. Разработанная таким способом математическая модель скважины показывает свою универсальность как в области интерпретации гидродинамических исследований, так и при создании дизайна искусственной трещиноватости.

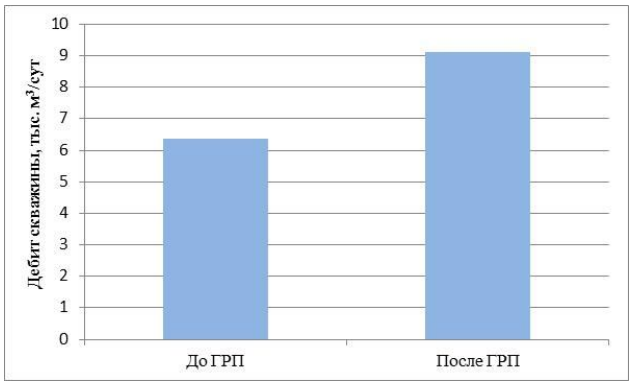


Рис. 1. Влияние искусственной трещиноватости на производительность скважины.

Трещины образуются в тех случаях, когда локальное напряжение превышает градиент давления разрыва пласта. В зависимости от процесса образования трещины могут быть структурного или тектонического происхождения. Пористость, обусловленная системой трещин, обычно невысока; образовавшаяся трещина может в дальнейшем заполниться минералами, которые выпадают из пластовых вод. При этом трещины могут обладать очень высокой проницаемостью, которая объясняется пониженной извилистостью вторичных путей филь-трации пластовых флюидов в этих трещинах. Следовательно, образование естественных трещин часто существенно повышает гидропроводность пласта. Такие трещиноватые пласты являются типичным примером систем двойной пористости, для них характерно неоднородное поведение фильтрационных характеристик, которое может отмечаться при испытании пластов. Как было описано ранее, раскрытость трещин может варьировать в достаточно широких пределах. Для оценки влияния ширины трещин был рассмотрен следующий численный эксперимент с помощью разработанной программы.

Необходимо отметить, что увеличение раскрытости трещин приводит к повышению давления на забое скважины, что объясняется увеличением дебита скважин (рис. 2). Как видно из представленных рисунков, раскрытость трещин в конечном счете определяет приток флюида к скважине. Следовательно, чем выше раскрытость трещин, тем выше продуктивность скважин. Однако возможно интенсивное обводнение скважины.

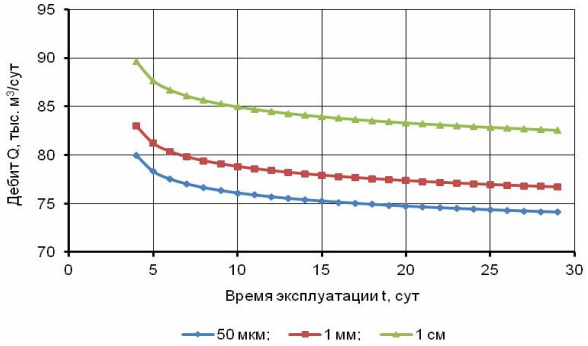


Рис. 2. Влияние раскрытости трещин на дебит скважины.

Важным моментом разработанной модели является также тот факт, что трещина не является единственной, как это представлено во многих математических моделях. Количество трещин будет определять продуктивность той или иной скважины. Рассмотрим влияние количества трещин на показатели эксплуатации скважины. Примем раскрытость трещин 100 мкм и проведем следующие эксперименты (рис. 3). Как видно из представленного графика, увеличение числа трещин приводит к повышению давления на забое скважины, что в свою очередь также увеличивает производительность скважины (рис. 4).

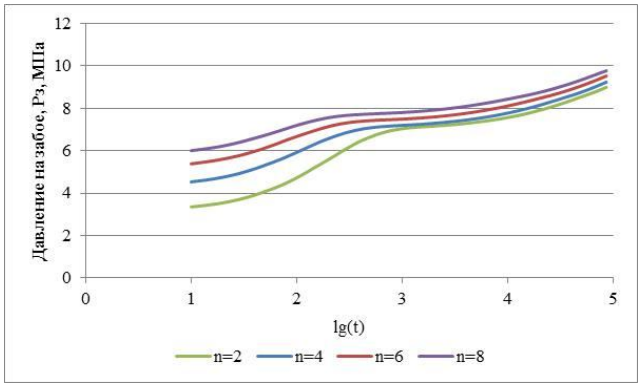


Рис. 3. Кривые восстановления давления в зависимости от количества трещин.

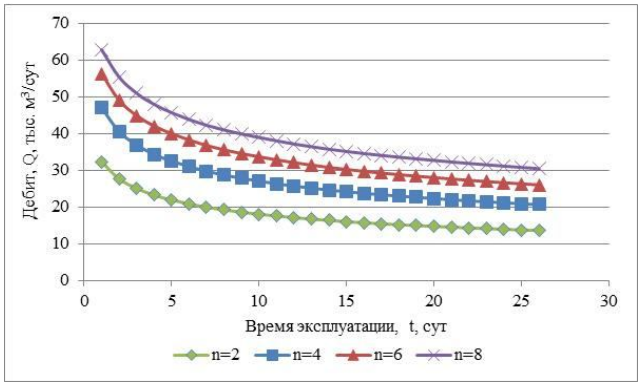


Рис. 4. Дебит скважины при различном количестве трещин.

В настоящее время одним из важнейших направлений повышения качества проектирования, управления и контроля за разработкой нефтяных месторождений является применение постоянно действующих геолого-гидродинамических моделей месторождений.

Последовательность действий при проектировании месторождений при помощи моделирования такова:

- Построение цифровой модели месторождения;
- Расчет технологических показателей разработки;
- Визуализация результатов расчетов;
- Расчёт экономических показателей;
- Выбор эффективного варианта разработки месторождения.

Математические модели фильтрации основаны на законе сохранения массы, энергии и различных законов течения в пласте. Численные расчеты характеризуются сложными математическими выкладками, интерпретация которых возможна с помощью современных методов визуализации. Актуальным направлением является 3D визуализация с набором вспомогательных функций для удобства работы с данными (например, послойное отображение модели, а также возможность автоматического построения графиков технологических показателей разработки).

Разработанный нами гидродинамический симулятор и визуализатор по формату данных взаимно подходят, т.е. формат выходных данных (результаты расчёта) подходит к визуализатору и корректно считывается. Ниже представлен рис. 5 (распределение давления), на котором показаны на конец разработки тестовые модели с фильтрацией ньютоновской жидкости (справа) и с фильтрацией неньютоновской жидкости с начальным градиентом сдвига (слева).

Условно интерфейс можно разделить на три части:

- Окно визуализации;
- Панель быстрой настройки и анимации;
- Меню дополнительной настройки.

Окно визуализации – место в окне программы, где непосредственно отображаются визуализированные данные в 2D или в 3D.

Панель быстрой настройки и анимации – панель для быстрой настройки параметров визуализации, работы с анимацией модели (про-смотр по временным шагам).

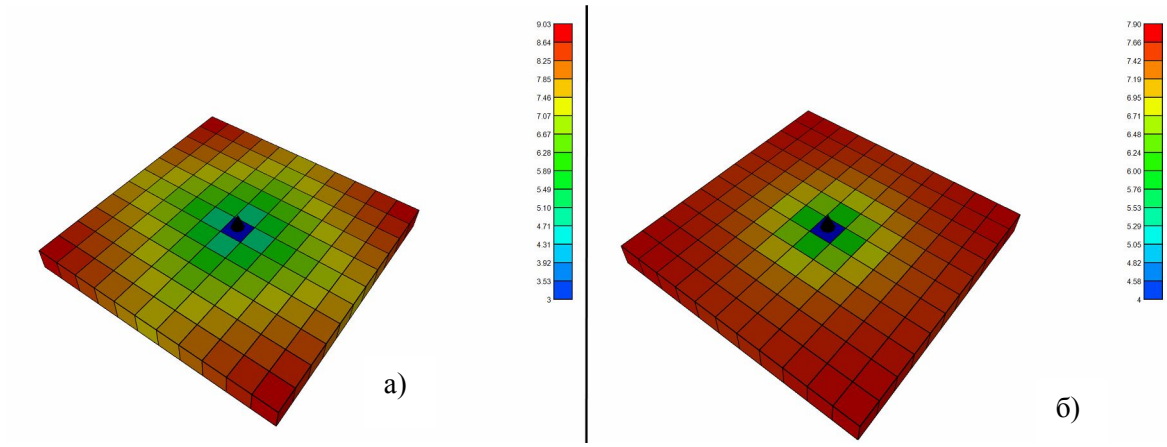


Рис. 5. Распределение давления (а – линейный закон фильтрации; б – нелинейный закон фильтрации) (ед. изм. – МПа).

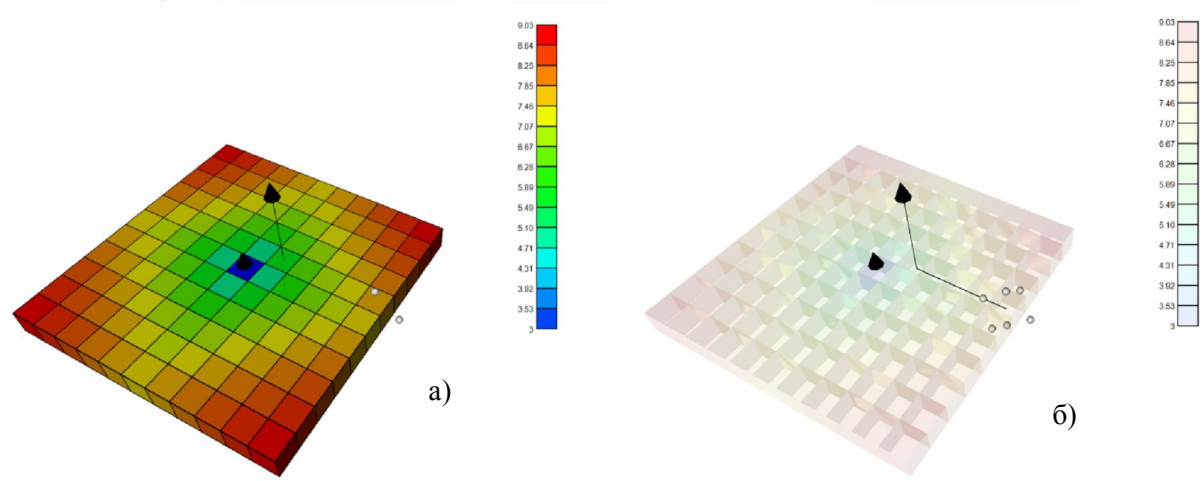


Рис. 6. Расстановка скважин (а – линейный закон фильтрации; б – нелинейный закон фильтрации).

Меню дополнительной настройки – для дополнительной настройки параметров визуализации, выбор массива информации для визуализации (пористость, проницаемость и др.) и создание модели по заданным параметрам.

При создании модели образуется коллекция ячеек, где каждой ячейке присвоены координаты ее расположения и фильтрационно-емкостные свойства.

Реализована удобная функция расстановки добывающих или нагнетательных скважин (см. рис. 6), с возможностью прокладки ствола скважины с помощью мыши и установление режима их работы (давление, дебит). Для удобства прокладки скважины прямо в модели пласта реализована функция – придание прозрачности ячейкам.

Для того, чтобы рассмотреть что же скрывается внутри многослойной модели просмотра реализована функция послойного расчленения модели по i, j, k осям (рис. 7).

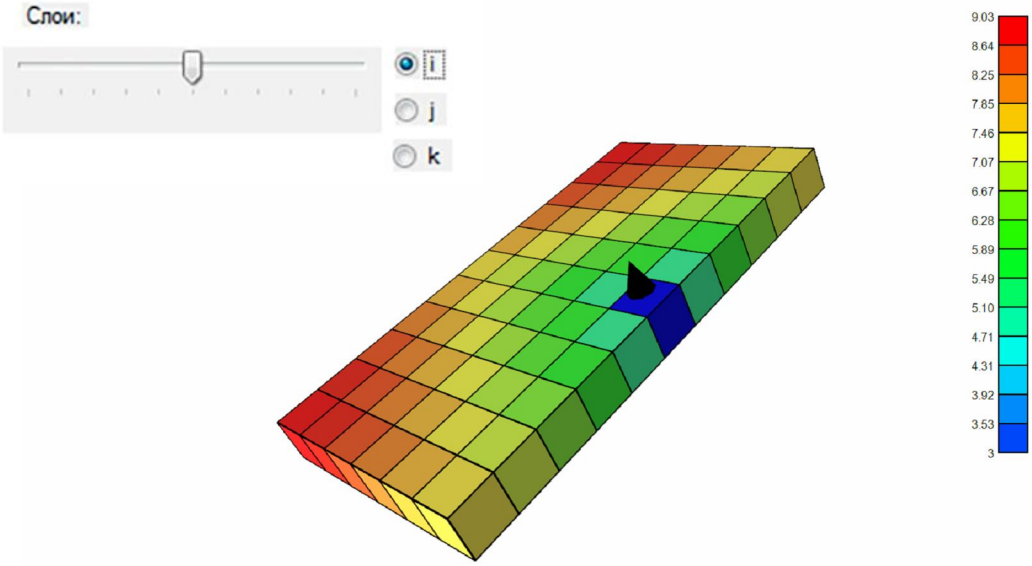


Рис. 7. Разрез модели.

Наряду с этим имеется возможность анимации, прокрутка состояний поля значений параметров на каждый момент времени. Визуализатор отображает данные, которые представлены в виде массивов чисел, расположенных в текстовых файлах.

Заключение

При выполнении настоящей работы получены следующие предварительные итоги и перспективы:

– создана трехмерная математическая модель скважины, дренирующий трещиновато-пористый коллектор в принципиально новой постановке задачи для изучения процессов дренирования флюида в залежи круговой формы, позволяющая более точно рассчитывать фильтрационно-емкостные параметры неоднородных пластов. Оформлено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ;

– на основе разработанной модели выявлены все основные типы фильтрационных потоков, в частности, характерные для трещиновато-пористых коллекторов линейный и билинейный фильтрационный поток;

– гибкость собственного программного кода позволяет учитывать дополнительные механизмы фильтрации, присущие конкретному, а в некоторых случаях – уникальному месторождению углеводородов;

– представленная постановка фильтрации в трещиновато-пористом коллекторе позволяет спрогнозировать гидроразрыв пласта. Установлено, что протяженность образованных трещин напрямую влияет на продуктивность скважины;

– реализованные математические модели как в декартовых, так и в радиальных координатах основаны на современных численных методиках.

В дальнейшем планируется расширение средств визуализации по функциональности до уровня современных коммерческих гидродинамических симуляторов.

Литература

1. *Голф-Рахт Т.Д.* Основы нефтепромысловой геологии и разработки трещиноватых коллекторов. М.: Недра, 1986. 608 с.
2. *Сланцевый газ:* зона неопределенности/Центр изучения мировых энергетических рынков ИНЭИ РАН // ТЭК. Стратегии развития. 2010. №2 (02). С. 24–33.
3. *Шагиев Р.Г.* Исследование скважин по КВД. М.: Наука, 1998. 304 с.
4. *Шпильман А.В., Натчук Н.Ю.* Моделирование трещиноватых резервуаров с использованием технологий Французского института нефти (IFP) // Бурение и нефть. 2012. №5. С. 22–23.
5. *Азиз Х., Сеттари Э.* Математическое моделирование пластовых систем. М.: Недра, 1982. 406 с.
6. *Ding Y., Jeannin L.* New Numerical Schemes for Near-Well Modeling Using Flexible Grids, SPE 87679, March 2004 SPE Journal.

7. *Karimi-Fard M., Durlofsky L.J., Aziz K.* An Efficient Discrete-Fracture Model Applicable for General-Purpose Resrvoir Simulators, June 2004 SPE Journal.

References

1. *Golf-Rakht T.D.* Osnovy neftepromislovoi geologii i razrabotki treschinovatikh kollektorov [Fundamentals of oilfield geology and development of fractured reservoirs]. Moscow: Nedra, 1986. 608 p.
2. Slancevii gas: zona neopredelennosti / Centr izucheniya mirovykh energeticheskikh rynkov ERA RAS [*Shale gas:* a zone of uncertainty, the Center for International Energy Markets ERI RAS] // FEC. Development strategy. April №2 (02) 2010. P. 24-33.
3. *Shagiev R.G.* Issledovanie skvazhin po KVD [Investigation of wells by HPC]. Moscow: Nauka, 1998. 304 p.
4. *Spielmann A.V., Natchuk N.Y.* Modelirovanie treschnovatykh rezervuarov s ispol'zovaniem tekhnologii Franzuzskogo instituta nefti (IFP) [Modeling of fractured reservoirs using techniques of the French Petroleum Institute (IFP)]// Drilling and Oil. №5. 2012. P. 22-23.
5. *Aziz H., Settary E.* Matematicheskoe modelirivanie plastovykh sistem [Mathematical modeling of reservoir systems]. Moscow: Nedra, 1982. 406 p.
6. *Ding, Y., Jeannin, L.* New Numerical Schemes for Near-Well Modeling Using Flexible Grids, SPE 87679, March 2004. SPE Journal.
7. *Karimi-Fard M., Durlofsky LJ, Aziz K.,* An Efficient Discrete-Fracture Model Applicable for General-Purpose Resrvoir Simulators, June 2004. SPE Journal.

Статья поступила в редакцию 08.04.2015

Известия Коми научного центра УрО РАН
№1(25). Сыктывкар, 2016.

ИСТОРИКО-ФИЛОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 811.511.132'373:639.2

ОБОЗНАЧЕНИЯ ЛОДКИ КАК КОМПОНЕНТ ЛЕКСИКИ РЫБОЛОВСТВА В КОМИ ЯЗЫКЕ

А.Н. РАКИН

Институт языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
anatolij.rakin@mail.ru

Названия лодки, весла и шеста составляют самостоятельную микросистему в составе лексики рыболовства в коми языке, которая, как и смежные разряды, имеет древние истоки. Исконный фонд исследуемой группы состоит из лексических единиц прауральского, прафинно-угорского, прапермского, пракоми и собственно коми происхождения. Формирование не исконной части, занимающей незначительное место, происходило на поздних этапах существования коми языка в результате заимствований из двух внешних источников – русского и обско-угорского. Классификация номинативных единиц в статье производится исходя из предметно-понятийного содержания обозначений. Диахронический анализ представляет собой систематизацию имеющихся праформ.

Ключевые слова: **коми язык, лексика рыболовства, названия лодки, исконные обозначения, заимствования**

A.N. RAKIN. BOAT DESIGNATIONS AS A COMPONENT OF THE FISHERY VOCABULARY IN THE KOMI LANGUAGE

Names of a boat, oar and pole make an independent microsystem as a part of fishery vocabulary in the Komi language which, as well as adjacent categories, has ancient origin. The earliest finds of boats refer to the Neolithic, and the oar found by our archeologists refers to the earlier period – to the Mesolithic. Boat occurrence has essentially changed the character of fishery, along with riverside fishing it gave the chance to be engaged in fishery activities on large reservoirs in the vicinity, and on considerable distance from settlements. As well as in other branches of lexical fund of the Komi language, in the considered lexical-topical group there are found words of primordial origin and borrowings. The primordial part consists of lexical units of pra-Uralic, pra-Finno-Ugric, pra-Permian, pra-Komi and proper Komi origin. Formation of non-primordial part taking an insignificant place, occurred at late stages of existence of the Komi language as a result of borrowings from two sources - Russian and Ob-Ugrian. Classification of nominative units is made proceeding from the subject-conceptual content of designations, the diachronic analysis represents systematization of the available pra-forms and working out of new reconstructions.

Keywords: **the Komi language, fishery vocabulary, the boat names, primordial designations, borrowings**

Лодка является не только древнейшим видом транспорта для передвижения по водным путям, но и важным средством рыбного промысла. Из справочной литературы известно, что самые ранние находки лодок относятся к эпохе неолита [1, с. 349], а весло, обнаруженное археологами на территории Коми края, приурочивают к более раннему периоду – мезолиту [2, с. 226–227]. Появление лодки существенно изменило характер рыболовства, наряду с прибрежной добычей рыбы она давала возможность заниматься данным видом промысловой деятельности на больших водоёмах как вблизи, так и на значительной отдаленности от населенных пунктов.

Исследуемый нами лексико-тематический разряд основного словарного фонда коми языка состоит из 100 номинативных единиц, относящихся к 71 объекту номинации. Из них 80 являются обозначениями самой лодки (*пыж* «лодка», *ветки* «рыбацкий челнок», *пӧв пыж* «дощаник» и т.д.), 20 представляют собой названия весла и шеста (*пелыс* «весло», *бӧжалан пелыс* «рулевое весло», *ӧпасно́й* «уключинное весло», *зіб* «шест» и т.д.).

Для исследования в качестве основного источника фактического материала использованы лексикографические издания коми литературного языка, в необходимых случаях привлекаются также

диалектные названия. Исходя из денотативного содержания лексических единиц, всю совокупность обозначений лодки, весла и шеста можно распределить по 12 группам.

1. *Понятие* ***лодка вообще*** *в коми-зырянском языке обозначается словом пыж.* Оно полностью совпадает с соответствующими названиями в двух других пермских языках: кп. *пыж* «лодка» [3, с. 388], удм. *пыж* «лодка» [4, с. 586]. Весло пермские народы называют также почти одинаково: кз. *пелыс* «весло» [5, с. 491], кп. *пелыс* «тж» [3, с.329] , удм. *полыс* «тж» [4, с.538]. Шестом (кз. *зіб*) вместо весла для плавания по узким и мелководным рекам пользуются только северные коми-зыряне, поэтому в данном значении это слово носителями других пермских языков не употребляется.

2. *Названия, отражающие технологию и способы изготовления лодки.* В этом отношении на территории проживания коми населения различаются три типа самодельных лодок: а) долблёная из осинового ствола лодка, б) лодка, построенная из досок, в) лодка с днищем из железного листа.

а) долбленые однодеревки считаются самым древним и наиболее простым типом лодки [1, с. 349]. В коми языке такие лодки называются следующим образом: *пипу пыж* «долбленая лодка» (*пипу* «осина; осиновый»), *кодйӧм пыж* «тж» (*кодйӧм* «долбленый, выдолбленный»), *перйӧм пыж* «тж» (*перйӧм* «долбленый, выдолбленный»), *ветки* «рыбацкий челнок», *струг* диал. «долбленая лодка без набоев» [5, с. 614], *струга пыж*, *стругӧвӧй пыж*, *стружок* нв. «тж» [6, с. 433];

б) названия дощаников, полностью изготовленных из досок: *пӧв пыж* (букв. дощатая лодка, лодка из досок), *тьӧс пыж* (*тьӧс* «тёс; тесовый»);

в) третий тип лодок, в основном одно- или двухместных, получил широкое распространение совсем недавно, в последние десятилетия 20-го столетия, когда в продаже появились тонкие железные листы. В коми языке такая лодка называется *кӧрт пыж* (*кӧрт* «железо; железный»).

3. *Названия, обозначающие лодку и весло в зависимости от материала их изготовления.* Часть номинативных единиц данной группы указывает на то, что обозначаемые ими предметы представляют собой деревянные изделия: *пу пыж* «деревянная лодка» (*пу* «дерево; деревянный»), *пу пелыс* «деревянное весло», *пу ӧключина* «деревянная уключина» (*ӧключина* «уключина»). В некоторых случаях семантика примеров данной подгруппы связана с более конкретной дифференциацией признака номинации: *пипу пыж* «осиновая лодка» (*пипу* «осина; осиновый»), *коз пу пыж* «дощаник» (*коз пу* «ель; еловый»).

Обозначения, указывающие, что объекты номинации являются металлическими изделиями. *Кӧрт пыж* (*кӧрт* «железо; железный») – так называется лодка, полностью или частично состоящая из железа. *Кӧрт пелыс* «железное весло» – является принадлежностью металлической лодки заводского изготовления. *Кӧрт ӧключина* «железная уключина», по сравнению с деревянной уключиной она более прочна и долговечна.

В связи с использованием в рыболовной практике резиновых лодок в коми языке появилось и стало употребляться обозначение *резина пыж* «резиновая лодка» [5, с. 560] (*резина* «резина; резиновый»).

4. *Обозначения, отражающие конструктивные особенности объекта номинации:*

а) названия, указывающие на специфические признаки устройства лодок: *вит мегыра пыж* «лодка-пятиупружка» (*вит мегыра* «с пятью шпангоутами»); *куим мегыра пыж* «лодка-трехупружка» (*куим мегыра* «с тремя шпангоутами»); *ляс пыж* иж. «лодка с низкими бортами» [6, с. 251] (*ляс* «низкий»), *гыдъя пыж* иж. «лодка с высокими бортами» [6, с. 251] (*гыдъя* «емкий, объемистый»); *набоя пыж* «долбленая лодка с нашивными бортами» (букв. лодка с набоями) – лодка с дополнительными досками по бортам, *кык набоя пыж* «лодка с двойными нашивными бортами» (букв. двухнабойная лодка) – лодка с двумя дополнительными досками по бортам; *кос набоя пыж* «лодка с фальшбортами» (букв. лодка с сухими нашивными бортами) – особенность такой лодки заключается в том, что верхняя дополнительная доска бортов не соприкасается с водной поверхностью и, не намокая, остается сухой; *паськыд пыдӧса пыж* «плоскодонка» (букв. лодка с широким днищем);

б) названия, указывающие на специфические признаки устройства весел: *ӧти лопта пелыс* «однолопастное весло» (букв. весло с одной лопастью). У такого весла лопасть имеется лишь на одном конце. За другой конец, снабженный поперечиной в виде валика, обычно держатся рукой. Веслом такой конструкции гребут находясь на корме, а при наличии уключинных весел управляют лодкой в сидячем положении; *кык лопта пелыс* «двухлопастное весло» (букв. весло с двумя лопастями). У данного вида гребного средства лопастями снабжены оба конца. Такое весло предназначено для рыбацких лодок небольшого размера, пользоваться им в сидячем положении более удобно; *ӧпаснӧй* «уключинное весло», представляет собой парное весло, состоящее из лопасти, веретена и рукоятки, вставляется в специальные приспособления (уключины) по обоим бортам многоместной лодки. Как правило, используется двумя гребцами одновременно.

5. *Названия, являющиеся обозначениями отдельных частей и элементов лодки и весла.* Носовая и кормовая части, днище и борт лодки обозначаются следующим образом: *пыж ныр* «носовая часть лодки» (букв. нос лодки), *пыж бӧж* «корма лодки» (букв. хвост лодки), *пыж пыдӧс* «днище лодки» (букв. дно лодки).

Основание (остов) лодки-дощаника, изготовляемое из ствола елового дерева с перпендикулярной крепкой корневой частью, обозначается заимствованным словом *кокора*.

Следующий элемент – шпангоут – является составной частью всех разновидностей лодки, имеет вид дуги (или деревянной, или металлической) и прибивается к основанию с равными промежутками по всей длине лодки для укрепления ее корпуса и

наращивания бортов дополнительными досками. Обозначается словами *упруг* и *мегыр* (букв. дуга).

Названия частей весла: *лоп, пелыс лоп* «лопасть весла» – широкая, плоская оконечность весла, при гребле опускается в воду и выполняет функцию основного механического двигателя весельной лодки; *öпаснöй лоп* «лопасть уключинного весла» (*öпаснöй* «уключинное весло», *лоп* «лопасть»), *öпаснöй ворол* «рукоятка уключинного весла» (*ворол* «рукоятка»).

Часть двухлопастного весла между лопастями, за которую держатся руками при гребле, называется *пелыс за* (букв. стержень весла, ось весла).

6. *Обозначения оборудования лодки.* К этой группе относятся названия различных устройств и приспособлений, необходимых для эксплуатации рыболовного транспортного средства.

Пуклöс, *пыж пуклöс* «сиденье в лодке» (*пуклöс* «сиденье»). В зависимости от размеров лодки они могут быть снабжены одним или несколькими сиденьями. Они предназначены прежде всего для гребцов, но в больших лодках сиденья имеются не только для них, но и для других участников коллективного рыболовства.

Пелыс тув «уключина» (букв. втулка весла, втулка для весла), *öключина* «тж», *крук* вс. «тж» (крук «крюк»), *сынан тув* скр. «тж» (букв. гребная втулка). Уключина, деревянная или железная в виде втулки, находится на бортах лодки, она служит для установки уключинного весла в рабочее положение и является опорой для него.

Тягловая перекладина на носу и на корме лодки обозначается словами *сöрмöд*, *нöтыс* вв., *кöрзьöг* вым. уд., *пыж кыскед* вв. (букв. то, чем тащат лодку). Используется в качестве ручки для затаскивания лодки на берег и спуска в воду.

Пыж томан (букв. замок лодки) – различного рода устройства для запирания лодки на стоянке.

Пыж чеп (букв. цепь лодки) – различной длины цепь, прикрепленная одним концом к носовой части лодки, а ее свободный конец вместе с замком используется для запирания лодки на стоянке.

7. *Номинативные единицы, указывающие на место нахождения частей и элементов лодки:*

а) Обозначения частей и элементов, находящихся в носовой, передней части лодки: *ныр кокора* «передняя часть основания лодки» (*ныр* «нос; носовой», *кокора* «основание лодки»), *ныр упруг* «носовой шпангоут, шпангоут, находящийся в передней части лодки» (букв. носовая дуга), *ныр сöрмöд* «тягловая перекладина на носу лодки», *водз пыж пуклöс* «переднее сиденье лодки» (*водз* «перед; передний», *пуклöс* «сиденье»).

б) Обозначения частей и элементов, находящихся на корме лодки: *бöж кокора* «задняя часть основания лодки» (*бöж* «зад, задний»), *бöж сöрмöд* «тягловая перекладина на корме лодки» (букв. задняя перекладина), *бöж пыж пуклöс* «кормовое сиденье лодки», *бöж упруг* «кормовой шпангоут» (букв. задняя дуга, дуга, находящаяся в задней части лодки).

в) Обозначения частей и элементов, занимающих среднее положение в лодке: *шöр пуклöс* «среднее сиденье лодки» (*шöр* «середина; средний»), *шöр упруг* «средняя дуга» (букв. средняя дуга).

8. *Названия, связанные с размерами, величиной, вместимостью лодки.* Часть обозначений с компонентами *дзоля* «маленький», *ичöт* «тж», *ыджыд* «большой», *паськыд* «широкий» выражают общее понятие о габаритах лодки: *дзоля пыж* «маленькая лодка», *ичöт пыж* «тж», *ыджыд пыж* «большая лодка», *паськыд пыдöса пыж* «дощаник» (букв. с широким днищем лодка), *шев пыж* скр. «широкая лодка» (*шев* «широкий»). У следующих примеров данной группы в основе номинации лежат более конкретные количественные показатели: *кык морта пыж* «двухместная лодка» (букв. лодка для двух человек), *куим мегыра пыж* «трехупружка» (букв. лодка с тремя дугами», *вит мегыра пыж* «пятиупружка» (букв. лодка с пятью дугами) и т.д.

9. *Названия, выражающие функциональные признаки (предназначение) объекта номинации.* Данная группа состоит из следующих обозначений: *ботайтчан пыж* «лодка для добычи рыбы ботанием» (букв. ботальная лодка), *тывъялан пыж* «лодка для ловли рыбы неводом» (*тывъялан* < *тывъявны* «неводить»), *вуграсян пыж* «лодка, используемая для ужения, для ловли рыбы удочкой» (вуграсян < вуграсьны «удить, рыбачить удочкой»), *чери кыян пыж* «рыбацкая лодка» (букв. рыболовная лодка), *бöжалан пелыс* «рулевое весло» (*бöжалан* < *бöжавны* «править, управлять»).

10. *Названия, указывающие с помощью каких средств лодка приводится в движение: пелыса пыж* «вёсельная лодка» (*пелыса* «с веслом, вёсельный»), *тöвдöраа пыж* «парусная лодка» (*тöвдöраа* «с парусом, парусный»), *мотора пыж* «моторная лодка» (*мотора* «с мотором, моторный»).

11. *Названия, отражающие такие признаки номинации, как устойчивость или неустойчивость (валкость) лодки на воде: дзибрасьтöм пыж* «устойчивая лодка» (*дзибрасьтöм* «не валкий»), *дзибрöс пыж* «валкая лодка» (*дзибрöс* «неустойчивый, зыбкий»), *шатке пыж* иж. «тж» (*шатке* «шаткий»).

12. *Обозначения, отражающие региональные или этнические особенности лодки: емва пыж* нв. «вымская лодка» – тип лодки, изготовляемый и распространенный в основном в бассейне р. Вымь, являющейся притоком Вычегды, *изьва пыж* иж. «ижемская лодка» – тип лодки, изготовляемый и распространенный в основном в бассейне р. Ижмы, являющейся притоком Печоры, *öстяк пыж* иж. «хантыйская лодка» – тип лодки, используемый на территории проживания хантыйского населения, являющегося соседями ижемских коми (*öстяк* «ханты»).

Как и в других отраслях словарного фонда коми языка, в составе рассматриваемой лексико-тематической группы различаются слова исконного происхождения и заимствования.

Исконный фонд обозначений состоит из названий допермского, прапермского, пракоми и собственно коми происхождения.

Самое древнее слово, возникшее в прауральскую эпоху, относится к подгруппе обозначений весла: *лоп* «лопасть». Оно используется также

в северном наречии коми-пермяцкого языка: *лоп* сев. «лопасть (весла)» [3, 227]. В современных литературных коми-пермяцком и удмуртском языках генетические соответствия отсутствуют. Удмуртское *бурд* «лопасть» [7, с. 417] с коми названиями лопасти этимологически не связано. Праформа реконструируется с опорой на дальнеродственные примеры (из ф., эст., саам., морд., мар., хант., манс., венг. и ненец. языков): ур. **lappз* «плоский; плоскость» [8, с. 237].

Остальные обозначения допермского происхождения унаследованы из финно-пермского праязыка:

пыж «лодка», имеются генетические соответствия как в близкородственных, так и в дальнеродственных языках: мар. *пуш* «лодка»; общеп. *рйž* «лодка» [9, с. 235] < ф.-п. **рйčз* «челн, лодка, судно» [8, с. 398];

маль «однолопастное весло». Употребляется только в одном диалекте коми-зырянского языка – удорском. В Кратком этимологическом словаре коми языка сопоставляется с морд., ф., эст., кар., саам. примерами. Считается исконным словом, в то же время допускается, что может быть заимствованием из прибалтийско-финских языков [9, с. 169]. В этимологическом словаре уральских языков возводится к финно-угорскому (под вопросом) или финно-пермскому праязыку. Праформа реконструируется в виде **melä* «весло, рулевое весло» [8, с. 701];

зіб «шест». Используются не только в коми-зырянском языке, но и в коми-язьвинском диалекте и в зюздинском диалекте коми-пермяцкого языка. В литературном коми-пермяцком и удмуртском языках соответствия отсутствуют. Коми примеры сопоставляются с финским, саамским, мордовским и марийским словами, соответственно дается финно-пермская этимология: **sampa* «палка» [8, с. 764].

Обозначения общепермского происхождения восходят к прапермскому языку-основе. Употребляются они только в современных пермских языках, дальнеродственных соответствий не имеют:

кз. *пыж пыдӧс* «днище лодки», кп. *пыж пыдӧс* «тж», удм. *пыж пыдэс* «тж»;

кз. *пыж ныр* «носовая часть лодки», кп. *пыж ныр* «тж», удм. *пыж ныр* «тж»;

кз. *пу пелыс* «деревянное весло», кп. *пу пелыс* «тж», удм. *пу полыс* «тж»;

кз. *пу пыж* «деревянная лодка», удм. *пу пыж* «тж»;

кз. *пелыса пыж* «вёсельная лодка», удм. *полысо пыж* «тж».

В отличие от древних обозначений допермского периода, представляющих собой непроизводные слова, приведенные выше названия, являющиеся общими для современных пермских языков, имеют двучленную составную конструкцию.

К числу древних обозначений лодки в коми языке относятся также пракоми образования. Формирование данного разряда лексических единиц происходило после распада прапермской языковой общности, в период существования пракоми языка до образования на его основе двух самостоятельных языков – коми-зырянского и коми-пермяцкого. Поэтому функционирование таких обозначений не выходит за пределы этих двух языков: кз. *пуклӧс* «сиденье (в лодке)», кп. *пуклӧс* «тж»; кз. *ыджыд пыж* «большая лодка», кп. *ыджыт пыж* «тж», кз. *кык морта пыж* «двухместная лодка», кп. *кык морта пыж* «тж» и т.д. Пракоми лексика генетических параллелей в удмуртском языке не имеет, вместо них там употребляются свои собственно удмуртские обозначения, например, *пукон* «сиденье», *бадӟым пыж* «большая лодка» и т.д.

В хронологическом отношении самыми поздними образованиями являются собственно коми обозначения. Данная категория номинативных единиц распространена только на территории проживания коми-зырян и носителям других пермских языков не известна: *кодйӧм пыж* «долбленая лодка», *дзоля пыж* «маленькая лодка», *дзибрӧс пыж* «неустойчивая (валкая) лодка», *тывъялан пыж* «лодка для ловли рыбы неводом», *пыж бӧж* «корма лодки», *мегыр* «шпангоут», *нӧтыс* «тягловая перекладина на носу лодки», *сӧрмӧд* «тж», *ӧти лопта пелыс* «однолопастное весло», *бӧжалан пелыс* «рулевое весло» и т.д.

Иноязычный компонент системы обозначений лодки и весла коми языка состоит из двух типов заимствований: 1) названия, проникшие из обско-угорских языков; 2) названия, проникшие из русского языка.

К первому типу относится лишь один пример: *тохот* иж. «тягловая перекладина лодки (на носу и на корме)» [6, с. 551] < хант. *тухэт* «перекладина на носу или корме лодки (для транспортировки)». Это слово в лексикографических источниках обско-угорских языков отсутствует, но в хантыйском языке оно имеется, о чем сообщила В.Н. Соловар – носитель этого языка.

Остальные не исконные названия представляют собой слова русского происхождения, проникшие, как правило, из соседних русских народных говоров:

ветки «маленькая долбленая лодка, рыбацкий челнок» [5, с. 96] < рус., ср. *ветка* «легкая лодка-однодеревка, удобная для переноски; челнок» [10, с. 194];

набой «нашивные борта (у долбленой лодки)» [5, с. 419] < рус., ср. *набой* «набой на лодке, насады, набивные борта, доски, коим подняты борты долбушки» [11, с. 378];

набойнича «осиновая долбленая лодка с нашивными бортами» [5, с. 419] < рус., ср. *набойница* «долбушка, стружек, обычно осиновый или осокоревый, однодеревка, с набоями по бортам в одну или две доски» ([11, с. 378];

ӧключина «уключина» [5, с. 467], *уключина* вв. «уключина» [6, с. 651] < рус., ср. *уключина* «вырезка в борту лодки или два кочетка, в коих ходит весло, вернее оключина» [12, с. 448];

струг диал. «долбленая из осины лодка без набоев» [5, с. 614] < рус., ср. *струг* «речное судно, гребное и парусное» [12, с.430];

стружок нв. «маленькая долбленая лодочка» [6, с. 433] < рус., ср. *стружок* «лодочка, челнок» [12, с. 340];

öпаснöй, öпаснича «весло уключинное» [5, с. 469] < рус., ср. *опасное весло, опасница»* [см. 13, с. 207];

упруг «дуга, служащая остовом лодки; шпангоут» [5, с. 688] < рус., ср. *упруга*, *опруга* «ребро судна, шпангоут» [12, с. 505];

кокора «основание, остов лодки с изогнутой вверх передней частью» [5, с. 284] < рус., ср. *кокора* «дерево (обычно хвойное) с изогнутым корнем, идущее на остовы, шпангоуты, и прочих лодок, барок, и других речных судов» [14, с. 93];

беседа лл., *беседка* вым, *бесетка* л. «банка, сиденье для гребцов (в лодке)» [15, с. 69] < рус., ср. *беседка* «скамейка, сиденье в лодке» [16, с. 264; 17, с. 43];

крук вс. «уключина» [15, с. 752] < рус. *крючья* «деревянные или железные вилки для распашных весел; уключины» [18, с. 357].

Рассмотренные выше названия характеризуются различной степенью освоенности заимствующим языком. Часть из них, например, *ветки, кокора*, *набой*, *набойнича*, *öключина*, *öпаснöй*, *упруг*, получили широкое распространение и вошли в литературный язык. Такие названия, как *беседа*, *струг*, *стружок*, *крук*, имеют ограниченную территорию употребления, встречаются в речи носителей отдельных диалектов и говоров.

Некоторые заимствования в системе названий лодки используются не самостоятельно, а в сочетании с исконным компонентом:

пыж бок «борт лодки»: *бок* «боковая сторона» < рус., ср. *бок* «правая или левая сторона предмета» [19, с. 104];

пыж чеп «цепь лодки (для запирания на замок на стоянке)»: *чеп* «цепь» < рус., ср. *цепь* «ряд металлических звеньев, продетых последовательно одно в другое для связи, подъема и т.п.» [20, с. 643];

тьöс пыж «дощаник»: *тьöс* «тёс; тесовый» < рус. *тёс* «тонкие доски (тесаные или пиленые)» [20, с. 360];

мотора пыж «моторная лодка»: *мотора* «с мотором; моторный» < рус., ср. *мотор* «машина, преобразующая любой вид энергии в механический» [21, с. 304];

резина пыж «резиновая лодка»: *резина* «резина; резиновый») < рус., ср. *резина* «эластичный материал, получаемый путем вулканизации каучука» [22, с. 699];

шатке пыж иж. «неустойчивая лодка»: *шатке* «валкий, неустойчивый» [6, с. 758] < рус., ср. *шаткий* «такой, который шатается, качается из стороны в сторону» [20, с. 704].

Таким образом, проведенный лингвистический анализ показал, что названия лодки, весла и шеста представляют собой самостоятельную микросистему в составе лексики рыболовства коми языка, имеющую свою структурную организацию и соответствующее количество объектов номинации, для обозначения которых предназначен конкретный набор лексических единиц. Формирование и развитие данной лексико-тематической группы происходило на всех важнейших этапах эволюции коми языка. Иерархия лексики исконного происхождения включает в себя прауральские, прафинно-пермские, общепермские, пракоми и собственно коми образования. Незначительное пополнение заимствованиями за счет использования двух внешних источников (обско-угорского и русского) имело место на поздних этапах существования коми языка.

Сокращения

вв. – верхневычегодский диалект коми-зырянского языка, венг. – венгерский язык, вс. – верхнесысольский диалект коми-зырянского языка, вым. – вымский диалект коми-зырянского языка, диал. – диалектное слово, иж. – ижемский диалект коми-зырянского языка, кар. – карельский язык, кз. – коми-зырянский язык, кп. – коми-пермяцкий язык, л. – лузский диалект коми-зырянского языка, лл. – лузско-летский диалект коми-зырянского языка, манс. – мансийский язык, мар. – марийский язык, морд. – мордовские языки, нв. – нижневычегодский диалект коми-зырянского языка, ненец. – ненецкий язык, общеп. – общепермский язык-основа, рус. – русский язык, саам. – саамский язык, сев. – северное наречие коми-пермяцкого языка, скр. – присыктывкарский диалект коми-зырянского языка, уд. – удорский диалект коми-зырянского языка, удм. – удмуртский язык, ур. – уральский праязык, ф. – финский язык, ф.-п. – финно-пермский праязык, хант. – хантыйский язык, эст. – эстонский язык.

Литература

1. *Большая советская энциклопедия.* Т. 25. М., 1954. 629 с.
2. *Республика Коми:* Энциклопедия. Т. 2. Сыктывкар, 1999. 576 с.
3. *Баталова Р.М., Кривощекова-Гантман А.С.* Коми-пермяцко-русский словарь. М.,1985. 624 с.
4. *Удмуртско-русский словарь.* Ижевск, 2008. 925 с.
5. *Коми-роч кывчукöр.* Сыктывкар, 2000. 816 с.
6. *Безносикова Л.М., Айбабина Е.А., Забоева Н.К., Коснырева Р.И.* Коми сёрнисикас кывчукöр. Словарь диалектов коми языка: в 2-х томах. Т. 2. Сыктывкар, 2014. 888 с.
7. *Русско-удмуртский словарь.* М., 1956. 1360 с.
8. *Rédei K.* Uralisches etymologisches Wörterbuch. Band 1-2. Budapest, 1988. 906 s.
9. *Лыткин В.И., Гуляев Е.С.* Краткий этимологический словарь коми языка. Сыктывкар, 1999. 430 с.
10. *Словарь русских народных говоров.* Вып. 4. Ленинград, 1969. 355 с.
11. *Даль В.* Толковый словарь живого великорусского языка. Т. 2. М.,1989. 779 с.
12. *Даль В.* Толковый словарь живого великорусского языка. Т. 4. М.,1991. 683 с.
13. *Ракин А.Н.* Лексика рыболовства в коми языке // Пути развития пермских языков: история и современность. Сыктывкар, 2014. 294 с. (Труды Института языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН. Вып. 73).
14. *Словарь русских народных говоров.* Вып. 14. Ленинград, 1978. 376 с.

15. *Безносикова Л.М., Айбабина Е.А., Забоева Н.К., Коснырева Р.И.* Коми сёрнисикас кывчукӧр. Словарь диалектов коми языка: в 2-х томах. Т. 1. Сыктывкар, 2012. 1096 с.
16. *Словарь русских народных говоров*. Вып. 2. Москва–Ленинград, 1966. 314 с.
17. *Словарь русских говоров Среднего Урала*. Т.1. Свердловск, 1964. 207 с.
18. *Словарь русских народных говоров*. Вып. 15. Ленинград, 1979. 399 с.
19. *Словарь русского языка*: в 4-х т. / Под ред. А.П. Евгеньевой. Т. 1. М., 1981. 698 с.
20. *Словарь русского языка*: в 4-х т. / Под ред. А.П. Евгеньевой. Т. 4. М., 1984. 794 с.
21. *Словарь русского языка*: в 4-х т. / Под ред. А.П. Евгеньевой. Т. 2. М., 1982. 736 с.
22. *Словарь русского языка*: в 4-х т. / Под ред. А.П. Евгеньевой. Т. 3. М., 1983. 752 с.

References

1. *Bol'schaja* sovetskaja enciklopedia [The great Soviet encyclopaedia]. Vol. 25. Moscow, 1954. 629 p.
2. *Respublika Komi*: Enciklopedia [The Republic of Komi: Encyclopaedia]. Vol. 2. Syktyvkar, 1999. 576 p.
3. *Batalova R.M., Krivoschekova-Gantman A.S.* Komi-Permyatsko-Russkii slovar' [The Komi-Permian-Russian dictionary]. Moscow, 1985. 624 p.
4. *Udmurtsko-russkii slovar'* [The Udmurt-Russian dictionary]. Izhevsk, 2008. 925 p.
5. *Komi-russkii slovar' [The Komi-Russian dictionnary]*. Syktyvkar, 2000. 816 p.
6. *Beznosikova L.M., Ajbabina E.A., Kosnyreva R.I.* Komi s'ornisikas kyvcsukцr. Slovar' dialektov komi jazyka [The dictionary of dialects of the Komi language: in 2 volumes]. Vol. 2. Syktyvkar, 2014. 888 p.
7. *Russko-udmurtskii slovar' [The Russian-Udmurt dictionary]*. Moscow, 1956. 1360 p.
8. *Rédei K.* Uralisches etymologisches Wörterbuch. Band 1-2. Budapest, 1988. 906 p.
9. *Lytkin V.I., Gulyaev E.S.* Kratkii etimologicheskii slovar' komi yazyka [Brif etymological dictionary of the Komi language]. Syktyvkar, 1999. 430 p.
10. *Slovar' russkikh narodnykh govorov [The dictionary of Russian folk dialects]*. Issue 4. Leningrad, 1969. 355 p.
11. *Dal' V.* Tolkovii slovar' zhivogo valikorusskogo yazyka [The explanatory dictionary of live great Russian language]. Vol. 2. Moscow, 1989. 779 p.
12. *Dal' V.* Tolkovii slovar' zhivogo velikorusskogo yazyka [The explanatory dictionary of live great Russian language]. Vol. 4. Moscow, 1991. 683 p.
13. *Rakin A.N.* Leksika rybolovstva v komi jazyke // Puti razvitija permskih jazykov: istorija i sovremennost' [Fishery vocabulary in the Komi language // Ways of development of the Permian languages]. Syktyvkar, 2014. P. 192-210 (Proc. of the Inst. of Language, Literature and Histiry, Komi Sci. Centre, Ural Br., RAS]. Issue 73). 294 p.
14. *Slovar' russkikh narodnykh govorov [The dictionary of Russian folk dialects]*. Issue 14. Leningrad, 1978. 376 p.
15. *Beznosikova L.M., Ajbabina E.A., Kosnyreva R.I.* Komi s'ornisikas kyvcsukцr. Slovar' dialektov komi jazyka [The dictionary of dialects of the Komi language: in 2 volumes]. Vol. 1. Syktyvkar, 2012. 1096 p.
16. *Slovar' russkikh narodnykh govorov [The dictionary of Russian folk dialects]*. Issue 2. Leningrad, 1966. 314 p.
17. *Slovar' russkih narodnyh govorov Srednego Urala [The dictionary of Russian folk dialects of the Middle Urals]*. Issue 1. Sverdlovsk, 1964. 207 p.
18. *Slovar' russkikh narodnykh govorov [The dictionary of Russian folk dialects]*. Issue 15. Leningrad, 1979. 399 p.
19. *Slovar' russkogo yazyka [The dictionary of the Russian language*: in 4 volumes] / Ed. A.P. Evgenyeva. Vol. 1. Moscow, 1981. 698 p.
20. *Slovar' russkogo yazyka [The dictionary of the Russian language*: in 4 volumes] / Ed. A.P. Evgenyeva. Vol. 4. Moscow, 1984. 794 p.
21. *Slovar' russkogo yazyka [The dictionary of the Russian language*: in 4 volumes] / Ed. A.P. Evgenyeva. Vol. 2. Moscow, 1982. 736 p.
22. *Slovar' russkogo yazyka [The dictionary of the Russian language*: in 4 volumes] / Ed. A.P. Evgenyeva. Vol. 3. Moscow, 1983. 752 p.

Статья поступила в редакцию 02.07.2015

УДК 811.511.132'373.2:582.28

ГРИБ ДОЖДЕВИК И ЕГО НАЗВАНИЯ В КОМИ ЯЗЫКЕ

Е.А. ЦЫПАНОВ

Институт языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
tsypanov@mail.illhkomisc.ru

В статье рассматриваются многочисленные названия гриба дождевика Lykoperdon perlatum Pers в коми-зырянских диалектах в двух аспектах: как наименования конкретного представителя царства грибов (первичная номинация) и как слова-пейоративы (вторичная номинация). Выявлены основы номинации в лексемах в процессе семиозиса. Все наименования дождевика мотивированы, что говорит об относительно недавнем их появлении в языке. Два слова-пейоратива имеют значение «негодный, никудышный, пустой человек» и используются в диалогах.

Ключевые слова: **пермские языки, коми-зырянские диалекты, лексика, названия грибов, пейоративная лексика**

E.A.TSYPANOV. PUFF-BALL AND ITS NAMES IN THE KOMI LANGUAGE

Names for mushrooms are an organic part of the realities of natural environment of the Komi- Zyryans living in the territory of the present Republic of Komi for over a thousand of years. It is known that the main part of the myconimic vocabulary of the Komi language is relatively recent and not originated from the proto-Permian parent language. In the Komi dialects there are many names for puff-ball mushroom Lykoperdon perlatum Pers. This interesting phenomenon indicates that the inedible mushroom has many names, which testifies to good power of observation and curiosity of the Komi-Zyrians, their closeness to nature. The paper gives a detailed description of the mushroom. There are two groups of the mushroom names in the Komi language, one for a rounded white mushroom (bakamach, zeramach, gymkol'k, gymmach, zerkol'k, zerna, katshabatsh, katshakol'k, katsha poztyr, katshapopyl', kochamach, ponkol'k etc.) and the other one for an old wrinkled mushroom (ponpush, ponpushka, ponpushkan). The principle of nomination for the wrinkled old mushroom is its complete unfitness for food. Besides direct meanings, in the Komi language the names kochamach and ponpush got a pejorative meaning of "mischievous, shallow person", moreover, the word kochmach began to be used as an interjection expressing a feeling of extreme displeasure, annoyance.

Keywords: **the Permian languages, Komi-Zyryan dialects, vocabulary, names of mushrooms, pejorative vocabulary**

Названия грибов являются органической частью наименований реалий природного окружения коми-зырян, уже более тысячи лет проживающих на территории современной Республики Коми. Известно, что в основной своей части миконимическая лексика коми языка является по происхождению относительно поздней: среди них есть лишь одно название уральского происхождения (*нитш* «мох») и четыре финно-пермских (*яла* «ягель», *рой* «древесный мох», *ельдӧг* «груздь», *бак* «плесень») [1, с. 156]. Как справедливо указывает А.Н. Ракин, по количеству архаических названий миконимия значительно уступает смежным отраслям лексики флоры, группе названий дикорастущих трав и ягод [2, с. 23]. Иными словами, массовое употребление грибов в пищу для древних коми и удмуртов было явлением, возникшим в относительно недавнем прошлом. Тем не менее, в названиях грибов хорошо отразились многие наблюдения за явлениями природы у коренного народа Республики Коми, его любопытство и многовековой исторический опыт.

Известно, что в коми языке есть множество наименований для гриба дождевика, который хотя и не употребляется коми населением в пищу, однако имеет большое значение в познавательном, когнитивном поле этноса. Приведем перечень диалектных названий: **дождевик шиповатый** бакамач, зэрамач, гымкольк *вым.,* гыммач *иж.,* гынмач *вым.,* гымтшак *иж.,* дымкольк *вым.,* зӧрмач *уд.,* зьвернакольк *С.,* зэркольк *вс., С.,* зэрмамач *вв.,* зэрмач *С. Уд.,* зэрна *вв., С.,* зэрнакольк *С.,* зэринамач *вв.,* жернакольк *С.,* катшабатш, катшакольк *С.,* катша позтыр, катшапопыль *лл.,* кӧчамач *вв. печ.,* понкольк *печ.,* понпуш, уль понпуш *лл.,* шмакакольк *С.* [3. с. 54]. В дальнейшем различные наименования будут даваться уже без ссылки на указанный сло-

варь. Интересно, что такое же разнообразие различных названий дождевика есть и в близкородственном коми удмуртском языке, например, *зоргуби*, *зоркоко*, *тотогуби*, *гудырикоко*, *гудырипуз*, *гудырикукэй*, *пэл'эпрон*, *гондыртамак* и др.

В этом отношении ярко проявляется такая особенность языкового знака, как структурная асимметрия, проявляющаяся в том, что, как правило, «одной фигуре плана содержания соответствует не одна, а несколько фигур плана выражения и, наоборот, — одной фигуре плана выражения может соответствовать несколько фигур плана содержания» [4, с. 50]. В случае с названиями гриба дождевика наблюдается богатая синонимия. В рамках когнитивной лингвистики такой спектр названий не представляется случайным явлением, так как это состояние развилось постепенно в ходе фрагментации реалий природного окружения средствами языка. В этом отношении уместно привести цитату из статьи В.А. Плугняна, где соединяются принципы диахронной лингвистики и когнитивного исследования языка: «Для когнитивной теории диахронический аспект описания языка становится едва ли не более важным, чем синхронный аспект: во многом возвращаясь к принципам лингвистики XIX в., это направление провозглашает, что для понимания того, как устроен язык, и для объяснения языковых явлений апелляция к происхождению этих фактов становится одним из основных исследовательских приемов» [5, с. 325].

Определение гриба в толковом словаре русского языка С.И. Ожегова довольно лаконичное: «ДОЖДЕВИ'К, Шарообразный гриб с мякотью внутри, превращающейся при высыхании в темную пыль» [6, с. 147]. Для полноценного анализа названий необходимо представить основные сведения о морфологических особенностях гриба, так как исходя из них коми наименования разделяются на две группы. Справочник дает следующее определение гриба: «Дождевик настоящий, шиповатый, жемчужный – Lykoperdon perlatum Pers. Плодовое тело обратно-грушевидное или булавовидное, реже почти шаровидное, 2–9 см высотой, 2–4 см шириной. Экзоперидий сначала белый, позже желтоватый или коричневый, состоит из крупных пирамидальных бородавочек или шипов, причем один шип окружен группой более мелких. Крупные шипы довольно быстро отпадают, оставляя на тонком эндоперидии следы, образующие сетчатый узор. Молодая глеба белая, зрелая – серовато-коричневая. При полном созревании плодового тела эндоперидий на вершине разрывается и плодовое тело «пылит» при малейшем сотрясании – из него «летят» базидоспоры. Растет на почве в лесах: на полянах, на лугах по всей территории России. Молодой гриб съедобен. С момента, когда его белая мякоть начинает желтеть, он уже несъедобен» [7, с. 1].

Основная особенность названий дождевика в пермских языках в том, что коми и удмурты дали разные наименования гриба, исходя из двух форм его произрастания, молодого шарообразного и старого высохшего. В дальнейшем кратко рассмотрим основы номинации гриба, поскольку структурно-этимологический состав названий вполне ясен и их можно смело назвать мотивированными.

Названия молодого шарообразного дождевика. Можно выделить две основы номинации: по морфологическим признакам и по метеорологическому явлению, предшествующему появлению гриба. Большинство наименований являются словами-композитами, в основе которых лежит атрибутивное сочетание с определяемыми словами *мач* «мяч», *кольк* «яйцо», *попыль* «шар» и *тшак* «гриб». В конкретных случаях мотивационная основа для атрибутации разная, включающая указание на:

- цвет гриба: *кӧчамач*, *катшакольк*, *катша поздыр*, *катшапопыль*, *катшабатш*, где *кӧча/ катша* являются утратившимся ныне корнем со значением «белый», для сравнения, *катшасин* 'ромашка' (букв. Белый глаз) [8, с. 118];
- характер мякоти гриба: *бакамач* букв. Гнилой мяч;
- метеорологическое явление, предшествующее появлению гриба, обычно это указание на дождь (*зэр*) или гром (*гым*): *зэрамач*, *гымкольк*, *гыммач*, *гынмач*, *гымтшак*, *дымкольк*, *зӧрмач*, *зэркольк*, *зэрмамач*, *зэрмач*, *зэрнакольк*, *зэринамач*, *жернакольк*;
- форму гриба: *шмакакольк* букв. Яйцо с утолщением в виде шишки, комка.

Единственное производное существительное *зэрна*, имеющее в основе номинации указание на метеорологическое явление, предшествующее появлению гриба, образовано при помощи непродуктивного деривационного суффикса –**на** от корня *зэр* «дождь».

Названия старого высохшего дождевика. Таковых наименований не так много и все они построены на одном основании для номинации – принципе практической непригодности гриба для пищи. Это лексемы *зьвернакольк* букв. Яйцо для зверей, *понпуш* букв. Побег для собаки, и в добавление к приведенным ранее названиям необходимо включить еще вымское, нижневычегодское, печорское, среднесысольское *понпушка*, а также вымское *понпушкан* [9, с. 155]. Элемент –*пуш* является сокращенным вариантом от присыктывкарского и среднесысольского слова *пушйӧд* «побег, отросток» [10, с. 225]. Известно, что коми дождевики не используют в пищу вообще. И молодой, и высохший гриб считается непригодным, ненужным. Название содержит внутреннюю метафору, связанную со словом *пон* «собака», т.е. гриб, пригодный лишь собаке. Таким же путем образованы и другие названия растений *понтшак* «поганка», букв собачий гриб, *понсэтӧр* «жимолость лесная», букв. собачья смородина, *понтаг* «княжик сибирский», букв. собачий хмель и др. Естественно, собаки перечисленные растения не употребляют в пищу.

Множественность наименований для гриба дождевика представлена и в других языках, кроме удмуртского также в финском (*maatuna*, *kuukunantuna*, *kuukunen*), русском (*дождевик*, *порховка*, *головач*, *волчий табак*). По принципам номинации названия в разных языках вполне соотносительны, что говорит не о межъязыковых влияниях,

а об общих, общечеловеческих закономерностях семиозиса. Для сравнения, удмуртские названия *гудырипуз*, *зорпуз* и *зорогуби* делятся на следующие компоненты сложных слов: *гудыри* «гром» + *пуз* «яйцо», *зор* «дождь» + *пуз* «яйцо», *зоро* «дождливый» + *губи* «гриб», марийское название гриба *вужга подҥо* имеет дословное значение «пушистый гриб». Английское название дождевика *puffball* состоит из компонентов *puff* + *ball* «дуновение + мяч». В последнем случае имеется в виду высохший дождевик, ср. русское *порховка* букв. гриб подобный пороху.

Однако коми язык также интересен и историческим развитием вторичных переносных значений некоторых наименований гриба дождевика, которые основаны на ненужности или вредности гриба для человека, так как на мокром молодом дождевике очень легко поскользнуться и упасть, а сухой дождевик при наступлении на него выделяет едкую неприятную пыль. Отрицательная коннотация названия гриба видна из коми пословицы *Радейтӧмыд абу* ***кӧчамач****, мунігмозыд он чужйы* «Любовь не гриб дождевик, походя его не отпихнёшь ногой». Из всего комплекса наименований языком выбрано две лексемы *кӧчамач* и *понпуш*, которые обозначают негодного, ненадежного человека, на которого нельзя положиться. Примеры:

Лыдди ныргорулӧнмоз гижӧдторйӧс да джӧм сувті: пӧръялӧма лои, ***кӧчамачлӧн****, ставыс сорассьӧм…*[11, с. 6] «Прочитал про себя написанное и остановился: обманул, оказывается я, негодник, все напутано»; *«****Понпуш*** *тэ,* ***понпуш****!» — син пӧвсӧ читкыртыштӧмӧн сы вылӧ видзӧдліс Петька…*[12, с. 273] «Негодник ты, негодник! — сощурив один глаз, на него посмотрел Петька». В с. Ыб Сыктывдинского района ранее проживал мужчина по прозвищу *Понпуш*, который очень любил выпить на работе, затем лодырничал. Всю жизнь проживший в этом же селе коми писатель Владимир Безносиков, зная его лично, ввел в один из своих рассказов персонаж с говорящей фамилией *Понпушов*, наделив его яркими отрицательными чертами, например, *– Мудз бӧрад позьӧ, – пиньяс костӧдыс сынӧдсӧ кыскалӧ* ***Понпушов****. – Тяпнитан да, некыт нин оз юзгы…* [13, с. 69] «– С устатку можно [выпить алкоголь], – втягивает воздух сквозь зубы Понпушов. – Тяпнешь, и после этого нигде уже не ноет». В структуре лексического значения в процессе вторичной номинации произошли следующие изменения: денотативное значение изменилось от конкретно-предметного к предметно-понятийному, сигнификативное значение изменилось в направлении дальнейшей абстрактизации, возникло ярко выраженное коннотативное значение отрицательной оценки, а референциальный ряд расширился (это люди, животные, птицы, рыбы, предметы, явления, события).

Более того, слово *кӧчамач* в силу своего частотного употребления перешло в разряд междометий, подвергшись процессу интеррогации. Пример: *«Ак, кӧчамач!»* «Ах чёрт!». Как известно, междометия выражают эмоции без их называния. Слово-предложение *Кӧчамач!* Выражает недовольство, досаду, огорчение, синонимы ему *сёмокасьт*, *чӧрт*, *дявӧл*, а также грубые и бранные выражения.

Если рассматривать предложенный материал в русле когнитивной лингвистики, то из всех теоретических подходов к анализу семантики наиболее приемлемым подходом будет культурно-исторический, учитывающий традиционные воззрения древних коми-зырян на окружающую северную природу, их близость к растительному миру и подробную лексическую фрагментацию его элементов в ходе семиозиса. Этим объясняется наличие большого количества обозначений для гриба дождевика, не имеющего никакого практического применения, прежде всего как продукта питания. Уместно в заключение привести одну цитату известнейшего лингвиста В.В. Виноградова: «В синхронном тождестве слова есть отголосок его прежних изменений и намеки на будущее развитие. Следовательно, синхроническое и диахроническое — лишь разные стороны одного и того же исторического процесса. Динамика настоящего — порыв в будущее. Соотношение значений в современном употреблении слова, их иерархия, их фразеологические контексты и их экспрессивная оценка всегда заключают в себе диахроническое отложение прошлых эпох» [14, с. 17]. Приведенный в статье материал названий гриба-дождевика полностью подтверждает положения исследователя.

Работа выполнена по Программе фундаментальных научных исследований УрО РАН, Проект № 15-13-6-22 «Трансформации языковых средств коммуникации в условиях билингвизма Республики Коми».

Сокращения

вв. – верхневычегодский диалект коми языка, вс. – верхнесысольский, вым. – вымский, иж. – ижемский, лл. – лузско-летский, С. – нижневычегодский, печ. – печорский, С. – среднесысольский, уд. – удорский диалект коми языка.

Литература

1. *Ракин А.Н.* Лексика низшей флоры пермских языков // Материалы VI Международного конгресса финно-угроведов. Т. 2. М., 1990. С. 156–159.
2. *Ракин А.Н.* Миконимическая лексика пермских языков // Исследования по пермским языкам. Сыктывкар, 2009. С. 22–33.
3. *Ракин А.Н.* Краткий коми-русский, русско-коми ботанический словарь. Сыктывкар, 1989.
4. *Левицкий Ю.А.* Проблемы лингвистической семантики. Изд. 2-е. М., 2009.
5. *Плугнян В.А.* Проблемы грамматического значения в современных морфологических теориях // Семиотика и информатика. Вып. 36. М., 1998. С. 320–328.
6. *Ожегов С.И.* Словарь русского языка. М., 1986.
7. www//mushrooms.academic.ru
8. *КЭСК – Лыткин В.И., Гуляев Е.С.* Краткий этимологический словарь коми языка. Сыктывкар, 1999.

9. *КСК – Безносикова Л.Н., Айбабина Е.А., Забоева Н.К., Коснырева Р.И.* Коми сёрнисикас кывчукӧр. Словарь диалектов коми языка: в 2-х т. Сыктывкар, 2014. Т. II.
10. *КЭСК – Лыткин В.И., Гуляев Е.С.* Краткий этимологический словарь коми языка. Сыктывкар, 1999.
11. *Чугаев Н.* Ло шудаӧн, коми морт! // Войвыв кодзув. 2013. 12 №. 6 лб.
12. *Рочев Я.* Изьва гызьӧ. Му вежӧм. Сыктывкар, 1984.
13. *Безносиков В.* Чужан сиктын олам-вылам. Сыктывкар, 1995.
14. *Виноградов В.В.* История слов. М., 1994.

References

1. *Rakin A.N.* Leksika nizshej flory permskih jazykov // Materialy VI Mezhdunarodnogo kongressa finno-ugrovedov [Vocabulary of the lower flora of the Permian languages // Materials of the V-th Intern. Congr. of Finno-Ugrists]. Vol. 2. Moscow, 1990. P. 156-159.
2. *Rakin A.N.* Mikonimicheskaja leksika permskih jazykov // Issledovanija po perm-skim jazykam [Myconymic vocabulary of the Permian languages // Studies in the Permian languages]. Syktyvkar, 2009. P. 22-23.
3. *Rakin A.N.* Kratkij komi-russkij, russko-komi botanicheskij slovar [Concise Komi-Russian, Rusian-Komi botanical dictionary]. Syktyvkar, 1989].
4. *Levitsky Yu.A.* Problemy lingvisticheskoj semantiki [Problems of linguistic semantics]. 2nd edition. Moscow, 2009].
5. *Plugnyan V.A.* Problemy grammaticheskogo znachenija v sovremennyh morfologicheskih teorijah // Semiotika i informatika [Problems of grammatical meaning in modern morphological theories // Semiotics and informatics]. Issue 36. Moscow, 1998. P. 320-328.
6. *Ozhegov S.I.* Slovar russkogo jazyka [Russian language dictionary]. Moscow, 1986.
7. www//mushrooms.academic.ru
8. KESK — *Lytkin V.I., Gulyaev Ye.S.* Kratkij etimologicheskij slovar komi jazyka [Concise Komi language etymological dictionary]. Syktyvkar, 1999.
9. KSK — *Beznosikova L.M., Aibabina Ye.A., Zaboeva N.K., Kosnyreva R.I.* Komi sornisikas kyvchukцr. Slovar dialektov komi jazyka: v 2-h tomah [Komi language dialects dictionary: in 2 volumes]. Syktyvkar, 2014. Vol. II.
10. KESK — *Lytkin V.I., Gulyaev Ye.S.* Kratkij etimologicheskij slovar komi jazyka [Concise Komi language etymological dictionary]. Syktyvkar, 1999.
11. *Chugaev N.* Lo shudaön, komi mort! // Vojvyv kodzuv [Be happy, Komi man! // Voivyv Kodzyv (North Star). 2013. 12 №. 6 P.
12. *Rochev Ya.* Izjva gyzjö, Mu vezhöv [Izhma is anxious. The end of the world]. Syktyvkar, 1984.
13. *Beznosikov V.* Chuzhan siktyn olamvylam [Life in the native village]. Syktyvkar, 1995.
14. *Vinogradov V.V.* Istorija slov [History of words]. Moscow, 1994.

Статья поступила в редакцию 15.04.2015

723+УДК930.253 (075)

АРХИВЫ КОМИ АССР В ПРЕДВОЕННЫЙ ПЕРИОД И В УСЛОВИЯХ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ (1938–1945 гг.)

Т.И. ЛАХТИОНОВА

г. Сыктывкар
Lahtionova.ti@gmail.com

На основе архивных источников рассматривается состояние архивной отрасли республики после перевода архивов в ведение НКВД СССР. Приводятся данные о сложностях и проблемах в деятельности государственных архивов, архивов районного звена и ведомств в обеспечении сохранности, комплектования и проведения экспертизы ценности документов как части Государственного архивного фонда СССР. Анализируются изменения в материальном и кадровом обеспечении деятельности архивов, а также результаты их работы в годы Великой Отечественной войны.

Ключевые слова: **Государственный архивный фонд СССР, органы управления архивным делом, комплектование архивов, обеспечение сохранности документов, экспертиза ценности документов**

T.I.LAKHTIONOVA. THE ARCHIVES OF THE KOMI ASSR IN THE PREWAR PERIOD AND DURING THE GREAT PATRIOTIC WAR (1938-1945)

On the basis of archival sources the state of archives of the Republic of Komi during the prewar period and in days of the Great Patriotic War 1941-1945 is considered. The author provides factual information about the level of archives in the republic as of 1938-1939, before the transfer of archives to the jurisdiction of the People's Commissariat of Internal Affairs of the USSR, including on the basis of the decrees of the Council of People's Commissars of the Komi ASSR, acts of acceptance-transfer of archives to the jurisdiction of the People's Commissariat of Internal Affairs of the Komi ASSR. The data on the complexities and problems in realization of activity of the State Archives, the establishment and operation of regional archives and archives agencies in the safekeeping, acquisition and value examination of documents being a component part of the State archival Fund of the USSR, is given. The work of the Central State Archives of the Komi ASSR on reception of archival files, activity of the expert-checking commission of the archival body and the expertise of value of the documents which have lost the scientific and practical importance in days of the Great Patriotic War, is analyzed. The problems of work with the documents resulting from the activities of Gulag structures are mentioned, the estimation of the scientific and practical importance of the documents arriving for the state archival storage from the point of view of priorities of that time are given. The information on changes in material, personnel provision in activity of the archives, the results of work of archivists in days of the Great Patriotic War are provided.

Keywords: **archive, the USSR State Archive Fund, public authorities in the archival sphere, acquisition of archives, keeping archival files in safety, value examination of documents**

Спустя многие десятилетия темы Второй мировой войны, Великой Отечественной войны (ВОВ) остаются до конца неисследованными. В предвоенные годы и годы ВОВ об архивной деятельности в СССР и РФ писали многие историки: Т.И.Хорхордина [1], В.А.Савин [2], советские историки-архивисты – И.Л.Маяковский [3], В.В.Максаков [4], З.В.Крайская [5]. Ими дана общая оценка деятельности органов власти и управления в СССР в области архивного дела, в том числе и в годы ВОВ, но без акцентировки на региональный уровень. Военные события оказали непосредственное влияние на развитие архивной отрасли в Коми АССР. Данная проблема освещалась в ряде исследований, посвященных истории архивной отрасли республики [6, 7]. Работа архивных учреждений в годы ВОВ наиболее полно с привлечением архивных источников изложена в монографии Э.Г.Чупровой [6]. Автором впервые приведены факты и статистические сведения о развитии архивного дела в конце

30-х – первой половине 40-х гг. XX столетия. Деятельность же архивных учреждений на территории нынешней Республики Коми в годы войны специально не была исследована.

На основе архивных документов государственного учреждения «Национальный архив Республики Коми» нами сделана попытка показать состояние архивных учреждений в Коми АССР в предвоенный период и годы ВОВ. Представляется важным выявить, какова связь общего уровня экономического и социального развития Коми края и развития архивной отрасли. Насколько органы власти и управления Коми АССР эффективно в данный период влияли на проблемы комплектования, обеспечения сохранности и использования архивных документов. Многие сведения из них в научный оборот вводятся впервые.

Актуальность рассматриваемых проблем очевидна: в архивах республики на хранении до сих пор находятся документальные материалы, поступившие в годы войны; с другой стороны, в архивах большое количество документов, поступивших позднее, но созданных в эти трагические годы в разрезе их создания и полноты сохранности. Это немаловажно для историков, краеведов, студентов и школьников, да и общества в целом.

В первую очередь, необходимо коснуться вопроса значительной структурной и организационной перестройки в архивной отрасли в предвоенные годы, когда в соответствии с постановлением Президиума Верховного Совета РСФСР от 03.12.1938 г. Коми республиканское Архивное управление и его районные архивы постановлением СНК Коми АССР от 08.04.1939 г. были переданы в ведение органов НКВД [8]. Учитывая особую роль данного ведомства в структуре государственной власти того периода, сразу нужно отметить, что работа с архивами оживилась. Архивное управление как орган исполнительной власти и собственно Государственный архив формально разделились – начальником Архивного управления НКВД Коми АССР стала Н.С.Попова. Временно исполняющим обязанности директора был назначен В.Н.Захаров.

Сегодня в литературе нет однозначной оценки целесообразности и необходимости перевода архивов в ведение такой сильной системы, какой являлся Наркомат внутренних дел СССР. Для того, чтобы попытаться ответить на данный вопрос, хотя бы в рамках небольшого временного периода, рассмотрим состояние архивного дела к моменту изменения его подведомственности и к концу войны. Общеизвестна роль первого заведующего областным архивом А.А. Цембера в сохранении архивных документов дореволюционного периода и первых десятилетий советской эпохи. Но он был уволен с должности незадолго до изменения подчиненности архивов, в том числе и в связи с крайне неудовлетворительным общим состоянием архивного дела в республике [9]. Как это было принято в советскую эпоху, все недостатки в отрасли свели к персональным неудачам работника и, демонстрируя принятие мер, местные органы власти провели смену руководства вместо конкретной помощи в выделении средств, штатов, укреплении кадрового состава. Новый заведующий архивной работы также не наладил – уже через два года в очередном постановлении Совета Народных Комиссаров Коми АССР от 26.08.1938 г. «О работе Архивного управления Коми АССР» органу управления архивным делом республики [1] предлагалось привести в порядок все архивы, имеющиеся в его ведении, упорядочить архивы республиканских и районных организаций и учреждений, обеспечив руководство над их работой [10]. Однако и постановление СНК Коми АССР от 23.10.1939 г. «О состоянии архивного дела по Коми АССР» не отличалось от предыдущих – вновь подчеркивалось, что «общее состояние архивного дела по Коми АССР находится в неудовлетворительном состоянии, в отдельных республиканских организациях и районах архивное дело совершенно не организовано…У ряда организаций, городских, районных и сельских архивные документы валяются в сараях, на чердаках и без всякого надзора и особенно в Сыктывдинском райисполкоме архивные документы находятся в беспризорном состоянии…». Постановление обязывало председателей райисполкомов и горсоветов, а также и руководителей наркоматов и республиканских учреждений провести проверку и налаживание архивного хозяйства, причем не только в наркоматах, но и подведомственной структуре [11].

Акты обследований Архивного управления Коми АССР, проведенные Центральным архивным управлением (ЦАУ) в конце февраля–начале марта 1939 г. в процессе приема – передачи дел, показали, что большинство указаний ЦАУ и правительственных органов, поступающих с середины 1938 г., не выполнены. Состояние учета архивных материалов, помещений и их оборудования были признаны неудовлетворительными. В акте от 1 марта 1939 г. указывалось: «Часть документов, отобранных в макулатуру, лежат неописанными на чердаке и на полу в архивном учреждении. Руководство работой архивов предприятий и учреждений – неудовлетворительное. Все архивы предприятий и учреждений представлены сами себе. За последние два года поступлений новых архивных документов из предприятий и учреждений не было. В кадровом отношении установлено, что руководит Архивным управлением Захаров Василий Николаевич, 1885 г.р., член ВКП (б), образование 6 классов, окончил Центральные курсы архивных работников в 1936 г. «Руководит архивным производством слабо, производственные совещания не проводит, воспитанием кадров в деле повышения их квалификации не занимается, не пользуется авторитетом среди работников […]. В республиканском архиве работают три работника, по штату предусмотрены три работника и один директор. Должность директора архива не укомплектована. Помещение архивного управления и архива не соответствует своему назначению из-за малого размера. Состояние са-

[1] Архивное управление было создано в январе 1936 г. (Шахов Б.М. История и организация архивного дела в Коми АССР. ГУ РК «Национальный архив РК». Ф.Р -1010, оп.1, д.49, л. 23).

мого помещения неудовлетворительное. Здание требует капитального ремонта» [12].

Следующие выдержки из акта комиссии, проверявшей работу Архивного управления в 1938 г., дают общее представление о состоянии гражданской службы, в том числе и в архивном деле, в тот период: «…Управляющий т. Захаров никому ничего не доверяет, во всем сомневается и, не веря в силы своих работников, он прямо говорит: “Я работаю только один, других я не считаю работниками, они ничего не умеют делать, а специалистов у меня нет”. К голосу своих работников не прислушивается, на их предложения не реагирует [...]. В результате все его работники настроены на него враждебно. Делопроизводство управления в хаотическом состоянии, ведет его сам т. Захаров. Ни одной бумажки за период своей работы не подшито, также состояние денежных документов, хотя намечено было завести 46 дел. Руководство т. Захарова Архивным управлением совершенно слабое, а архивами РИКов, учреждений, предприятий, совхозов, колхозов и МТС совершенно не руководит (хотя директивы и указания правительства ЦАУ РСФСР были вполне достаточны)[2]» [12. Л. 2-5].

Таким образом, архивная отрасль находилась к тому времени в безусловном запустении. Смена подведомственности отразилась на всех сторонах деятельности архивных органов и архивного дела. С одной стороны, явно прослеживается тенденция к подбору квалифицированных кадров. Так, на должности заведующих районными архивами НКВД переводились только заведующие, прошедшие курсы переподготовки при Архивном управлении. С 18 сентября 1940 г. директором архива назначается специалист – архивист, выпускник Московского государственного историко-архивного института Сидоров Сидор Иванович (до него временно с января 1940 г. работал Шуйский Степан Асафович). Но, с другой стороны, началась своеобразная чехарда с заменами руководства архива: уже 15 июля 1941 г. С.И.Сидоров арестован, вместо него назначается Нефедов Иван Алексеевич, который был освобожден от должности 25.10.1941 г. в связи с призывом в ряды РККА. В годы войны директорами архивов работали Билинкис Георгий Семенович, Билинкис Клара Семеновна, Кричевский Марк Исаакович.

Крупным этапом в развитии архивной отрасли страны и республики стало принятие Положения о Государственном архивном фонде Союза ССР, утвержденное СНК СССР 29 марта 1941 г., которое точно определяло состав Государственного архивного фонда и ответственность органов управления архивами за работу с ними. Четко разграничивались полномочия союзных и республиканских органов управления архивами. Положением устанавливалось, что организационно-методическая и техническая работа всех архивов, а также постановка документальной части текущего делопроизводства учреждений, организаций и предприятий определяются инструкциями Главного архивного управления. Результатом осуществленной в конце 1930-х – начале 1940-х гг. работы явился пространный список инструкций и правил, охвативший практически все виды архивных работ. Так, приказом НКВД СССР за № 114 от 23 февраля 1940 г. была утверждена инструкция для работы архивов действующих наркоматов и организаций, учреждений, в соответствии с которой Отдел госархивов НКВД Коми АССР проводил работу в учреждениях, организациях и предприятиях. Отделом государственных архивов были определены три направления в работе с ведомственными архивами. Это обеспечение сохранности документальных материалов; выявление материалов, подлежащих сдаче в Республиканский архив, и в связи с этим проведение консультаций и инструктирование по технической обработке документов, создание экспертно-проверочных комиссий (ЭПК) в учреждениях. Постановлением СНК СССР от 29 марта 1941 г. и Указанием Прокурора СССР от 8 июля 1942 г. за № 1/14389 с предусматривалось привлечение к уголовной ответственности лиц, допустивших порчу или гибель материалов.

Крупной организационной перестройкой архивных органов явилось создание на базе Архивного управления в июне 1941 г. Архивного отделения НКВД Коми АССР, а на базе Республиканского архива Центрального государственного архива – Коми АССР (ЦГА) с утверждением положений о них [13]. Положением о ЦГА Коми АССР в архиве создавалось три отдела – дореволюционных фондов, советских фондов и секретной документации. Предусматривалось создание переплетно-брошюровочной и реставрационной мастерских. Штаты подведомственных архивному отделению структур в 1941 г. составляли 43 чел., из них в самом отделении – пять, в ЦГА Коми АССР – шесть, 15 – заведующие районными, городскими архивами и 16 – делопроизводители ЗАГСа.

Основными задачами в данный период были: обработка документальных материалов, создание приказами начальников учреждений и предприятий экспертных комиссий из наиболее грамотных сотрудников; строгий учет всех законченных производством дел и сосредоточение их в хранилищах, оборудованных по всем правилам [14].

Именно с этого периода можно говорить и о начале формирования районного звена архивов. Несмотря на то, что Постановлением СНК Коми АССР от 26.08.1938 г. предусматривалось выделение штатной единицы для архива и оборудованного помещения, однако спустя два года в приказе народного комиссара внутренних дел Коми АССР от 25 марта 1940 г. «Об упорядочении работы районных архивов Коми АССР» указывалось, что «в ряде районов архивное дело до сего времени не организовано. Большое количество архивного материала, имеющего важное политическое и научно-историческое значение, не учтено, не упорядочено и сохранность этого материала не обеспечена» [15]. На начало 1940 г. районные архивы в Коми АССР были созданы в пяти районах и то «формально, без надлежащего оборудования, в остальных районах

[2] Стиль и орфография автором статьи сохранены.

райархивов до сих пор нет» [16]. И год спустя в приказе народного комиссара внутренних дел Коми АССР от 17 апреля 1941 г. «О состоянии работы районных архивов НКВД Коми АССР» вновь подчеркивалось, что «архивные материалы районных учреждений, предприятий, сельсоветов и колхозов на хранение в райархивы не приняты, также не организован контроль за состоянием хранения в архивах учреждений, вследствие чего имеют место случаи уничтожения ценных в историческом и справочном отношении материалов…» [15. Л. 46-48]. Об организации работоспособного районного звена архивов в республике можно говорить только к 1942 г. Так, в отчете о работе отдела государственных архивов НКВД Коми АССР за 1942 г. указано: «Районные райархивы НКВД организованы во всех районах республики Коми. До мая месяца 1942 г. работники были в архивах малограмотные и не знающие архивного дела. С помощью отдела кадров НКВД КАССР удалось в большинстве районов заменить негодных работников. В настоящий момент райархивы укомплектованы более сильными работниками, имеющими образование за 10-летку, и в данное время работа райархивов значительно улучшилась [...]. В данное время во всех районах проводится концентрация архматериалов и их упорядочение согласно инструкции УГА [Управление государственными архивами] НКВД СССР. Руководство райархивами осуществляем путем выезда в районы, а также вызова зав. райархивами с докладами о проводимой работе и получением соответствующего инструктажа. Повседневно имеем телефонную связь с районами и все затрудняющие вопросы работников района разрешаем посредством телефонной связи […]. Состояние помещений в райархивах сейчас удовлетворительное» [17].

С началом войны перед архивными работниками были поставлены новые задачи: «сконцентрировать, обеспечить сохранность и обработать материалы, отражающие работу трудящихся по развитию промышленности и сельского хозяйства в Коми республике» [17 Л.1]. По состоянию на 23.08. 1941 г. в архиве числилось 574 фонда, 200151 ед. хр., секретных фондов – 130, дел в них – 4512, в том числе описанных 127061 дел – общего делопроизводства и 3556 секретных. Количество секретных документов составляло около 2 % от общего количества документов [12. Л.3].

В 1942 г. проведено обследование 207 действующих наркоматов и учреждений. Состояние ведомственных архивов в 1942 г. значительно улучшилось. В ряде наркоматов и учреждений были заменены архивные работники более сильными и грамотными, которые активно осваивали архивное дело. В ряде учреждений были утверждены штатные должности заведующих архивами и это дало возможность подобрать на них соответствующих работников. Отдел госархивов НКВД Коми АССР повседневно и целенаправленно руководил работой архивов учреждений и оказывал им методическую помощь [17. Л. 1-1 об].

В 56 действующих наркоматах и учреждениях были организованы экспертно-проверочные комиссии (ЭПК), которые работали по отбору и проверке материалов, подлежащих уничтожению, как не имеющих исторической и оперативной ценности [17. Л. 6]. После представления учреждениями и организациями республики списков документов для отбора на уничтожение документов, Архивный отдел НКВД Коми АССР направлял их в Центральную экспертно-проверочную комиссию (ЦЭПК) Главного архивного управления (ГАУ) НКВД СССР. Это было связано с тем, что с 1940 г. из-за отсутствия «научного работника и грамотных работников, хорошо знающих архивную работу», в архиве не действовала экспертно-проверочная комиссия и в связи с этим Архивный отдел НКВД Коми АССР должен был высылать отборочные списки на уничтожение архивного материала для просмотра ЭПК при Главном Архивном управлении НКВД СССР [18].

ЭПК в Коми АССР создана в ноябре 1943 г. приказом народного комиссара внутренних дел Коми АССР после того, как штаты Отдела и Республиканского архива были полностью укомплектованы. Председателем была назначена научный сотрудник Республиканского архива А.И.Седельникова, члены – К.Н.Михеева – зав. отделом секретных фондов, инспектор Отдела госархивов – А.И.Горбунов и М.П.Манакова – старший архивно-технический работник. В документах архива указывается, что состав ЭПК сформирован из недостаточно квалифицированных сотрудников, только один из них со стажем работы восемь лет, остальные стажа не имели. По образованию три сотрудника были со средним образованием, один – с низшим. Тем не менее, выполняя стоящие перед архивными органами задачи, до конца 1943 г. проведено 14 заседаний ЭПК и рассмотрено 9398 ед.хр., отобранных к уничтожению. О том, что работа проводилась не формально, а заинтересованно, можно судить по тому, что из материалов, представленных ведомствами, на уничтожение утверждено 453 ед.хр., на дальнейшее хранение предложено оставить 708 ед.хр. А списки, переданные наркоматами финансов, земледелия и здравоохранения, не рассматривались, так как ими не были представлены исторические справки, сведения о том, какие документы оставлены на хранение [19]. Другим примером свидетельства тщательной работы, направленной на сохранение наиболее ценной части документального наследства Коми АССР, можно считать и то, что при рассмотрении отборочных списков даже таких крупных структур, как комбинат «Воркутауголь», Управление Устьвымлага НКВД СССР, было указано, что в отборочные списки включены заголовки дел, не отражающие содержания документов, и впредь такие списки рассматриваться не будут.

Строгая дисциплина и суровые условия военного времени давали результаты. В отчете о работе Отдела государственных архивов НКВД Коми АССР за 1942 г. указывалось, что в феврале 1942 г. был проведен ремонт здания во дворе здания Рес-

публиканского архива и туда переведен Отдел госархивов (ОГА) НКВД Коми АССР. Уже в 1943 г. в акте от 25 июня по обследованию работы Республиканского архива отмечено, что «в архиве сконцентрировано по состоянию на 25 июня 1943 г. 787 фондов 165429 ед.хр. Все материалы разбиты по годам и отделам. Архивохранилище занимает три комнаты. Помещение светлое, сухое, пол деревянный, стеллажи установлены правильно, согласно инструкции Управления государственных архивов (УГА) НКВД СССР. Учет материалов поставлен удовлетворительно. Сохранность материалов и их охрана удовлетворительная» [20].

Отдельный вопрос, который сразу возникает при рассмотрении проблемы передачи архивов в ведение системы НКВД – это вопрос с засекречиванием документов. В отчете о работе отдела секретных фондов ОГА НКВД Коми АССР и Республиканского архива за 1942 г. указывалось, что всего в отделе секретных фондов на 01.01.1943 г. сконцентрировано 170 фондов с количеством 15621 ед.хр., или примерно 7 % от общего количества дел в Республиканском архиве. Таким образом, количество секретных дел с начала войны увеличилось на 5 %. В 1942 г. засекречено 2523 ед. хр. (преимущественно из дореволюционных фондов). Однако, как ни удивительно, вместе с тем проводилась и работа по рассекречиванию документов. В отчете указано, что рассекречено в 1942 г. 20 фондов с объемом 14557 ед. хр. [14. Л. 11]. Эта работа была проведена в соответствии с письмом Главного архивного управления НКВД СССР от ноября 1941 г. о выявлении в ряде архивов в отделах секретных фондов большого количества документальных материалов, «которые по своему содержанию не только не являются секретными, но и не представляют никакой научной и практической ценности» [21].

Закономерным с точки зрения всей общественно-политической обстановки в стране было ужесточение доступа посетителей к архивным документам. В письме Главного архивного управления НКВД СССР от 27.08.1941 г. предписывалось: «В связи с военной обстановкой допуск в читальные залы для работы над документальными материалами государственных архивов обычному кругу посетителей прекратить» [22]. Разрешалась лишь работа представителям партийных организаций, военного командования, органов НКВД, судебно-следственных органов, органов прокурорского надзора и сотрудникам архивных органов, работающим по планам, утвержденным архивными отделами. В апреле 1942 г. допуск в архивы был расширен – разрешалась работа исследователям, имеющим задания и официальные направления от научных учреждений, высших учебных заведений и органов власти с обязательным указанием темы работы. Одновременно устанавливался строгий контроль за использованием документов, выдаваемых в читальные залы. Выписки и копии документов должны были проверяться лично начальником соответствующего государственного архива [21. Л. 78].

Показателен и сам по себе факт того, что уже в годы войны перед архивистами ставилась задача «концентрировать» в архив документы периода ВОВ. В циркулярном письме Управления госархивами НКВД СССР от 10.09.1942 г. местным органам предписывалось усилить контроль за сохранностью документальных материалов районных архивов и архивов учреждений, организаций и предприятий. При этом предлагалось особое внимание обратить на сохранность документов периода Отечественной войны. Отдел госархивов НКВД Коми АССР оперативно на это отреагировал и в своем отчете указал, что уже в течение 1942 г. «все печатные издания, вышедшие в годы войны, как-то: газеты, брошюры, плакаты, листовки нами сконцентрированы в архивохранилище» [21. Л. 38]. В отчете за 1943 г. указывалось: «Из документальных материалов периода Отечественной войны, могущие быть сконцентрированными в Коми республике, располагаем лишь письмами с фронта, которые отлагаются в редакциях газет…. Данные материалы нам еще не переданы...редакции просят отсрочить передачу до января 1944 г…» [19. Л. 6].

Однако объективно существовали проблемы, решить которые возможно было лишь при значительных финансовых вложениях. В связи с отсутствием свободных площадей в Республиканском архиве и перегрузкой архивохранилищ прием архивных материалов проводился не в достаточной форме, в 1942 г. принято всего четыре фонда. Работа по комплектованию ЦГА Коми АССР начала проводиться с июня 1943 г. Отделом государственных архивов был составлен план концентрации архивных материалов из районов и обследований учреждений в целях выявления материалов, подлежащих сдаче в архив. В 1943 г. инспекторами проверено 94 ведомственных архива. В результате обследований составлен план приема дел в Республиканский архив, а работников, ответственных за обработку материалов, выделенных приказами руководителей, приглашали в архив и давали консультации [19. Л. 1-7].

За период с августа 1943 г. до 1 января 1944 г. архив принял из районов Коми АССР 90 фондов 22395 ед.хр. Среди них, как указывали сами архивные работники, «наиболее ценными фондами, сконцентрированными нами из райархивов, являются: фонды районных отделов народного образования, сданные всеми райархивами, характеризующие культурное развитие коми народа за годы советской власти и заботу партии и правительства по поднятию народного образования в Коми республике» [23]. Наиболее ценными из принятых фондов были признаны – документы районных исполнительных комитетов, «материалы которых характеризуют экономическое развитие районов Коми АССР, а также материалы, представляющие интерес для оперативных органов государственной безопасности и НКВД, как например, списки и личные дела на кулаков, лиц, лишенных избирательных прав и др. антисоветский элемент» [23. Л. 5 об].

Из ведомственных архивов документы на хранение сдали такие учреждения, как Наркомат земледелия Коми АССР, Коми контора Госбанка, Сыктывкарская пристань, Пединститут, Наркомат

лесной промышленности Коми АССР. Принято из 14 городских республиканских государственных учреждений 1614 ед.хр., в том числе из Прокуратуры Коми АССР (за 1924 –1925 гг.) – 231; Сыктывкарского горсовета (1931–1941 гг.) – 565; Конторы Заготживсырье (1927–1935 гг.) – 143; Сыктывкарского городского карточного бюро (за 1941–1943 гг.) – 188 ед.хр.; Наркомата торговли Коми АССР (за 1935–1941гг.) – 61 ед.хр. [24].

Свою работу Отдел государственных архивов проводил совместно с органами противопожарной безопасности. Для налаживания работы в ведомственных архивах Отдел государственных архивов считал необходимым принять решительные меры к наиболее злостным нарушителям и отдал под суд руководителей некоторых предприятий и об этих фактах поставил в известность всех руководителей учреждений. В частности, были оштрафованы заведующий Горкомхозом и управляющий Управления связи [25].

На начало 1945 г. общее состояние архивной службы можно охарактеризовать следующим образом. В республике действовал Центральный государственный архив Коми АССР, 16 районных архивов, «в каждом районе по одному архиву». Как указано в отчете Отдела государственных архивов за 1944 г., «общеобразовательный уровень заведующих райархивами – от 7 до 10 классов. Зав. райархивами на должность назначаются приказом народного комиссара […]. Несмотря на общее улучшение работы в райархивах республики, некоторые начальники райотделов недостаточно уделяют внимания архивной работе. В Коми АССР имеем 116 учреждений, из которых штатные должности зав. архивами имеются в СНК Коми АССР и Наркомате финансов Коми АССР. В остальных учреждениях зав. архивами назначаются приказами руководителей по совместительству» [24. Л.27-28]. За годы войны количество дел, приведенных в порядок, составило 126 тыс. Количество выданных дел в читальном зале увеличилось с 140 на 1 января 1942 г. до 844 на 1 января 1945 г. [26].

Заключение

Таким образом, архивное дело в Коми АССР в предвоенный период и во время войны продолжало развиваться. Обеспечивалась сохранность документов, Государственный архив пополнялся новыми фондами и новыми документами, в том числе созданными в период войны, была организована сеть районных архивов. Во многом это произошло благодаря переводу архивов в подчинение органов внутренних дел. Вместе с тем только с началом Великой Отечественной войны произошла мобилизация архивной работы, был сформирован отлаженный механизм архивной службы. Фактические данные свидетельствуют, что мощнейшая государственная структура со строгой внутренней дисциплиной попыталась навести порядок в такой специфической отрасли, как архивное дело с его задачами систематизации и хранения огромного количества документов. Хотя это достигалось не экономическими, а административными мерами, но объективно необходимый результат невозможно было достичь при существовавшем уровне экономического и социокультурного развития региона.

Другой особенностью архивной работы в военные годы стало ужесточение доступа исследователей к архивным материалам, а также приоритет на сохранение документов, несмотря на все сложности военного времени. Таким образом, очевидно, что даже в тяжелейшие годы войны состояние архивной отрасли не просто оставалось стабильным, но и продвигалось по пути улучшения.

Литература

1. *Хорхордина Т.И.* История Отечества и архивы: 1917–1980 гг. М.,1994. 357 с.
2. *Савин В.А.* Хранить нельзя уничтожить. Формирование и организация Государственного архивного фонда РСФСР–СССР.1918–1950-е гг. М., 2000. 224 с.
3. *Маяковкий И.Л.* Очерки истории архивного дела в СССР. Изд. испр. и доп. М., 1960. С.307.
4. *Максаков В.В.* Архивы и архивное дело в СССР в годы Великой Отечественной войны // Вопросы архивоведения. 1961. № 2. С.6.
5. *Крайская З.В.* Организация архивного дела в СССР. М., 1980. 176 с.
6. *Чупрова Э.Г.* Архивы Коми АССР: 1922–1991 гг. Сыктывкар, 2007. 193 с.
7. *Гагиева А.К.* Очерки истории становления и формирования архивного дела в России (IX – конец XX вв.). Сыктывкар, 2010.
8. *О передаче республиканского* и районного архива в ведение НКВД Коми АССР: постановление Совета Народных Комиссаров Коми АССР от 08.04.1939 г. № 363 // ГУ РК «Национальный архив РК». Ф. Р-605. Оп. 1.Д. 37.Л. 135-137.
9. *ГУ РК «Национальный архив РК».* ГУ РК «Национальный архив РК». Ф. Р-3. Оп. 1.Д. 489.Л. 146.
10. *ГУ РК «Национальный архив РК».* Ф. Р-605. Оп. 1.Д. 17.Л. 32.
11. *ГУ РК «Национальный архив РК».* Ф. Р-605. Оп. 4.Д. 24.Л.128-128 об.
12. *ГУ РК «Национальный архив РК».* Ф.Р-488.Оп.1.Д.33.Л.3-8.
13. *ГУ РК «Национальный архив РК».* Ф.Р- 3. Оп. 1. Д. 118. Л. 50-54. Приказом народного комиссара внутренних дел Коми АССР от 5 декабря 1941г. во исполнение приказа НКВД СССР от 31.07.1941 г. Архивное отделение НКВД Коми АССР стало именоваться Отделением государственных архивов НКВД Коми АССР. ГУ РК «Национальный архив РК». Ф.Р- 488.Оп.1.Д.31.Л.77.
14. *ГУ РК «Национальный архив РК».* Ф.Р-488.Оп.1.Д.120.Л.12.
15. *ГУ РК «Национальный архив РК».* Ф.Р-488.Оп.1.Д. 31.Л.14-15.
16. *ГУ РК «Национальный архив РК».* Ф. Р-488. Оп.1.Д. 34. Л. 24-25.
17. *ГУ РК «Национальный архив РК».* Ф.Р-488.Оп.1. Д.55. Л.4-5.
18. *ГУ РК «Национальный архив РК».* Ф.Р- 488. Оп. 1.Д. 41. Л.5, 9.

19. *ГУ РК «Национальный архив РК»*. Ф.Р -488. Оп. 1 . Д. 65 .Л .6 об.
20. *ГУ РК «Национальный архив РК»*. Ф.Р-488. Оп. 1. Д. 54. Л. 11.
21. *ГУ РК «Национальный архив РК»*. Ф.Р-488. Оп.1. Д.835. Л. 98.
22. *ГУ РК «Национальный архив РК»*. Ф.Р-488. Оп.1. Д. 834. Л. 34.
23. *ГУ РК «Национальный архив РК»*. Ф.Р-488. Оп.1.Д.63.Л. 5.
24. *ГУ РК «Национальный архив РК»*. Ф.Р-488. Оп. 1. Д.69. Л. 35 об.-36.
25. *ГУ РК «Национальный архив РК»*. Ф.Р-488. Оп. 1. Д. 63. Л.13 об.
26. *ГУ РК «Национальный архив РК»*. Ф.Р-488.Оп.1.Д. 836. Л.1-4.

References

1. *Khorkhordina T.I.* Istorija otechestva i arhivy: 1917-1980 gg. [History of the motherland and archives: 1917-1980] - Moscow, 1994. P. 357.
2. *Savin V.A.* Hranit' nel'zja unichtozhit'. Formirovanie i organizacija Gosudarstvennogo arhivnogo fonda RSFSR–SSSR. 1918–1950-e gody [To keep not to destroy. Formation and organization of the RSFSR - the USSR State Archive Fund. 1918–1950] - Moscow, 2000.
3. *Mayakovky I.L.* Ocherki istorii arhivnogo dela v SSSR [Historical sketches on archival sphere in the USSR] – Edition revised and supplemented. Moscow, 1960. P.307.
4. *Maksakov V.V.* Arhivy i arhivnoe delo v SSSR v gody Velikoj Otechestvennoj vojny [Archives and archival sphere in the USSR during the Great Patriotic War] // Voprosy arhivovedenija [Archival science questions] - 1961.№ 2. P. 6.
5. *Kraiskaya Z.V.* Organizacija arhivnogo dela v SSSR [Organization of archival sphere in the USSR] - Moscow, 1980. P.174.
6. *Chuprova E.G.* Arhivy Komi ASSR: 1922-1991 gg. [Archives in the Komi Autonomous Soviet Socialist Republic: 1922-1991]. Syktyvkar, 2007. 196 p.
7. *Gagieva A.K.* Ocherki istorii stanovlenija I formirovanija arhivnogo dela v Rossii (IX – konec XX vv.) [Historical sketches on beginning and formation of archival sphere in Russia (IX– end of the XX centuries)]. Syktyvkar, 2010.
8. *O peredache respublikanskogo* i rajonnogo arhiva v vedenie NKVD Komi ASSR: postanovlenie Soveta Narodnyh Komissarov Komi ASSR ot 08.04.1939 g.№ 363 [On transfer of the Republican and regional archives to the jurisdiction of the People's Commissariat of Internal Affairs of the Komi ASSR: resolution of the Soviet of People's Commissars of the Komi ASSR of April 8, 1939 No. 363] // GU RK «Nacional'nyj arhiv RK»[National Archive of the Komi Republic]. F. R-605. Op. 1.D. 37.L. 135-137.
9. *GU RK «Nacional'nyj arhiv RK»*. GU RK «Nacional'nyj arhiv RK»[Ibid.]. F. R-3. Op. 1.D. 489.L. 146.
10. *GU RK «Nacional'nyj arhiv RK»*[Ibid.]. F. R-605. Op. 1.D. 17.L. 32.
11. *GU RK «Nacional'nyj arhiv RK»*[Ibid.]. F. R-605. Op. 4.D. 24.L.128-128 ob.
12. *GU RK «Nacional'nyj arhiv RK»*[Ibid.]. F.R-488.Op.1.D.33.L.3-8.
13. *GU RK «Nacional'nyj arhiv RK»*[Ibid.]. F.R- 3. Op. 1. D. 118. L. 50-54.
14. *GU RK «Nacional'nyj arhiv RK»*[Ibid.]. F. R-488.Op.1.D.120.L.12.
15. *GU RK «Nacional'nyj arhiv RK»*[Ibid.]. F.R-488.Op.1.D.31.L.14-15.
16. *GU RK «Nacional'nyj arhiv RK»*[Ibid.]. F. R.488. Op.1.D. 34. L. 24-25.
17. GU RK «Nacional'nyj arhiv RK»[Ibid.]. F..R-488.Op.1. D.55. L.4-5.
18. GU RK «Nacional'nyj arhiv RK»[Ibid.]. F.R – 488. Op. 1.D. 41 .L .5, 9.
19. GU RK «Nacional'nyj arhiv RK»[Ibid.]. F.R - 488. Op. 1. D. 65 .L.6 ob.
20. GU RK «Nacional'nyj arhiv RK»[Ibid.]. F. R-488. Op. 1. D. 54. L. 11.
21. GU RK «Nacional'nyj arhiv RK»[Ibid.]. F.R-488. Op.1.D.835. L. 98.
22. GU RK «Nacional'nyj arhiv RK»[Ibid.]. F.R-488. Op.1.D.834. L.34.
23. GU RK «Nacional'nyj arhiv RK»[Ibid.]. F.R-488. Op.1.D.63.L. 5.
24. *GU RK «Nacional'nyj arhiv RK»*[Ibid.]. F. R-488. Op. 1. D.69. L. 35 ob.-36.
25. *GU RK «Nacional'nyj arhiv RK»*[Ibid.]. F. R-488. Op. 1. D. 63 L.13ob.
26. *GU RK «Nacional'nyj arhiv RK»*[Ibid.]. F.R-488. Op.1.D.836.L.1-4.

Статья поступила в редакцию 18.05.2015

УДК 94(470) + 323.2 + 329.1/.6

СУБКУЛЬТУРА АНТИФА КАК СОЦИАЛЬНО-ПОЛИТИЧЕСКИЙ ФЕНОМЕН: ОПЫТ ИЗУЧЕНИЯ В г. СЫКТЫВКАРЕ

А.Г. КУЗЬМИН, П.Д. МОРОЗОВ

Институт социальных технологий Сыктывкарского государственного университета им. Питирима Сорокина, г. Сыктывкар
akuzmin09@rambler.ru, eiuf@mail.ru

В статье рассматривается становление и развитие антифашистского молодежного движения в г. Сыктывкаре начала второго десятилетия XXI в. На основании впервые проведенного прикладного социологического исследования предпринята попытка определить типические черты и особенности антифа-движения как специфического направления субкультурной молодежной среды столицы Республики Коми.

Ключевые слова: **антифашизм, левый радикализм, правый радикализм, скинхеды, молодежная субкультура, протестное движение, идеология**

A.G.KUZ'MIN, P.D.MOROZOV. SUBCULTURE ANTIFA AS A SOCIO-POLITICAL PHENOMENON: THE EXPERIENCE OF STUDYING IN SYKTYVKAR

The characteristics of the genesis of the left-radical movement "Antifa" in Syktyvkar is given. The influence of cooperation of its representatives with members of the Komi Human Rights Commission "Memorial" on the formation and development of Syktyvkar antifascists is considered. These contacts are connected with general problems of countering the spread of influence of xenophobic and right-wing ideas in Russian society. Much attention is paid to the analysis of regional features of the anti-fascist movement. We analyzed the composition of the participants in the movement, the features of ideology and practice, the methods and means of struggle, the attitude to violence and to the state, and especially the social ideals of the antifascists. We consider the ideological orientations of modern Russian anti-fascists, as well as the typical movement forms of political action. Along with consideration of practical activity we attempted to analyze the composition of political preferences and orientations of modern anti-fascists. We study in detail the mechanism of the anti-fascist ideas propaganda (various street actions, including environmental ones, explanation of the objectives and tasks of the anti-fascist movement with the aid of internet resources, presentations at various discussion sites). Particular attention is paid to the areas of activity of Syktyvkar anti-fascists – ecology, anti-militarism, independent music festivals and the violent street confrontation of militant-Antifa to representatives of the right skin culture. Of interest is the fact that the paper is based on data of sociological survey conducted for the first time among anti-fascists of Syktyvkar in 2014, which allows us to conclude that the anti-fascist movement in the capital of Komi exists and corresponds by the basic parameters to the anti-fascist formations in other regions of the country. The Society of Syktyvkar Antifa is a network organization with a distinct subcultural basis.

Keywords: **anti-fascism, left radicalism, right radicalism, skinheads, youth subculture, protest movement, ideology**

Исторически антифашизм представляет собой общественно-политическое движение, возникшее в Европе как реакция общества в ответ на появление фашистских партий и режимов, начиная с деятельности фашистской партии Бенито Муссолини в Италии и национал-социалистической немецкой рабочей партии Адольфа Гитлера в Германии. Постепенно антифашизм трансформировался в общемировую политическую идеологию, представители которой основной целью своего движения считали борьбу с любыми проявлениями крайне правых идей, представленными как в виде двух классических европейских вариантов (итальянского и немецкого), так и их более современных разновидностей.

Антифашистское движение в России имеет свою длительную историю развития, связанную в основном с участием страны во Второй мировой войне против стран Оси (Германия, Италия, Япония). На современном этапе после некоторого спа-

да, связанного с периодом и негативной оценки наследия советского прошлого, феномен российского антифашизма представлен не только в виде официальных действий органов власти по сохранению исторической памяти военной победы над фашизмом и деятельности ряда общественных антифашистских организаций, но и в виде субкультуры так называемых «антифа».

Сыктывкарское антифа-движение изначально в качестве самоназвания взяло себе английскую аббревиатуру UST – United Street Tribes («Объединенные уличные племена»), в котором, несмотря на заявленную организационную идею объединения всех левых субкультур в городе, основное место занимали т.н. «шарпы» (S.H.A.R.P. – от англ. Skinheads Against Racial Prejudices, т.е. скинхеды против расовых предрассудков). Сыктывкарский UST имеет собственное интернет-коммьюнити, на котором один из создателей UST разместил материал об истории зарождения движения в столице республики. Автор подчеркнул, что главными мотивами для него было желание показать суть движения сыктывкарских антифа и необходимость развенчания некоторых неправильных представлений о самой организации.

Отметим, что практически до конца первого десятилетия 2000-х гг. в Сыктывкаре не было зафиксировано попыток консолидации и самоорганизации антифа. Одной из основных причин возникновения антифашистских структур в молодежной неформальной среде г. Сыктывкара можно считать ответную реакцию части участников различных неформальных движений на существование и активную деятельность ультраправых националистов, в том числе и наци-скинхедов. Представители различных субкультурных направлений объединились для борьбы с ростом влияния национализма в молодежной среде (например, для противодействия набиравшему популярность в Сыктывкаре националистическому движению «Союзу национального возрождения» и сменившему его «Рубежу Севера»). В результате сыктывкарские антифа сформировали сетевую организацию без четкой структуры и распределения внутригрупповых обязанностей и функций. Тот факт, что значительная часть участников объединения симпатизировала анархистам или являлась ими, также мало поспособствовал приданию организации оформленного вида. Когда летом 2008 г. в городе из скинхед-движения, представленного до этого только бонхедами (ультраправыми), выделились «трады», т.н. собой аполитичное и не националистически-настроенное скинхедское течение, можно говорить о начале расслоения среди сыктывкарских скинов. Мода на трад-движение в городе продлилась не более двух лет, однако именно тогда бонхеды увидели в них идейных врагов, поскольку в немногочисленные ряды традов входили также люди с анархистскими и левыми взглядами. Главная заслуга появления небольшой группы традов в том, что они, исторически не являясь сторонниками расизма и ультраправых взглядов, внесли в умы субкультурной молодежи города понимание того, что скинхед не обязательно должен являться расистом, нацистом или националистом. Образовавшийся на этой основе «первый UST», как рассказывает один из его лидеров, представлял собой исключительно субкультурное сообщество, которое не было политизировано и поэтому не имело в качестве цели активные политико-социальные действия [1]. Так, состав UST образца 2008 г. включал в себя, помимо скинхедов, панков, стрейтэйджеров, скейтеров и других представителей различных молодежных субкультур. Вплоть до распада осенью-зимой 2009 г. организация не заявляла о своей антифашистской позиции. Несмотря на это, именно атмосфера нового движения снискала славу первых антифа в городе, чему немало поспособствовали сами бонхеды. Только после начала «войны» между правыми скинхедами против традов и первых шарпов в молодежной среде города стали появляться антифашистские настроения.

Весной 2010 г. движение было возобновлено под новым названием ПНХ-crew и сразу заявило о четкой антифашистской позиции. «Вторая волна» UST уже серьезно отличалась от первоначального варианта. Движение изначально оказалось политизированным: за основу были взяты идеи антифа, а также проблемы социального неравенства современного общества, экологии и охраны животных. Главными идеями сыктывкарских антифа стали анархистские и либертарианские убеждения, идеи свободного общества, построенного на равенстве и взаимопомощи, отрицании всех видов дискриминаций и основных капиталистических ценностей, как, например, культ потребления. Движение стало открыто для всех людей, отрицающих фашизм, нацизм и расизм.

Состав движения оказался крайне неоднородным: помимо традиционных субкультур антифа – панки, шарпы и трады – сюда входили представители отдельных музыкальных ответвлений – хардкорщики, крастеры, рэперы, а также политически-ориентированные активисты – анархисты, экологи-защитники, феминистки. Среди сыктывкарских антифа немало людей, пропагандирующих идеи стрэйтэйджерства, веганства и пацифизма. Общим для всех стало неприятие нацистских и расистских идей. Однако при этом отсутствовал идеолог или лидер, который взял бы на себя всю организаторскую деятельность.

Отдельные участники движения до перехода на антифашистские позиции придерживались правых идей и считали себя наци-скинхедами. Особую роль в движении играют правозащитники, большинство из которых работали или на сегодняшний день сотрудничают с сыктывкарским филиалом Международного историко-просветительского, правозащитного и благотворительного общества «Мемориал». Коми региональная общественная организация «Комиссия по защите прав человека “Мемориал”» была создана 27 ноября 1996 г. и зарегистрирована 26 июня 2002 г. Позднее организация стала называться Коми правозащитная комиссия (КПК) «Мемориал».

Среди пяти основных программ деятельности КПК «Мемориал» следует выделить:

1) «Справедливый суд» – постоянную юридическую работу в области защиты прав человека; юридические консультации пострадавшим от несправедливых судебных решений;

2) «Контроль за полицией» – помощь пострадавшим от произвола работников полиции; информирование населения о незаконных действиях органов полиции;

3) «Защита заключенных и их родственников» – мониторинг условий содержания в СИЗО и местах лишения свободы, защита прав заключенных и юридические консультации;

4) «Антифашизм» – просвещение жителей Республики Коми в вопросах толерантности, этнической и религиозной терпимости; противодействие деятельности националистических и экстремистских организаций;

5) «Свобода слова» – правовая защита журналистов, подвергшихся преследованию за свою профессиональную деятельность; выявление фактов различных видов цензуры в СМИ РК; консолидация независимых журналистов [2].

Таким образом, развитию антифашистской пропаганды и деятельности КПК «Мемориал» посвятил отдельную самостоятельную программу, что говорит о понимании степени важности данного направления членами организации. Кроме того, в июне 2010 г. пятеро членов КПК основали межрегиональный интернет-журнал «Семь на семь» («7х7») (позднее – «7х7 – Горизонтальная Россия»). Сайт представляет собой свободное общественное интернет-пространство в виде блогов для распространения информации, анализа и дискуссий. Примечательно, что авторами статей и обсуждений в «Семь на семь» являются не только профессиональные журналисты, но и общественники, гражданские активисты, неравнодушные горожане. На сегодняшний день правозащитный интернет-журнал охватывает больше десяти регионов России на Северо-Западе, Поволжье и Урале, включая Орловскую, Рязанскую и Воронежскую области. Многие члены КПК «Мемориал» размещают здесь свои материалы, связанные с негативной оценкой деятельности националистических организаций в Сыктывкаре или в поддержку действий антифашистов [3, 4].

По характеру политической активности сыктывкарский UST образца 2010 – 2015 гг. оказался в полном смысле антифа-движением, с характерным для последнего уклоном в акционизм. Общей идеей выступали антифашистские убеждения и необходимость противостоянию расизму и нацизму, прежде всего, в лице бонхедов. По этой причине движение перешло к активным действиям, где большинство акций носило политизированный характер.

Из методов пропаганды наиболее распространенными стали граффити и расклеивание стикеров антифашистского и антирасистского содержания. На следующем месте – проведение мирных акций в знак солидарности с памятью о погибших в крупных русских городах [5] от ультраправых и неонацистов русских антифашистов, особенно 9 ноября, в Международный день против фашизма и антисемитизма. Но даже на мирных мероприятиях периодически не обходится без провокаций со стороны противоборствующих в лице ультраправых.

О масштабах акций и пикетов могут свидетельствовать, например, выложенные на видеохостинге «Youtube» любительские видеоролики, на которых сняты сыктывкарские антифа на марше против фашизма 4 декабря 2010 г. и 19 января 2012 г. на акции памяти Станислава Маркелова и Анастасии Бабуриной [6,7]. Довольно продолжительное время резонансным событием для антифасообщества является годовщина памяти убийства правыми боевиками известных в антифа-движении представителей российского антифашистского движения – адвоката Станислава Маркелова и журналистки Анастасии Бабуриной в 2009 г. Наряду с представителями зарубежных и российских антифагрупп, сыктывкарские антифашисты в 2015 г. отметили эту дату в своем городе уже пятый раз. Каждый год мероприятие проводилось в разных форматах. В январе 2015 г., по словам организаторов акции, вместо шествия по причине «репрессивной правоприменительной практики в области публичных акций» было решено провести «кинопросмотр» двух фильмов антифашистской тематики, который посетило около 50-ти человек [10,11]. Обращает на себя внимание немногочисленность участников акций (от нескольких десятков до двух–трех десятков человек) и их стремление скрыть свои лица. Это делается как по причине нежелания быть узнанными со стороны своих политических оппонентов справа, так и в силу опасений возможных преследований со стороны правоохранительных органов.

Один из наиболее заметных маршей антифа состоялся в декабре 2010 г., когда около сотни молодых антифашистов прошли по центральным улицам г.Сыктывкара с растяжкой «Antifa hooligans». По сообщениям общероссийского анархистского сетевого ресурса, на растяжке, которую несли во главе колонны антифа, изображены логотипы: сквоттнига (движение людей, выступающих за бесплатное жилье, когда активисты заселяются в свободные помещения без юридических прав), анархистов, а также S.H.A.R.P. и RASH (англ. Red & Anarchist Skinheads – скинхеды, выступающие за идеологии анархизма, коммунизма или социализма). Антифашисты скандировали: «Антифа, Антифа», «Это наш город!», «Нет фашизма – нет проблем!», «Мир цветной, а не коричневый» и многое другое. К концу марша колонну сопровождали автомобили сотрудников МВД, сохранивших до конца мероприятия «нейтралитет» [8].

Массовые протесты в декабре 2011 г. в г.Москве и в преддверии президентских выборов 4 марта 2012 г. также нашли отклик среди антифашистской молодежи столицы республики. Из заметных акций, упомянутых в прессе, можно отметить участие антифашистов г.Сыктывкара в акциях памяти жертв неонацизма. Например, 29 февраля 2012 г., в день памяти самарского анархиста-антифашиста Никиты Калина, убитого нацистами 9 февраля 2012 г., в столице Коми была проведена акция памяти [9].

Отметим, что в последние годы на общественных площадках города стало популярным чте-

ние лекций по так называемому «гуманитарному антифашизму», главными целями которых являлось донести до всех интересующихся людей функции, риторику и практику современного российского антифашизма.

Наиболее значительными акциями членов антифа-групп были уличные стычки с ультраправыми националистами, нередко выливавшиеся в драки на улицах города, а также создание интернет-сайтов с выставлением лиц и имен противоборствующей стороны. Отметим, что на эти сомнительные, с точки зрения российского закона, виды деятельности быстро отреагировали представители местных правоохранительных органов.

В течение последних пяти лет активисты антифа выкладывают в сети Интернет фотографии и имена своих противников, их адреса, телефоны и возможное местонахождение. Активисты антифа предупреждают, что как воспользоваться данной информацией, каждый решает сам. На главной странице сайта размещено такое обращение: «У нас есть мечта. Чтобы на улицах Сыктывкара фашисты перестали себя чувствовать так вольготно, как они чувствуют сейчас. Чтобы они перестали кидать “зиги” у Вечного огня, чтобы прекратились их беспрепятственные шествия, чтобы на российских стадионах перестали появляться нацистские баннеры, и можно было без опаски для жизни заявлять о своих антифашистских убеждениях. Мы считаем недопустимыми любые формы дискриминации и ксенофобии, кто считает иначе – будет появляться здесь. Многие из них должны сидеть в тюрьме за разжигание национальной розни, избиения и даже убийства, что мы надеемся в скором времени и произойдет». Завершается послание характерным заявлением: «В каждом городе нашей большой страны идет война. За Сыктывкар Россия может быть спокойна. В этом городе победим мы» [12].

В этом противостоянии особое место заняло резонансное для общественности республики дело о поножовщине между активистами антифа и участниками национал-патриотической организации «Рубеж Севера» 20 июля 2012 г., когда к нескольким молодым антифашистам в парке подбежали трое членов «Рубежа Севера», избили двоих юношей и нанесли тяжелое ножевое ранение еще одному антифа. Несмотря на то, что подобные столкновения уже не являются редкостью для Сыктывкара, именно специфика данного случая (открыто, вечером, в центре города, при наличии посторонних людей) заставила местные СМИ переосмыслить небольшую уличную «войну» среди сыктывкарских радикальных субкультур [13,14].

Помимо столкновений с правыми радикалами, антифа проводят также мирные акции. Именно сыктывкарскими антифашистами были проведены первые значительные неформальные экологические акции. Так, из числа молодых антифа 24 марта 2011 г. было образовано движение «Зырянских анархо-экологов» («ЗАЭ»), состоявшее на момент создания из 18 человек – «борцов за права вегетарианцев, анархистов, студентов и животных города». ЗАЭ стало ненадолго известным и обсуждаемым в столице Коми и на Интернет-ресурсах в связи с нашумевшей на следующий день после образования организации акции против вырубки деревьев и кустарников в центре города за гостиницей «Сыктывкар». Главной целью «Зырянских анархо-экологов» стало недопущение нарушений экологии в Сыктывкаре и окрестностях, борьба с незаконной вырубкой деревьев и загрязнением окружающих город водоемов, а также защита национального парка «Югыд ва» от уничтожения использования его территорий в промышленных целях [15].

Во всем мире проведение антимилитаристской акции «Еда вместо бомб» («Food not Bombs») стала популярной. В Сыктывкаре эта акция начала проводиться с июня 2010 г., когда волонтерами на собственные средства была приготовлена и совершенно бесплатно раздавалась прохожим веганская еда. Данные мероприятия не встретили никакого противодействия со стороны власти. Они проводятся нерегулярно и никогда не носили политического или агрессивного характера: по утверждению одного из лидеров акции, единственной ее политикой была «политика убеждений» [16].

Отметим, что в г.Сыктывкаре антифа сформирована, по сути, собственная музыкальная панк-хардкор-сцена. Местная рок-сцена к этому времени была уже достаточно сформировавшимся явлением с множеством музыкальных направлений. Поэтому антифашистские концерты стали проводиться самими антифа, воплощая одну из самых значимых идей независимого панк-движения в мире – D.I.Y. или «Do It Yourself» («Делай сам»). Концерты с участием образовавшихся вскоре местных команд («Lazy Riot», «Gop Stop Crew») и заявивших о себе приглашенных групп из других городов (прежде всего, из соседней Кировской области), постепенно набрали определенную популярность. Тексты местных групп основываются на неприятии официальной власти («Медвепут»), ненависти к государству и полиции («А.С.А.В.»), призывают к открытой борьбе с расистскими и нацистскими взглядами («Фашизм не пройдет»).

Проведенный два раза за 2012 г. сыктывкарский антифашистский панк-рок концерт получил название «Злость и ненависть». Это является отсылкой к одной из популярных тем современного хардкор-направления в музыке, а именно – возвращение к панк-хардкору как музыке и движению «олдскульной» энергетики и лирики концертов на заре становления американского хардкора в 1980-х гг. [17]. За основу был взят популярный интернет-мем: «Верните злость и ненависть в хардкор». Сыктывкарская рок-сцена, по признанию самих антифа, превратилась в главный рупор антифашистского движения, стала значимым околомузыкальным явлением, поскольку на концертах приветствовалось выражение своих идей и сплоченность. На концертах также присутствовали необходимые элементы хардкор-культуры – сингалонги, мош, стейджджайвинг.

Весной 2014 г. впервые в столице Коми проведено прикладное анкетирование местных антифа активистов. Анкетирование производилось аноним-

но, в сети Интернет и во время личных встреч. Всего опрошено 30 чел. активных участников движения. В анкете было дано 28 вопросов, большинство из которых касалось теории и практики антифа в г.Сыктывкаре.

Как показал анализ собранных данных, средний возраст антифашистского актива в Сыктывкаре составил 21 год, отдельные представители движения были гораздо старше (31 и выше), а некоторые оказались совсем молодыми (18 и младше). Представителей мужского пола было абсолютное большинство, в опросе участвовало всего три девушки. На вопрос «Что привело Вас в движение?» 12 респондентов ответили: «Активность ультраправых». По семь ответов было у вариантов «Стремление поддержать идею протестного движения» и «Недовольство положением дел в стране». Шесть человек признались, что это было «Чувство морального долга»; пятеро выбрали «Здесь мои друзья, знакомые, и я – с ними». Политически идентифицировали себя как антифашисты 55% респондентов (16 чел.), второй идеологической основой антифа в Сыктывкаре стал анархизм (11 чел.), семь ответов пришлось на коммунизм, шесть – антиглобализм, четыре – либертаризм и вариант «в поиске», феминизм и свободный леворадикализм набрали всего по два ответа. Наиболее близки по своим идеям представители антифа, коммунистов и анархистов, четыре человека затруднились ответить. Средний стаж в движении составил около трех лет. Отдельные представители движения начинают свой антифашистский стаж с 1996 г. (1 чел.), 2005 г. (1), 2007 г. (2), 2008 г. (2), 2009 г. (6 чел.).

Среди действующих политических партий принципиально никого не поддерживают 23 опрошенных, четверо выбрали «Другую Россию», трое – «Авангард Красной молодежи»; ни одна из представленных в парламенте и активно участвующих в политической борьбе партий выбрана не была. На вопрос «Кого считаете основными идеологами движения в мире и в России?» наиболее частым был ответ «затрудняюсь» (17). Пятеро опрошенных назвали антифашиста Петра Силаева (известный также как «Петя Косово», который после событий в Химках («защита Химкинского леса» в августе 2010 г.) в апреле 2012 г. получил политическое убежище в Финляндии); четверо выбрали М.А. Бакунина и П.А. Кропоткина, трое оказались солидарны с Н.И. Махно и Э.В. Лимоновым. Также были упомянуты К.Маркс, Ф.Энгельс, В.И. Ленин, Н. Хомски. По одному ответу в графу «другое» были выбраны «считаю себя» и «из живых никого».

Среди главных методов борьбы сыктывкарские антифа отметили просвещение и мирную пропаганду (13 чел.), акции прямого действия (9), интернет-активизм (4), террористические действия (3). При этом принимавшие участие в мирных акциях антифашисты практически не упоминали каких-либо названий.

На вопрос «Готовы ли Вы лично..?» наиболее популярным стали следующие ответы: создавать альтернативные государству структуры общественного самоуправления – 17 чел., участвовать в мирных акциях протеста – 16, участие в одиночных пикетах – 10, крайние формы протеста – 8, жертвовать деньги на политические проекты – 6, затрудняюсь – 4, наблюдатель на выборах и волонтер в штабе у оппозиционной партии – 2. Главные политические цели движения – пропаганда антифашистских идей и борьба с праворадикалами – стали самым частым ответом (по 9 чел.). Изменение политической системы делают целью только четверо опрошенных, а свержение правящего режима – трое. Графа «другое» была дополнена ответами – вписки (место, где можно переночевать, например, в чужом городе), концерты, одежда, свобода и равенство для каждого, борьба с любым видом эксплуатации.

На момент проведения анкетирования активность ультраправых в Республике Коми 19-ю опрошенными была оценена как малозначительная, еще восемь отметили, что «её нет совсем». У 24-х респондентов высказано критическое отношение к государству, отрицательное отношение к современному режиму высказал 21 чел.

Оценивая перспективы антифа в России, чуть менее половины опрошенных (13 чел.) отметили, что – “плохие”; “затрудняюсь” был вторым вариантом по количеству ответов (7); “хорошие” – упомянули шестеро, по два человека в графе “другое” дали ответы “спад движения” и “каждый сам по себе”.

Результаты опроса выявили общие для всего российского движения тенденции:

– отсутствие системных знаний о самом движении и его направленности, включая незнание основных теоретиков, что в значительной степени объясняется молодостью большинства антифа актива в Сыктывкаре;

– проблема выбора главных методов борьбы и личного участия, что свидетельствует об отсутствии сплоченности внутри движения;

– достаточно высокий уровень аполитичности респондентов. Наибольшие проблемы вызывали вопросы на политическую тему. Затруднения с выбором политической позиции в анкете были вызваны у каждого четвертого опрошенного. Очевидно, что идеология антифа не является в строгом смысле политической, так как в движении участвуют представители различных левых направлений и аполитичных субкультур, которые свободно объединились на почве общей борьбы с проявлениями нацизма и ксенофобии;

– низкая оценка перспектив движения в г.Сыктывкаре говорит о том, что движение заметно снизило свою активность, объяснением чему отчасти служит спад деятельности ультраправых.

Заключение

Главным положительным результатом проведенного социологического опроса стало то, что было идентифицировано само движение, подтверждены все соответствующие признаки и особенности. Можно констатировать, что антифа в г.Сыктывкаре существует, активная часть представлена в количестве чуть менее полусотни человек, набор основных субкультурных ценностей и политические

взгляды его участников схожи с антифа-группами из других российских городов.

Антифа-движение в Сыктывкаре является типичной сетевой самоорганизацией, не имеющей четко обозначенных лидеров и испытывает колоссальное влияние субкультурного мышления. В идеологическом плане движение крайне неоднородно и не имеет перед собой строго поставленных целей и задач. Как было сказано одним из активистов, «Сыктывкар стал антифашистским городом за три года», но это не избавило его от множества проблем. По состоянию на 2015 г., UST и антифа-движение в г.Сыктывкаре во многом из-за снижения градуса активности со стороны бонхедов, имеет тенденции к превращению в сугубо субкультурное сообщество, поддерживающее локальную хардкор-сцену. Параллельно с более радикальным молодежным ответвлением также действуют политически более зрелые правозащитники, которые в основном занимаются деятельностью просветительского характера.

В ходе исследования регионального компонента антифа-движения (на примере г. Сыктывкара) можно сказать, что в российской провинции антифа группы развиваются не так быстро и не так динамичны в практической деятельности. Но антифа российских регионов испытывают те же проблемы в идеологическом обосновании своей деятельности, что и антифа в крупных городах и центральных густонаселенных районах страны. Уличные противостояния с неонацистами в регионах обычно также не достигают такого градуса, как в крупнейших российских городах. При этом все эти факты позволяют сделать вывод, что антифа-движение в России является полноценным сложившимся субкультурным явлением. К сожалению, в этом качестве российские антифа привлекают больше внимания со стороны властей, правоохранительных органов и общественности и, в значительно меньшей степени – представителей российского научного сообщества.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ, проект № М-33-01014 «Русский радикальный национализм начала XXI в.: политические основания идеологии и деятельности».

Литература

1. *Who UST?* URL: http://dr-freemann.livejournal.com/5185.html (дата обращения 27.02. 2015)
2. *Деятельность КПК «Мемориал»*. URL: http:// kpkmemorial.org/ activities/ (дата обращения 27.02.2015)
3. *Интернет-журнал «Семь на семь»*. URL: // http://kpkmemo-rial.org/activities/semnasem/ (дата обращения 27.02.2015)
4. *Андреев П.* Коми-нацики в рядах батальона «Азов». URL: // http://7x7-journal.ru/post/ 52671 (дата обращения 27.02.2015)
5. *Антифашисты Сыктывкара* прошлись маршем.URL://http://www.newtimes.ru/articles/ detail/31570 (дата обращения 27.02.2015)
6. *Антифа Сыктывкар.* Марш против фашизма. 4.12.2010. URL: http://www.youtube. com/watch?v=eZZpryaqgQQ (дата обращения 27.02.2015)
7. *Антифашисты, Сыктывкар.* 19.01.2012. Акция в память об убийстве С. Маркелова и А.Бабуриной. URL: http://www.youtube.com/ watch?v=08hUWjnuy54 (дата обращения 27.02.2015)
8. *Антифашистское шествие* в Сыктывкаре. Около ста молодых сыктывкарцев сказали фашизму "Нет!". URL: https://avtonom.org/ freenews/antifashistskoe-shestvie-v-syktyvkare (дата обращения 27.02. 2015)
9. *Сыктывкар:* в городе прошла акция памяти Никиты Калина. URL: // https://avtonom. org/news/syktyvkar-v-go-rode-proshla-aktsiya-pamyati-nikity-kalina (дата обращения 27.02. 2015)
10. *Антифашисты Сыктывкара* негромко почтили память жертв неонацизма. 19.01.2014. URL:http://www.bnkomi.ru/data/news/ 25299/ (дата обращения 27.02.2015)
11. *Пароева А.* В день памяти убитых Станислава Маркелова и Анастасии Бабуровой в Сыктывкаре посмотрели фильм «Любите меня, пожалуйста». URL: http://7x7-journal. ru/item/52951 (дата обращения 27.02.2015)
12. *Досье на фашистов*. URL: http://http:// sykt1945.noblogs.org/ (дата обращения 27.02. 2015)
13. *Поножовщина в центре* города. URL: http://tvoyaparallel.livejournal.com/7214.html (дата обращения 27.02.2015)
14. *Националист посажен* под домашний арест за ранение антифашиста // Молодежь Севера №29. 27 июля 2012 года. URL: http:// mskomi.ru/n/ar-ticle.php/16843 (дата обращения 27.02. 2015)
15. *Зырянские анархо-экологи* начали с демонстрации одного из своих членов. URL: http:// 7x7-journal.ru/item/ 11359 (дата обращения 27.02.2015).
16. *Поляков М.* Активист движения «Еда вместо бомб» Олег Карманов: «Никакой политики – мы просто раздаем еду» // Молодежь Севера №13 от 6 апреля 2012 года. URL: http:// www.mskomi.ru/n/article.php/15776 (дата обращения 27.02.2015)
17. *Пели, перепевали, подпевали…* В Сыктывкаре прошел панк-концерт «Злость и ненависть в Коми - 2». URL: http://komikz.ru/news/ culture/?id=6626 (дата обращения 27.02.2015)

References

1. *Who UST?* URL: http://dr-freemann.livejournal.com/5185.html (accessed 27.02.2015)
2. *Deyatelnost KPK "Memorial" [The activities of the KPK* «Memorial»] URL: http://kpkmemorial.org/activities/ (accessed 27.02.2015)
3. *Internet zhurnal "Sem' na sem'"[Internet magazine* «Seven by seven»] URL: // http:// kpkmemo-rial.org/activities/semnasem/ (accessed 27.02.2015)

4. *Andreev P.* Komi-natsiki v ryadakh batalyona “Azov” [Komi-Natsiks in the ranks of the battalion "Azov"] URL: // http://7x7-journal.ru/post/52671 (accessed 27.02.2015)
5. *Antifashisty Syktyvkara proshlis’ marshem [Anti-fascists marched in Syktyvkar]*. URL: // http://www.newtimes.ru/articles/detail/31570 (accessed 27.02.2015)
6. *Antifa Syktyvkar*. Marsh protiv fashizma [March against fascism]. 4.12.2010. URL: http://www.youtube.com/watch?v=eZZpryaqgQQ (accessed 27.02.2015)
7. *Anti-fascists, Syktyvkar*. 19.01.2012. Aktsiya v pamyat’ ob ubiistve S.Markelova i A.Baburinoi [An action in memory of S. Markelov and A. Baburina's murder]. URL: http:// www.youtube.com/watch? v=08hUWjnuy54 (accessed 27.02.2015)
8. *Antifashistskoe shestvie v Syktyvkare. Okolo sta molodykh Syktyvkartsev skazali fashizmu “Net!” [Anti-fascist* march in Syktyvkar. About a hundred young residents of Syktyvkar said fascism «No!»]. URL: https://avtonom.org/freenews/antifashistskoe-shestvie-v-syktyvkare (accessed 27.02.2015)
9. *Syktyvkar: v gorode proshla aktsiya pamyati Nikity Kalina [in the city* there took place the action in memory of Nikita Kalin]. URL:// https://avtonom.org/news/syktyvkar-v-gorode-proshla-aktsiya-pamyati-nikity-kalina (accessed 27.02.2015)
10. *Antifashisty Syktyvkara negromko pochtili pamyat’ zhertv neonatsizma [Anti-fascists* of Syktyvkar quietly honored memory of the victims of neonazism]. 19.01.2014. URL: http:// www.bnkomi.ru/data/news/25299/(accessed 27.02.2015)
11. *Paroeva A.* V den’ pamyati ubitykh Stanislava Markelova i Anastasii Baburovoi v Syktyvkare smotreli film “Lyubite menya, pozhaluista” In day of memory of the killed Stanislav Markelov and Anastasia Baburova we watched the movie «You Love Me, Please» in Syktyvkar]. URL: http:// 7x7-journal .ru/item/52951 (accessed 27.02.2015)
12. *Dosye na fashistov [File on fascists]*. URL: http:// http://sykt1945.noblogs.org/(accessed 27.02.2015)
13. *Ponozhovshina v tsentre goroda [Knifing in the downtown]*. URL: http://tvoyaparallel.live journal.com/ 7214. html (accessed 27.02.2015)
14. *Natsionalist posazhen pod domashnii arrest za ranenie antifashista [The nationalist is put under* house arrest for a wounded anti-fascist] // Molodezh Severa [Youth of the North] No. 29 (7566). July 27, 2012. URL: http://mskomi . ru/n/article.php/16843 (accessed 27.02.2015)
15. *Zyryanskie anarkho-ekologi nachali s demonstratsii odnogo iz svoikh chlenov [The Zyrian* anarcho-ecologists began with demonstration of one of the members]. URL: http://7x7-journal.ru/item/11359 (accessed 27.02. 2015)
16. *Polyakov M.* Aktivist dvizheniya “Eda vmesto bomb” Oleg Karmanov: “Nikakoi politiki – my prosto razdaem edu” [Aktivist of the movement «Food instead of Bombs» Oleg Karmanov: «No policy – we simply distribute food»] // Molodezh Severa [Youth of the North]. No. 13 (7550). April 6, 2012. URL: http://www .mskomi.ru/n/article.php/15776 (accessed 27.02.2015)
17. *Peli, perepevali, podpevali... V Syktyvkare proshel pank-konzert “Zlost’ i nenavist v Komi-2” [Sang, rehashed, sang along. ...* A punk concert «Rage and hatred in Komi - 2» was held in Syktyvkar]. URL: http://komikz.ru/news/culture/? id=6626 (accessed 27.02.2015)

Статья поступила в редакцию 10.09.2015

Известия Коми научного центра УрО РАН
№ 1(25). Сыктывкар, 2016.

ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 630*611

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА В РЕСПУБЛИКЕ КОМИ

И.В. ХАРИОНОВСКАЯ

Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
kharionovskaya@iespn.komisc.ru

В статье рассмотрены содержание и особенности развития региональной инфраструктуры лесного хозяйства, исходя из ее системного и полифункционального характера функционирования. На основе предложенных показателей дана сравнительная и интегрированная оценка развития инфраструктуры лесного хозяйства по районам Республики Коми. По результатам оценки выделены группы районов с различным уровнем развития инфраструктуры. Определены основные проблемы и возможные направления развития инфраструктуры лесного хозяйства Республики Коми.

Ключевые слова: **транспортное обеспечение, охрана лесов от пожаров, оценка развития инфраструктуры**

I.V.KHARIONOVSKAYA. FEATURES OF FORESTRY INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT IN THE KOMI REPUBLIC

The content of the regional forestry infrastructure in terms of its system and multifunctional character of operation is defined. The fixed assets and fire security in the republic were characterized in general. Forestry infrastructure of each of the regions of the Komi Republic is characterized by three parameters: length of roads per 1 thousand ha, the area of forest per a forestry worker, the number of private forestry organizations. In accordance with the system of indicators an integrated assessment of the level of forestry infrastructure development is implemented in regions. The main problems related to the further development of forestry infrastructure are defined, that include: high level of depreciation of fixed assets; low level of development of the transport network; very low level of staffing of forestry enterprises; insufficient technical equipment of fire works, in particular information technology; low level of contractual forms of forestry activities. The established significant relationship between indicators of the level of use of the prescribed cut and the overall coefficient of infrastructure development allowed to conclude that all areas of industrial logging have prospects of forest management through the development of forest infrastructure. Recommended activities include: updating and improving the efficiency of fixed assets; development of a network of forest and logging roads; optimization of headcount standards; introduction of modern information and analytical systems; development of non-state forms of organization of forestry.

Keywords: **transport service, protection of forests from fire, assessment of infrastructure development**

Лесное хозяйство является ресурсообеспечивающей отраслью лесного комплекса, поэтому его состояние и развитие имеют стратегическое значение для Республики Коми как многолесного региона. Несмотря на это, уровень развития «низовых» отраслей лесной индустрии – лесного хозяйства и лесозаготовки – значительно отстает от отраслей лесопереработки. Низкий уровень современного экономического развития лесного хозяйства обусловлен совокупностью факторов, среди которых выделяются полное искоренение товарности лесного хозяйства в советское время, а также нетипично длительный для рыночных условий период выращивания лесной продукции. На этом фоне происходил процесс формирования лесной инфраструктуры, также отразивший в себе, с одной стороны, особенности реализуемой экономической политики, а с другой – специфику функционирования лесного хозяйства как отрасли.

В современном понимании лесное хозяйство как отрасль появилось после создания централизованно планируемой экономики и отраслевой систе-

мы управления экономикой. Результатом реформ стал организационный и технологический разрыв единого процесса использования и воспроизводства леса. Сметно-бюджетное финансирование лишило лесное хозяйство экономических стимулов для развития, в основе которых лежит получение лесного дохода [1].

Последняя предпринятая попытка реформирования лесного хозяйства не привела к повышению эффективности его функционирования. После принятия в 2006 г. Лесного кодекса лесхозы прекратили свою деятельность в качестве производственных предприятий, осуществляющих лесохозяйственные мероприятия, а обязанности по ведению лесного хозяйства были возложены на арендаторов лесных участков и государственные и частные предпринимательские структуры. К этому времени лесхозы имели квалифицированный персонал, основные и оборотные средства, а также инфраструктуру, обеспечивающие выполнение лесовосстановительных, противопожарных и других работ. Переформирование управленческой структуры отрицательно сказалось на состоянии производственной базы лесного хозяйства, которая резко сократилась.

На современном этапе “уровень развития” лесной инфраструктуры является не только производной общего состояния лесопользования, но и основным фактором развития всего лесного комплекса. Недостатки в функционировании лесной инфраструктуры сдерживают процессы интенсификации использования лесов в промышленно развитых районах и освоения неиспользуемых лесных ресурсов.

Выявление основных тенденций и определение возможных направлений развития инфраструктуры лесного хозяйства Республики Коми будут способствовать развитию регионального лесопользования.

В известных отечественных исследовательских работах инфраструктура лесного хозяйства как отдельный объект не рассматривалась, однако анализировалась как составная часть лесной инфраструктуры сельских территорий [2, 3], а также инфраструктуры лесопромышленного комплекса региона [4, 5]. При этом во всех исследованиях создание и развитие лесной инфраструктуры было признано одним из решающих факторов обеспечения эффективного лесопользования.

Определение и содержание инфраструктуры лесного хозяйства исходит из первоначального значения понятия инфраструктуры как основания, базиса какой-либо деятельности или системы [6]. Общепринятыми характеристиками функционирования производственной инфраструктуры, к которой принадлежит и лесная, являются внешнее обеспечение процесса производства по отношению к каждому самостоятельному производственному процессу, а также постоянство и взаимосвязь выполняемых функций [7].

Следует отметить, что в последние годы инфраструктура все чаще рассматривается как «организатор пространства» – экономического и социального, а также как потенциал, резерв развития территории [8].

Автор «понимает» инфраструктуру лесного хозяйства как совокупность объектов и видов деятельности, используемых в процессе обслуживания лесного хозяйства и создающих его материальную, техническую, технологическую и организационную основу.

К основным инфраструктурным объектам лесного хозяйства следует отнести: здания, сооружения и транспортные средства; рабочие и силовые машины, оборудование. По степени участия в производстве выделяют производственные и непроизводственные объекты, по отраслевой принадлежности – промышленно-производственные и объекты вспомогательных отраслей. Особым объектом инфраструктуры является сам лесной фонд, выполняющий ресурсовосстановительную и ресурсообеспечивающую функции.

Основные виды деятельности, обслуживающих лесное хозяйство, включают:

– производственное обслуживание (противопожарные и лесозащитные работы; заготовка, переработка и хранение древесной и недревесной продукции; заготовка и хранение семян; выращивание и подготовка посадочного материала для лесовосстановления; ремонтно-технические работы; материально-техническое обслуживание);

– транспортное обслуживание;

– институционально-организационное обслуживание (комплекс управленческих и организационных функций);

– информационное обслуживание (передача информации с использованием средств коммуникации);

– социальное обслуживание (медицинское обслуживание, повышение квалификации работников, культурно-бытовое и рекреационное обслуживание).

Характеристика состояния и проблемы развития инфраструктуры лесного хозяйства Республики Коми

Трудностью сбора первичных данных для исследования является то, что до сих пор инфраструктура лесного хозяйства не является единой учетной единицей статистики. Отсутствует система показателей для оценки уровня ее развития и эффективности. В этих условиях сделана попытка выявления основных тенденций развития инфраструктуры лесного хозяйства на основе данных ежегодной отраслевой отчетности Комитета лесов Республики Коми. Были рассмотрены транспортное, производственно-организационное, противопожарное и институциональное обслуживание лесного хозяйства, а также состояние соответствующих этим видам деятельности объектов инфраструктуры.

Транспортная обеспеченность лесного хозяйства

Главным фактором для сырьевого обеспечения лесного производства является наличие транспортной сети. Распределение районов и городских округов по показателю протяженности лесных дорог в километрах на 1 тыс. га показано в табл. 1. Следует признать, что для полноценного развития лесного хозяйства обеспеченность лесными дорогами на 1 тыс. га во всех муниципальных образованиях является недостаточной. Для освоения расчётной лесосеки по рубке лесных насаждений, независимо от породного состава спелых древостоев, в эксплуатационных лесах необходимо иметь не менее 7 км всех видов лесных дорог на 1 тыс. га, а в защитных лесах – 11–14 км. Не менее 30–35% этих дорог должны иметь твердое покрытие, т.е. обеспечивать их гарантированное круглогодовое использование. По плотности дорог круглогодичного использования Республика Коми находится на одном из последних мест в Российской Федерации, расстояние между населенными пунктами превосходит среднероссийские показатели более чем в три раза [9]. В Республике Коми доля дорог с твердым покрытием в среднем составляет 6% [10].

Таблица 1

Протяженность лесных дорог, км/1 тыс. га

Муниципальный район, городской округ	Протяженность лесных дорог на 1 тыс. га
Койгородский	4,5
Усть-Вымский	4,5
Сыктывдинский	4,0
Прилузский	3,7
Корткеросский	3,1
Усть-Куломский	2,6
Сосногорск	2,0
Ухта	1,9
Троицко-Печорский	1,5
Княжпогостский	1,5
Вуктыл	1,5
Сыктывкар	1,5
Удорский	1,3
Сысольский	1,1
Усинск	0,9
Печора	0,7
Ижемский	0,3
Усть-Цилемский	0,3

Для проведения рубок ухода за лесами дорог требуется еще больше, чем для проведения сплошных рубок насаждений. Для полного охвата насаждений лесохозяйственными мероприятиями необходимо иметь 10–15 км дорог на 1тыс. га лесного фонда. Поэтому в перспективе необходимо проводить работы по капитальному ремонту имеющихся грунтовых дорог и по строительству новых дорог лесохозяйственного и противопожарного назначения, а также лесовозных дорог с твердым покрытием.

Производственно-организационное обслуживание лесного хозяйства

Для характеристики организационного обеспечения лесохозяйственной деятельности районов использовался показатель, позволяющий определить нагрузку на одного работника лесного хозяйства. Он представляет площадь лесного фонда, которая приходится на одного работника лесного хозяйства. С учетом площади лесничеств и численности работников лесохозяйственного аппарата, на одного работника в среднем по республике приходится 40653 га. По муниципалитетам этот показатель изменяется от 10 тыс. га (Сыктывдинский р-н) до 170 тыс. (Усть-Цилемский р-н).

Как показывает опыт европейских стран и опыт охраны многих российских заповедников, соотношение в пределах до 500 га позволяет обеспечивать эффективную охрану и управление лесами. Очевидно, что в Республике Коми при имеющейся численности лесохозяйственного аппарата, которая в наиболее обеспеченных районах в 20–40 раз меньше оптимальной, эффективное управление лесами является затруднительным.

Еще одной особенностью инфраструктуры лесного хозяйства республики является предельно высокий уровень износа основных средств и оборудования. В оперативном управлении Комитета лесов и государственных учреждений находятся административные здания, конторы – помещения участковых лесничеств, автотранспорт, лесохозяйственная техника и иное оборудование, обеспечивающее их работу. Имущество располагается в 17 муниципальных районах Республики Коми, в том числе в удаленных населенных пунктах. По последним имеющимся данным, на 1 января 2011 г. стоимость имущества, находящегося в оперативном управлении Комитета лесов Республики Коми и его государственных учреждений, составляла 498,5 млн. руб., начисленная амортизация – 400,4 млн., или 80% от балансовой стоимости.

Противопожарное обеспечение лесного хозяйства

Особое место в производственном обслуживании лесохозяйственной деятельности занимают противопожарные мероприятия. Ежегодно до начала пожароопасного сезона лесничества совместно с оперативными отделениями Сыктывкарской авиабазы осуществляют разделение территории лесного фонда на зоны космического, авиационного и наземного мониторинга. Главным критерием при определении зоны наземного мониторинга является расчетная возможность доставки средств пожаротушения и людей к месту пожара в течение 3 ч. К зоне наземного мониторинга относятся густонаселенные территории с развитой дорожной сетью, на которых применение авиации нецелесообразно. Обнаружение и тушение лесных пожаров на таких территориях должно производиться наземными способами. Однако площадь зоны наземного мониторинга в последние годы составляет всего 2,5 тыс. га, или 0,7 % от общей площади мониторинга пожарной опасности.

Вся территория лесного фонда республики практически разделена на зону авиационного мониторинга (82%) и зону космического мониторинга первого уровня (18%). В зоне авиационного мониторинга обнаружение и тушение лесных пожаров осуществляется как авиационными силами и средствами, так и, в случае необходимости, наземными силами и средствами. По мере удорожания аренды воздушных судов и снижения частоты полетов происходит постоянное уменьшение процента обнаружения пожаров авиалесоохраной. По этой причине всё чаще площадь пожаров в момент обнаружения достигает десятков гектаров. Тушение таких пожаров сопряжено с множеством трудностей: одномоментная потребность сравнительно большого количества людей и средств пожаротушения, дефицит авиатоплива, недостаток вертолетов и многое другое. В данных условиях все более актуальным становится развитие использования современных средств космического наблюдения за лесным фондом.

На основании изученных данных можно сделать вывод, что недоукомплектованность лесничеств техническими средствами, а также персоналом и лесниками является одной из причин ухудшения эффективности охраны лесов от пожаров и лесонарушений.

Развитие контрактной формы организации лесохозяйственной деятельности

Переход в 2008 г. к договорной основе финансирования обусловил развитие новых форм организации лесохозяйственной деятельности. Во всех районах республики появились самостоятельные коммерческие организации, специализирующиеся на лесохозяйственной деятельности, основной формой которых стали общества с ограниченной ответственностью (ООО). Лесопромышленные предприятия, занимающиеся лесозаготовками, также начали заключать с государственными органами управления лесным хозяйством контракты на выполнение лесохозяйственных работ. На основе данных о количестве и видах деятельности производственных организаций в Республике Коми на 2014 г. было произведено распределение по районам количества негосударственных лесохозяйственных организаций и объема их контрактных работ (рис. 1).

Средняя доля работ по контрактам в общем объеме финансируемых государством лесохозяйственных работ по республике составила 21%. Из рис. 1 видно, что объем работ по контракту напрямую не связан с количеством созданных негосударственных предприятий, занимающихся лесохозяйственной деятельностью. Неравномерность распределения объемов контрактных работ и количества негосударственных лесохозяйственных предприятий косвенно свидетельствует о недостаточном развитии данной формы организации лесохозяйственной деятельности. С другой стороны, большое количество действующих лесных предприятий в наиболее ресурсообеспеченных районах – Койгородском, Княжпогостском, Удорском, Корткеросском, Сыктывдинском – показывает, что такие предприятия рассчитывают на перспективы развития контрактной формы лесохозяйственной деятельности в данных районах.

Оценка уровня развития инфраструктуры по районам

Для оценки уровня развития инфраструктуры по районам в процессе исследования использовано три показателя: протяженность дорог на 1 тыс. га;

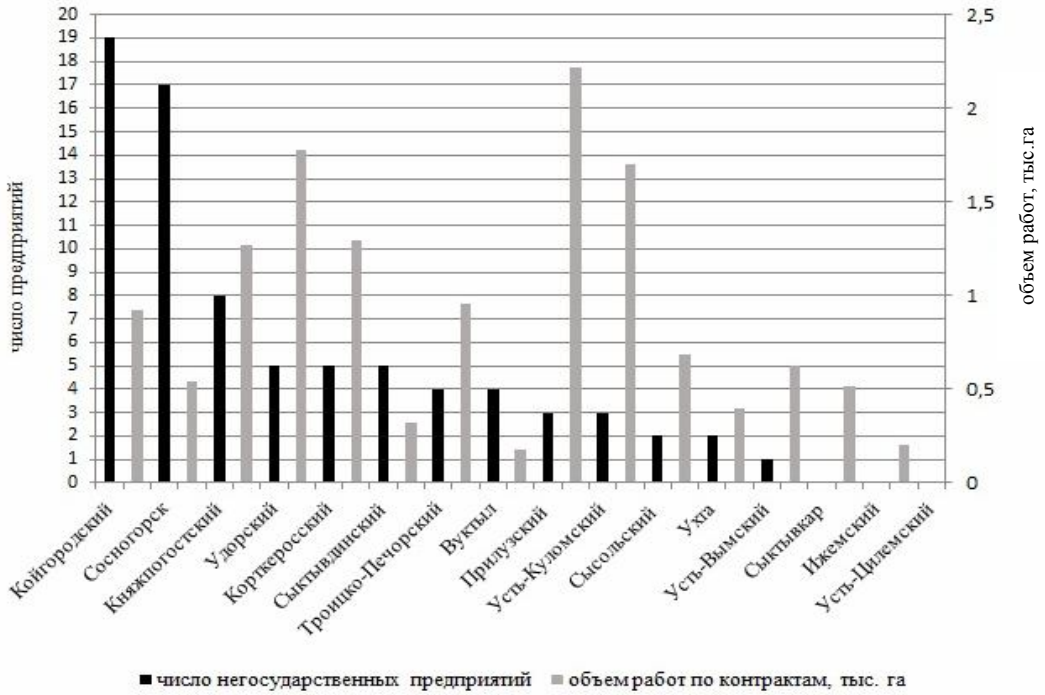


Рис. 1. Контрактная лесохозяйственная деятельность.

площадь лесного фонда на одного работника лесного хозяйства; количество негосударственных лесохозяйственных предприятий. По каждому показателю был определен ранг, рассчитанный как доля от его максимального (для показателей протяженности дорог на 1 тыс. га и количества негосударственных лесохозяйственных предприятий) или минимального (для показателя площади лесного фонда на одного работника лесного хозяйства) значения, который характеризует положение района в распределении значений показателя в общем ряду. На основе значений рангов по трем показателям для каждого района посредством среднего арифметического определен коэффициент развития инфраструктуры (табл. 2). Была произведена группировка районов по уровню развития инфраструктуры – на группы с высоким, средним и низким уровнем инфраструктуры лесного хозяйства (рис. 2).

Таблица 2

Коэффициент развития инфраструктуры лесного хозяйства

Муниципальные районы и городские округа	Коэффициент	Уровень инфраструктуры
Койгородский	0,75	Высокий
Усть-Вымский	0,51	
Сыктывдинский	0,49	
Сосногорский	0,48	
Сыктывкарский	0,44	
Прилузский	0,4	
Корткеросский	0,39	Средний
Усть-Куломский	0,31	
Княжпогостский	0,28	
Сысольский	0,22	
Ухтинский	0,22	
Троицко-Печорский	0,22	
Удорский	0,22	Низкий
Вуктыл	0,21	
Усинск	0,08	
Печора	0,07	
Ижемский	0,05	
Усть-Цилемский	0,03	

С помощью корреляционного анализа изучена взаимосвязь показателей развития инфраструктуры между собой, а также с уровнем использования расчетной лесосеки по районам. Установлена высокая взаимозависимость между показателями обеспеченности лесными дорогами и площадью лесного фонда на одного работника лесного хозяйства. Также определена частичная взаимосвязь данных показателей с количеством лесных предприятий и объемом контрактных работ.

Влияние показателей инфраструктуры лесного хозяйства на уровень территориального экономического развития оценено на основе показателей уровня использования расчетной лесосеки и общего коэффициента развития инфраструктуры для каждого района. Была установлена высокая степень взаимосвязи данных показателей, коэффициент корреляции составил 0,6.

Изучение состояния транспортного, организационного и производственного обслуживания лесного хозяйства позволило выделить следующие основные проблемы:

– высокий уровень износа основных средств материально-технического обеспечения, снижающий эффективность ведения лесного хозяйства;

– низкий уровень развития транспортной сети при наличии резервов развития лесного хозяйства и лесопользования;

– очень низкий уровень обеспеченности управленческо-производственным персоналом лесохозяйственных предприятий, не обеспечивающий эффективное управление лесами;

– недостаточное техническое оснащение противопожарных работ, препятствующее своевременному обнаружению и ликвидации лесных пожаров, в частности, связанное с неразвитостью современного информационного обеспечения;

– низкий уровень развития контрактных форм организации лесохозяйственной деятельности.

Основные направления развития инфраструктуры лесного хозяйства Республики Коми

В 2012 г. Постановлением Правительства Республики Коми от 28 сентября 2012 г. № 415 была утверждена государственная программа Республики Коми «Развитие лесного хозяйства» (далее – Программа), со сроком реализации 2013–2020 гг. В ее составе сформированы три подпрограммы: «Устойчивое управление лесами», «Развитие перспективных технологий в лесном хозяйстве», «Обеспечение реализации государственной программы».

Развитие объектов инфраструктуры лесного хозяйства было предусмотрено подпрограммой «Развитие перспективных технологий в лесном хозяйстве», целью которой является повышение экономического потенциала лесов и лесного хозяйства. Для ее достижения поставлены задачи: модернизация и внедрение инноваций в сфере лесного хозяйства; стимулирование инвестиционной деятельности в лесном секторе; создание единого информационно-коммуникационного пространства в сфере лесоуправления.

Предусматривалась реализация следующих основных мероприятий:

– организация проведения лесоустройства на основе инновационных методик, разработка модельных решений для перехода на устойчивое лесоуправление;

– создание информационно-аналитических систем с использованием анализа данных дистанционного зондирования Земли;

– организация проведения аукционов купли-продажи лесных насаждений, работ по отпуску древесины гражданам;

– создание финансово-экономических условий для вовлечения в хозяйственный оборот новых лесных участков, увеличения объемов строительства и реконструкции лесных дорог;

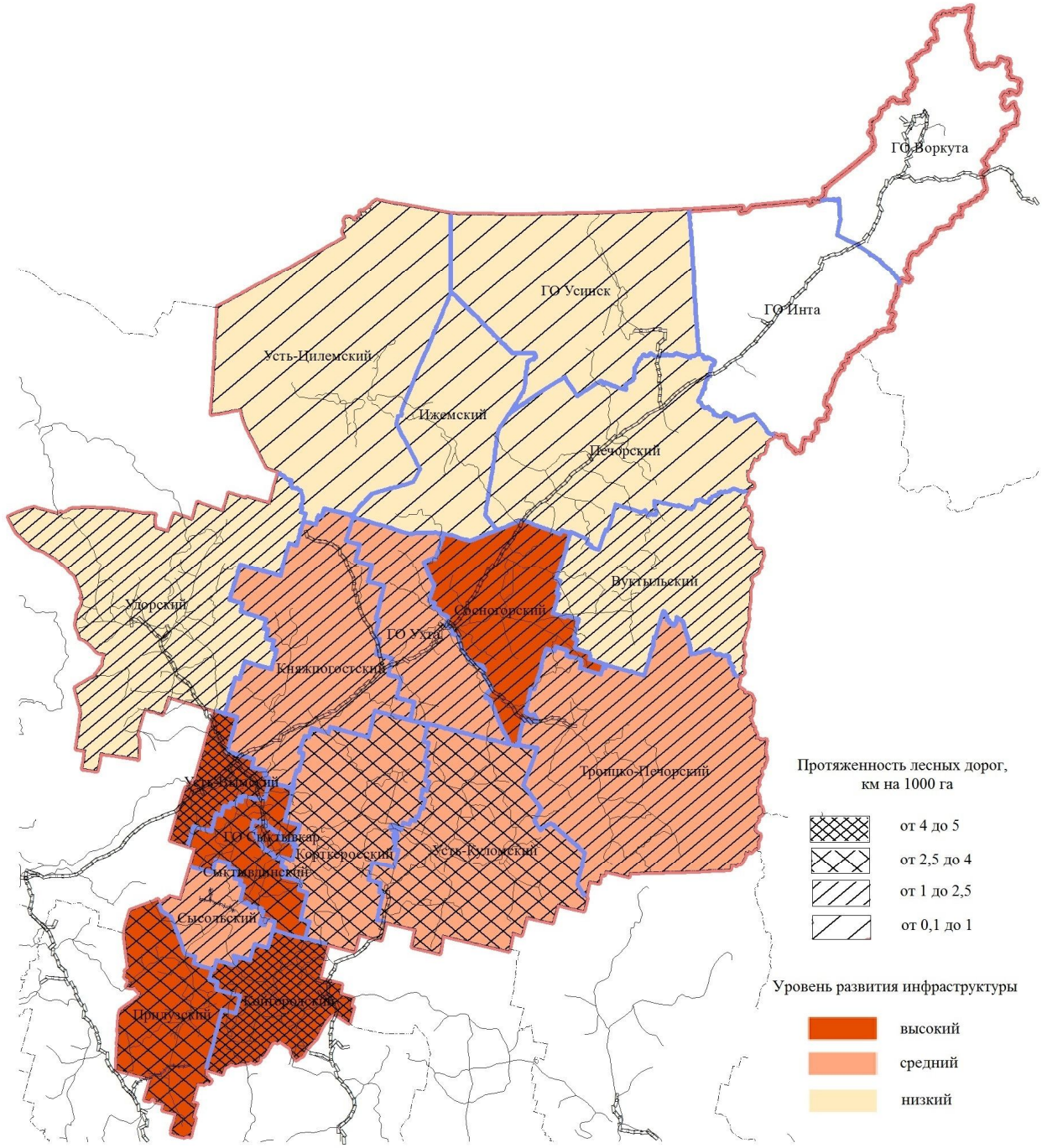


Рис. 2. Распределение районов по уровню развития лесной инфраструктуры.

– разработка и внедрение информационных систем по учету лесного фонда и использованию лесных участков, создание единой диспетчерской службы лесного хозяйства.

В процессе реализации программных мероприятий были получены определенные положительные результаты и выявлены новые проблемы и «узкие места».

В частности, достигнуто снижение уровня незаконных рубок, которое стало результатом улучшения материально-технической и транспортной базы лесной охраны и, соответственно, повышение качества работ по охране и защите лесов.

Благодаря предусмотренному Программой применению на практике средств малой авиации, а также увеличению численности работников парашютно-десантной службы и улучшению их материально-технического обеспечения, произошло повышение эффективности обнаружения и ликвидации лесных пожаров. За исследуемый период создано пять межрегиональных пожарно-химических станций в Корткеросском, Койгородском, Княжпогостском, Удорском и

Троицко-Печорском районах республики. На качество противопожарных работ положительно повлияло также использование регионального геоинформационного веб-сервиса «Лесные пожары».

Было достигнуто увеличение протяженности построенных за год лесных дорог с 20 км в 2012 г. до 54,6 км в 2014 г. С 20 до 94 % вырос удельный вес лесничеств, ведущих учет лесного фонда, государственный лесной реестр с применением единого программного обеспечения (исключение – Печоро-Илычское и Кажимское лесничества).

Не выполнены мероприятия по строительству Лесного селекционно-семеноводческого центра и подрядные работы государственного контракта по проведению лесоустройства на основе инновационных методик. Причиной снижения работ по строительству и реконструкции объектов лесного хозяйства стало недостаточное финансирование, а отсутствия инновационного лесоустройства – невыполнение обязательств по контракту подрядной организацией.

Изучение проблем функционирования инфраструктуры лесного хозяйства, а также опыта реализации мероприятий по развитию лесного хозяйства в Республике Коми позволило обозначить следующие направления развития:

1. Развитие сети лесных и лесовозных дорог, включающее строительство, ремонт и содержание дорог. Для формирования дорожной инфраструктуры наиболее проработанным планом развития обладает «Генеральная схема развития сети лесных дорог Республики Коми» [10].

2. Доведение до оптимальных норм численности управленческо-производственного состава лесохозяйственных предприятий.

3. Обновление устаревшей материально-технической базы лесного хозяйства и повышение эффективности ее использования за счет совершенствования организации лесохозяйственного производства. Учитывая большой износ и особенности размещения, обновление и повышение эффективности использования имущества являются первоочередными задачами управления имуществом лесного хозяйства.

4. Совершенствование системы охраны и защиты лесов посредством повышения технической оснащенности, а также внедрения современных информационно-аналитических систем в процесс управления лесным хозяйством.

5. Развитие негосударственных форм организации лесохозяйственного производства на контрактной основе.

Развитие в соответствии с данными направлениями будет способствовать совершенствованию инфраструктуры лесного хозяйства всех изученных районов и в будущем создаст благоприятные условия для эффективного функционирования региональной экономики.

Литература

1. *Петров А.П.* Лесхоз в системе государственного и хозяйственного управления лесами: из прошлого – в будущее // Лесное хозяйство. 2015. № 3. С. 10–17.
2. *Войтюк М.М.* Стратегия развития лесной инфраструктуры сельских территорий региона: Автореферат дис. докт. экон. наук. М.: Московский государственный университет леса, 2011. 41 с.
3. *Гибеж А.А.* Направления эффективной трансформации базовых секторов лесохозяйственных районов (пример Республики Коми) // Север: проблемы периферийных территорий/ Отв. ред. В.Н.Лаженцев. Сыктывкар, 2007. С. 248–281 (Научный совет РАН по вопросам регионального развития; Коми НЦ УрО РАН).
4. *Гибеж А.А.* Типичные проблемы инновационного развития лесопромышленного комплекса // Север: наука и перспективы инновационного развития / Отв. ред. В.Н.Лаженцев. Сыктывкар, 2006. С. 344–347. (Научный совет РАН по вопросам регионального развития; Коми НЦ УрО РАН).
5. *Дмитриева Т.Е., Гибеж А.А.* Лесопромышленный комплекс республики: проблемы развития // Ежемесячный республиканский деловой журнал «Регион». 2009. № 3. С. 1–4.
6. *Online Etymology Dictionary* [Электронный ресурс]. URL: http://www.etymonline.com/index.php?allowed_in_frame=0&search= infrastructure&searchmode=or (Дата обращения 1.04.2015).
7. *Баскин А.* К вопросу о сущности и эффективности инфраструктуры (препринт доклада). М.: Научный совет АН СССР по экономическим проблемам научно-технического прогресса, 1978. 21 с.
8. *Котлярова С.Н.* Концептуальные подходы к оценке влияния инфраструктуры на региональное развитие // Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. 2012. №3 (31). Номер статьи: 3103. URL: http://eee-region.ru/article/3103 (Дата обращения 2.04.2015).
9. *Большаков Н.М., Жиделева В.В., Рабкин С.В.* Транспортная доступность периферийных сельских территорий: теория, методология, практика (на примере Республики Коми)// Известия Коми научного центра УрО РАН. 2015. № 2(22). С. 95–103.
10. *Лесной план* Республики Коми (утвержден распоряжением Главы Республики Коми № 246-р, 5 августа 2013 г.). Ч. 3.

References

1. *Petrov A.P.* Leshoz v sisteme gosudarstvennogo i hozjajstvennogo upravlenija lesami: iz proshlogo – v budushhee [Forestry in the state and economic forest management: from the past to the future] // Lesnoe hozjajstvo [Forestry]. 2015. № 3. P. 10-17.
2. *Voityuk M.M.* Strategija razvitija lesnoj infrastruktury sel'skih territorij regiona [The development strategy of forest infrastructure of rural regional territories]: Avtoreferat dis. dokt. jekon. Nauk [Abstract of Diss. Dr. Sci.

(Economy)]. Moscow: Moscow State Forestry Univ., 2011. 41 p.
3. *Gibezh A.A.* Napravlenija jeffektivnoj transformacii bazovyh sekto-rov lesohozjajstvennyh rajonov (primer Respubliki Komi) // Sever: problemy periferijnyh territorij [Directions of effective transformation in the basic sectors of the forestry areas] / Ed. V.N.Lazhentsev. Syktyvkar: Nauchnyj so-vet RAN po voprosam regional'nogo razvitija [RAS Sci. Council on regional development]; Komi Sci. Centre, Ural Br., RAS, 2007. P. 248-281.
4. *Gibezh A.A.* Tipichnye problemy innovacionnogo razvitija lesopro-myshlennogo kompleksa [Typical problems of innovative development in the timber industry] // Sever: nauka i perspektivy innovacionnogo razvitija [The North: science and prospects of innovative development] / Ed. V.N.Lazhentsev. Syktyvkar: Nauchnyj sovet RAN po voprosam regional'nogo razvitija {RAS Sci. Council on regional development]; Komi Sci. Centre, Ural Br., RAS, 2006. P. 344-347.
5. *Dmitrieva T.E., Gibezh A.A.* Lesopromyshlennyj kompleks respubliki: problemy razvitija [Timber industry complex of the republic: development issues] // Ezhemesjachnyj respublikanskij delovoj zhurnal «Region» [Monthly regional business magazine "Region"]. Syktyvkar, 2009. № 3. P. 1-4.
6. *Online Etymology Dictionary*. URL:http://www.etymonline.com/index. php?allowed_in_frame=0&search= infrastructure&searchmode=or (accessed 1.04. 2015).
7. *Baskin A.* K voprosu o sushhnosti i jeffektivnosti infrastruktury (preprint doklada) [To the problem on the nature and effectiveness of infrastructure (preprint of the report)]. Moscow: Nauchnyj sovet AN SSSR po jekonomicheskim proble-mam nauchno-tehnicheskogo progressa [USSR Ac. Sci. Council on economic problems of sci.-techn. progress], 1978. 21 p.
8. *Kotlyarova S.N.* Konceptual'nye podhody k ocenke vlijanija infra-struktury na regional'noe razvitie [Conceptual approaches to assessing the impact of infrastructure on regional development] // Regional'naja jekonomika i upravlenie: jelektronnyj nauchnyj zhurnal [Regional economy and management: electronic sci. J.]. 2012. №3 (31). Article No: 3103. URL: http://eee-region.ru/article/3103 (accessed 2.04.2015).
9. *Bol'shakov N.M., Zhideleva V.V., Rabkin S.V.* Transportnaja dostupnost' periferijnyh sel'skih territorij: teorija, metodologija, praktika (na primere Respubliki Komi) [Transport accessibility of peripheral rural areas: the theory, methodology, practice (on the example of the Republic of Komi)]// Proc. of the Komi Sci. Centre, Ural Br., RAS . 2015. № 2 (22). P. 95-103.
10. *Lesnoj plan* Respubliki Komi (utverzhden rasporjazheniem Glavy Respubliki Komi № 246-r, 5 avgusta 2013 g.). Chast' 3 [Forest plan of the Komi Republic (approved by the Head of the Komi Republic № 246-p, August 5, 2013). Part 3].

Статья поступила в редакцию 05.10.2015

Известия Коми научного центра УрО РАН
№ 1(25). Сыктывкар, 2016.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УКД 577.125: 618.4 (470/13)

ВИТАМИНЫ И ФЕРМЕНТЫ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ В КРОВИ У ЖЕНЩИН НА СЕВЕРЕ

А.В. КОЗЛОВСКАЯ*, Н.Н. ПОТОЛИЦЫНА**, В.Д. ШАДРИНА**, Е.Р. БОЙКО**

**Коми филиал Кировской государственной медицинской академии, г. Сыктывкар*
***Институт физиологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар*

Исследование витаминной обеспеченности и уровня активности ферментов антиоксидантной системы в крови у беременных и небеременных женщин, проживающих на европейском Севере России, выявило дефицит рибофлавина и токоферола. Особую группу с пониженным витаминным статусом составили жительницы приполярных территорий и беременные женщины. Кроме того, перед родами у беременных г.Воркуты выявлена более высокая активность глутатионпероксидазы и супероксиддисмутазы по сравнению с беременными г.Сыктывкара. Скорее всего, это отражает социальные особенности и активизацию процессов свободно-радикального окисления в октябре-декабре у северян.

Ключевые слова: **рибофлавин, токоферол, ферменты-антиоксиданты, женщины, Север**

A.V. KOZLOVSKAYA, N.N. POTOLITSINA, V.D. SHADRINA, E.R. BOJKO.

THE VITAMINS AND ENZYMES OF THE ANTIOXIDANT SYSTEM IN BLOOD OF WOMEN IN THE NORTH

The research of vitamins supply and the level of activity of enzymes of the antioxidant system in blood of pregnant and non-pregnant women living in the European North of Russia, has revealed deficiency of riboflavin and tocopherol. Women - inhabitants of subpolar territories and pregnant women made a special group with lowered vitamin status. Besides, in pregnant women of Vorkuta before delivery higher activity of glutathione peroxidase and superoxide dismutase in comparison with pregnant women of Syktyvkar is revealed. Most likely, it reflects social characteristics and activation of free radical oxidation processes in October-December in northerners.

Keywords: **riboflavin, tocopherol, enzymes-antioxidants, women, North**

Введение

Влияние условий Севера на специфические функции женского организма проявляется на всех этапах онтогенеза в виде более позднего полового созревания, нейровегетативных расстройств перед началом менструации, более тяжелого течения климактерического периода, особенно зимой и в начале весны [1]. Органы репродуктивной системы – это интенсивно метаболизирующие ткани с высоким уровнем активных форм кислорода [2]. Последние, являясь сигнальными молекулами, участвуют в многочисленных физиологических процессах от созревания ооцита до родов. Нарушение баланса между прооксидантами и оксидантами приводит к окислительному стрессу, который способствует развитию патологии [3].

Имеются сведения об увеличении встречаемости акушерско-соматической патологии с продвижением на Север [4, 5], но окончательная оценка ряда патологических процессов в системе мать–плацента–плод пока преждевременна. Известно о характерной особенности биохимической адаптации человека к условиям Севера, которая сопровождается переключением углеводного обмена на жировой [6], усилением процессов перекисного окисления липидов и повышением уровня свободных радикалов; процессы нейтрализации последних катализируются антиоксидантными ферментами. В литературе отмечена значительная распространенность гиповитаминозов, в частности, дефицит витаминов-антиоксидантов Е и B_2, среди различных контингентов населения [7].

Целью настоящего исследования является оценка витаминной обеспеченности и уровня активности ферментов антиоксидантной системы в крови у женщин на европейском Севере России.

Материалы и методы

Обследование молодых, практически здоровых женщин, на территории Республики Коми, на основе их добровольного согласия, проводили в октябре-декабре. Об обеспеченности организма рибофлавином судили по приросту активности эритроцитарного рибофлавин - зависимого фермента – глутатионредуктазы [7]. Концентрацию в сыворотке крови токоферола определяли по интенсивности флуоресценции липидного экстракта сыворотки крови [7]. Оценку активности супероксиддисмутазы (СОД-1) проводили по методу [8], основанному на ингибировании реакции восстановления нитротетразолия синего в формазане супероксидными анион-радикалами кислорода. Активность фермента глутатионпероксидазы определяли по убыли восстановленного глутатиона при его окислении гидроперекисью третичного бутила [9].

Результаты были статистически обработаны при помощи программы «Биостат» (версия 4.03) для непараметрических выборок. Достоверными признаны различия при уровне значимости $p<0,05$. Исследование одобрено независимым локальным комитетом по биоэтике Института физиологии Коми НЦ УрО РАН.

Результаты и обсуждение

Предыдущие исследования витаминного обеспечения у жителей европейского Севера показали наиболее неблагоприятную ситуацию по содержанию витаминов в организме в осенний период, когда все обследованные имели гиповитаминоз [10, 11]. Возможной причиной этого являются активация процессов свободно-радикального окисления липидов в организме и существенный прирост в крови кротоновых альдегидов, диеновых конъюгатов и других продуктов при появлении первых отрицательных температур окружающей среды.

В настоящем исследовании показано (табл. 1), что средняя обеспеченность токоферолом и рибофлавином в октябре-декабре во всех группах обследованных женщин также была ниже общепринятых нормативов [7]. Доля лиц с гиповитаминозами среди них возрастала по мере продвижения на Север, при этом у беременных она была выше на всех территориях. Максимальные показатели гиповитаминозов зарегистрированы у беременных в г.Воркуте – 83,5% (витамин Е) и 56,5% (витамин $B_{2)}$ от общего числа обследованных, а минимальные – у небеременных женщин в Усть-Куломском р-не (с.Помоздино) – 33,1 и 15,4%. Активность супероксиддисмутазы и глутатионпероксидазы у беременных женщин г. Воркуты (табл.2) была выше по сравнению с аналогичным показателем в г. Сыктывкаре ($p<0,05$ и $p=0,05$ соответственно).

Характерной чертой сезонных ритмов процессов перекисного окисления липидов на Севере является их активация в ноябре и марте-апреле [6]. Следует отметить, что по мере продвижения на Север сроки и интенсивность процессов перекисного окисления липидов могут существенно смещаться в связи с изменением жесткости воздействия природно-климатических раздражителей. Известно, что беременность зачастую сопровождается витамин-дефицитными состояниями, в том числе и дефицитом витаминов-антиоксидантов [12]. Степень дефицита рибофлавина во время беременности у неблагополучных контингентов имеет тенденцию к нарастанию и достигает максимальных значений гиповитаминоза к родам [13]. В условиях Севера имеет место комбинация воздействия на организм роженицы как собственно факторов беременности, так и влияние неизбегаемых природных факторов, и по мере продвижения на Север степень воздействия на антиоксидантную систему возрастает.

Наше исследование подтверждает сообщения о том, что активность ключевого фермента системы антиоксидантов – глутатионпероксидазы – у беременных и небеременных женщин заметно различается [14]. Однако, нами выявлено, что в высоких широтах женщины оказываются в более неблагоприятной ситуации по сравнению с жительницами умеренных широт. В связи с этим авторы рекомендуют учитывать этот вывод при наблюдении за беременными и подготовке их к родам.

В целом, низкая концентрация жирорастворимого токоферола (относительно общепринятой нормы) в сыворотке обследованных женщин наряду с температурным фактором и потреблением кислорода в значительной степени могла быть связана и с алиментарным фактором (потребление растительных масел, орехов, семечек, цельного зерна, шпината и брокколи). Обеспеченность женщин водорастворимым антиоксидантом – рибофлавином

Таблица 1

Витаминная обеспеченность у женщин

Территория		г.Воркута (67,5°с.ш.)		с.Кослан (63,3°с.ш.) Удорский район		с.Помоздино (62,1°с.ш.) Усть-Куломский район		P
Группа женщин		Беременные	Пришедшие на ежегодный мед.осмотр	Беременные	Пришедшие на ежегодный мед.осмотр	Беременные	Пришедшие на ежегодный мед.осмотр	
Витамины	N	26	10	23	25	10	31	
Токоферол, мкг/мл	M ± SD	6,1 ± 1,6	6,4 ± 2,2	8,55 ± 2,3	9,5 ±5,55	10,4 ± 18,4	13,2 ± 0,7	
	Доля лиц (%) с гипо-витаминозом	83,5	77,8	51,4	50,0	53,0	33,1	<0,05
Рибофлавин, усл.ед.	M ±SD	1,30 ± 0,29	1,17 ± 0,15	1,29 ± 0,43	1,13 ± 0,2	1,31 ± 0,43	1,07 ± 0,12	
	Доля лиц (%) с гипо-витаминозом	56,5	44,4	33,3	29,2	37,5	15,4	<0,05

Примечание: достоверность изменений рассчитана для г.Воркуты и с.Помоздино.

Таблица 2

Активность антиоксидантных ферментов у беременных женщин

Территория	г.Воркута (67,5°с.ш.)	г.Сыктывкар (61,7°с.ш.)	P
Ферменты	N=13	N=20	
Супероксиддисмутаза, % активности торможения восстановления нитротетразолия	19,9 ± 5,9	25,2 ± 4,9	<0,05
Глутатионпероксидаза, мкмоль/мин на 1г гемоглобина	120,3 ± 32,5	66,2 ± 24,5	=0,05
Глутатионредуктаза, моль превращения НАДФ·Н / сек на 1 моль гемоглобина	3,0 ± 1,1	2,2 ± 0,9	>0,05

более благоприятна. Основными источниками рибофлавина в их рационе могли служить молоко, яйца, гречневая крупа, картофель, хлеб грубого помола, потребление которых, скорее всего, было достаточным. Важно отметить, что рибофлавин является коферментом глутатионредуктазы и способствует снижению наработки диеновых конъюгатов и других продуктов перекисного окисления липидов. Оценивая имеющиеся материалы по группам наблюдения, можно констатировать, что выявленный гиповитаминоз по рибофлавину у обследованных женщин отражает не только пищевую составляющую, но и участие витамина B_2 в реакциях свободно-радикального окисления.

Заключение

Таким образом, наше исследование выявило дефицит рибофлавина и токоферола у обследованных женщин, что, скорее всего, зависит от социальных особенностей и активизации процессов свободно-радикального окисления в октябре-декабре. Жительницы приполярных территорий и беременные имеют более низкую обеспеченность витаминами. Кроме того, перед родами у беременных г.Воркуты выявлена более высокая активность глутатионпероксидазы и супероксиддисмутазы по сравнению с беременными г.Сыктывкара.

Литература

1. *Состояние репродуктивного здоровья* женщин севера европейской территории России / И.А.Рогозин, Г.П.Лисица, Н.Д.Трещева, З.Д.Губкина, А.Н.Баранов // Экология человека. 1994. № 1. С. 121–124.
2. *Agarwal A., Gupta S., Sharma R.K.* Role of oxidative stress in female reproduction // Reproductive Biology and Endocrinology. 2005. Vol.3. P. 3–28.
3. *Burton GJ, Jauniaux E.* Oxidative stress // Best. Pract. Res. Clin. Obstet. Gynaecol. 2011. Vol.25. P. 287–299.
4. *Козловская А.В., Бойко Е.Р.* Сезонные особенности некоторых заболеваний у беременных и патологии родовой деятельности в Республике Коми // Вятский медицинский вестник. 2004. №2–4. С.26–28.
5. *Протопопова Н.В., Петухов А.А.* Сравнительная характеристика течения беременности и исхода родов у жительниц севера и юга Иркутской области // Сиб. мед. журн. 2008. № 4. С. 88–92.
6. *Бойко Е.Р.* Некоторые закономерности метаболических перестроек у человека на Крайнем Севере // Физиология человека. 1996. Т.22. №4. С.122–129.
7. *Методы оценки* витаминной обеспеченности населения: Учебно-методическое пособие / В.Б.Спиричев, В.М.Коденцова, О.А.Вржесинская, Н.А.Бекетова, Л.А.Харитончик, И.А.Алексеева, А.А.Сокольников, В.В.Рисник. М., 2001. 68 с.
8. *Picker S.D., Fridovich I.* On the mechanism of production of superoxide radical by reaction mixtures containing NADP, phenazine methosulfate, and nitroblue tetrazolium // Arch. Biochem. Biophys. 1984. Vol.228. P.155–158.
9. *Моин В.М.* Простой и специфический метод определения активности глутатионпероксидазы в эритроцитах // Лаб. дело. 1986. №12. С. 724–727.
10. *Обеспеченность населения* Севера жирорастворимыми витаминами / Е.Р.Бойко, Н.Н.Потолицына, С.Г.Бойко, В.Е.Ларина, В.А.Зеленов // Вопросы питания. 2008. №3. С.64–67.
11. *Бойко Е.Р., Потолицына Н.Н., Нильсен О.* Обеспеченность тиамином и рибофлавином жителей Архангельска // Вопросы питания. 2005. Т.74. №1. С.27–30.
12. *Bruinse HVV., Van Den Berg H.* Chages of some vitamin levels during and after normal pregnancy // Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol. 1995.Vol. 61. №1. P. 31–37.
13. *Wasker J., Fruhauf J., Schuiz M. et al.* Riboflavin deficiency and preeclampsia //Obstet. Gynecol. 2000. Vol.96. P. 38–44.
14. *Arikan S., Konukoglu D., Arikan C. et al.* Lipid peroxidation and antioxidant status in maternal and cord blood // Gynecol. Obstet. Invest. 2001. №51. P. 145–149.

References

1. *Rogozin I.A., Lisitsa G.P., Treshcheva N.D., Gubkina Z.D., Baranov A.N.* Sostoyanie reproduktivnogo zdorovya zhenshhin severa evropejskoj territorii rossii [Women reproductive health in the North of European Russia]//Ekologiya cheloveka [Human Ecology]. 1994. № 1. P. 121–124.
2. *Agarwal A., Gupta S., Sharma R.K.* Role of oxidative stress in female reproduction // Reproductive Biology and Endocrinology. 2005. Vol.3. P 3–28.
3. *Burton GJ, Jauniaux E.* Oxidative stress // Best. Pract. Res. Clin. Obstet. Gynaecol. 2011. Vol.25. P. 287–299.
4. *Kozlovskaya A.V., Bojko E.R.* Sezonnye osobennosti nekotoryx zabolevanij u beremennyx i patologii rodovoj deyatelnosti v respublike komi [The seasonal characteristics of diseases

in pregnancy and pathology of labor activity in the Republic of Komi] // Vyatskij medicinskij vestnik [Vyatka Medical Bull.].2004. №2–4. P.26-28.

5. *Protopopova N.V., Petukhov A.A.* Sravnitelnaya xarakteristika techeniya beremennosti i isxoda rodov u zhitelnic severa i yuga irkutskoj oblasti [Comparative characteristics of the pregnancy and delivery outcome in women living in the North and South of the Irkutsk region] // Sib. med. Zhurn. [Siberian Medical J.]. 2008. № 4. P. 88–92.
6. *Bojko E.R.* Nekotorye zakonomernosti metabolicheskix perestroek u cheloveka na krajnem severe [Some patterns of metabolic alterations in humans in the North] // Fiziologiya cheloveka [Human physiology]. 1996. Vol.22. №4. P.122–129.
7. *Spirichev V.B., Kodentsova V.M., Vrzhesinskaya O.A. Beketova N.A., Kharitonchik L.A., Alekseeva I.A., Sokolnikov A.A., Risnik V.V.* Metody ocenki vitaminnoj obespechennosti naseleniya [Methods for assessing vitamin provision in the population] // Uchebno-metodicheskoe posobie [Educational-methodical manual book]. Moscow 2001. 68 p.
8. *Picker S.D., Fridovich I.* On the mechanism of production of superoxide radical by reaction mixtures containing NADP, phenazine methosulfate, and nitroblue tetrazolium // Arch. Biochem. Biophys. 1984. Vol.228. P.155–158.
9. *Moin V.M.* Prostoj i specificheskij metod opredeleniya aktivnosti glutationperoksidazy v eritrocitax [The simple and specific method for determining the activity of glutathione peroxidase in erythrocytes] // Lab. delo [Laboratory work]. 1986. №12. P. 724–727.
10. *Bojko E.R., Potolitsyna N.N., Bojko S.G., Larina V.E., Zelenov V.A.* Obespechennost naseleniya severa zhirorastvorimymi vitaminami [The security of fat-soluble vitamins in the population in the North] // Voprosy pitaniya [Issues of nutrition]. 2008. №3. P.64–67.
11. *Bojko E.R., Potolicyna N.N., Nilsen O.* Obespechennost tiaminom i riboflavinom zhitelej Arxangelska [Provision of thiamine and riboflavin of inhabitants of Arkhangelsk]// Voprosy pitaniya [Issues of nutrition]. 2005. Vol.74. №1. P.27–30.
12. *Bruinse HVV., Van Den Berg H.* Chages of some vitamin levels during and after normal pregnancy // Eur. J. Obstet. Gynecol. Reprod. Biol. 1995.Vol. 61. №1. P. 31–37.
13. *Wasker J., Fruhauf J., Schuiz M., Chiwora F.M., Volz J., Becker K.* Riboflavin deficiency and preeclampsia //Obstet. Gynecol. 2000. Vol.96. P. 38–44.
14. *Arikan S., Konukoglu D., Arikan C., Akcay T., Davas I.* Lipid peroxidation and antioxidant status in maternal and cord blood // Gynecol. Obstet. Invest. 2001. №51. P. 145–149.

Статья поступила в редакцию 08.12.2015

УДК 577.24

ИЗУЧЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ СТАРЕНИЯ И СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ ОРГАНИЗМА НА МОДЕЛИ *DROSOPHILA MELANOGASTER*

Е.Н. ПРОШКИНА*,***, А.А. МОСКАЛЕВ*,**,**,****

**Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар*
***Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, г. Сыктывкар*
****Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный*
*****Институт молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН, г. Москва*
kateplus@mail.ru, amoskalev@list.ru

В обзоре приведены результаты исследований в области генетики продолжительности жизни и старения, выполненных на плодовой мушке *Drosophila melanogaster* в лаборатории молекулярной радиобиологии и геронтологии Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Особое внимание уделяется эффектам активации генов распознавания и репарации повреждений ДНК на продолжительность жизни дрозофил и устойчивость к различным видам стрессоров. Описано положительное влияние на жизнеспособность организма фармакологических препаратов и биологически активных веществ растительного происхождения. Кроме того, рассматривается роль генов ответа на повреждение ДНК в формирование реакций организма на гамма-излучение в малых дозах.

Ключевые слова: **продолжительность жизни, старение, стрессоустойчивость, малые дозы ионизирующих излучений, репарация ДНК, *Drosophila melanogaster***

E.N. PROSHKINA, A.A. MOSKALEV. **STUDY OF MOLECULAR AND GENETIC MECHANISMS OF ORGANISM AGING AND STRESS-RESISTANCE IN THE *DROSOPHILA MELANOGASTER* MODEL**

We reviewed the results of studies in the field of genetics of longevity and aging that was performed using fruit fly *Drosophila melanogaster* in the Laboratory of Molecular Radiobiology and Gerontology of the Institute of Biology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. Special focus is on effects of activation of DNA damage recognition and repair genes on the *Drosophila* lifespan and resistance to different types of stressors. The positive impact of pharmacological agents and biologically active phytogenic substances on the organism vitality is described. Additionally, the role of DNA damage response genes in the formation of organism reactions to low-dose ionizing radiation is considered.

Keywords: **lifespan, aging, stress-resistance, low doses of ionizing radiation, DNA repair, *Drosophila melanogaster***

Старение представляет собой процесс постепенного угнетения основных функций организма, в результате которого он утрачивает способность противостоять повреждающим факторам, болезням и травмам. Следовательно, способность организма эффективно отвечать на воздействие физиологических и экологических стрессоров определяет его темпы старения. Молекулярно-генетические механизмы стресс-ответа лежат в основе регуляции продолжительности жизни организма. Их изучение, с одной стороны, проливает свет на природу и закономерности процесса старения, а с другой – создает основу для разработки средств, направленных на продление жизни, адаптацию к условиям среды и борьбу с возрастными заболеваниями. Дрозофила является наиболее удобным модельным объектом для изучения генов и механизмов, определяющих старение и стрессоустойчивость организма, в первую очередь, благодаря возможности создавать разнообразные линии с заданными изменениями в геноме. С их помощью удалось выявить 71 ген, активация которых обеспечивает долгожительство животных. При этом большинство этих генов имеют гомологи у человека [1].

Одним из механизмов, благоприятно влияющих на долгожительство, является распознавание и репарация повреждений ДНК [2, 3]. Авторами показана геропротекторная роль активации генов

GADD45 и *PARP-1*, участвующих в различных механизмах поддержания целостности ДНК. Повышенная активность этих генов в нервной системе плодовых мушек *Drosophila melanogaster* увеличивает медианную и максимальную продолжительность жизни на 8–77 % и отсрочивает процесс старения без ухудшения репродуктивных способностей и двигательной активности [4–8]. Сверхэкспрессия *GADD45* существенно повышает устойчивость дрозофил к действию индуктора свободных радикалов параквата, высоких температур и голодания [9] и замедляет скорость возникновения возрастных нарушений в нервной системе [10]. Важно отметить, что у человека также присутствуют гены и белки семейства GADD45. Биоинформационный анализ показал участие белков GADD45 в сигнальных путях клетки, определяющих продолжительность жизни и возникновение возрастных заболеваний у человека (разных видов рака, болезни Альцгеймера, атеросклероза, сахарного диабета 2-го типа, ревматоидного артрита и аутоиммунных расстройств) [11]. Дальнейшее исследование эффектов и способов их активации открывает перспективы для разработки препаратов, направленных на профилактику и лечение социально значимых возрастных патологий. Результаты изучения еще девяти генов, отвечающих за распознавание повреждений ДНК (гомологи *HUS1* и *CHK2*), эксцизионную репарацию оснований и нуклеотидов (гомологи *XPC*, *XPF* и АР-эндонуклазы 1), репарацию двунитевых разрывов ДНК (гомологи *BRCA2*, *XRCC3*, *KU80* и *WRNexo*), позволили выявить ряд дополнительных потенциальных мишеней для воздействия на скорость старения. Активация этих генов в ряде случаев приводила к увеличению продолжительности жизни дрозофил и повышению устойчивости к повреждающим факторам различной природы в зависимости от ткани, в которой была вызвана сверхэкспрессия, стадии развития и пола мушки и роли гена в процессе восстановления ДНК [12–14].

Наиболее доступным способом стимулировать защитные системы организма и контролировать связанные со старением гены является применение лекарственных препаратов и биологически активных веществ. Установлено, что добавление ибупрофена в питательную среду дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*, нематод *Caenorhabditis elegans* и мушек *Drosophila melanogaster* способно приводить к увеличению продолжительности жизни на 10–17 %. Одним из механизмов его действия является снижение поступления в клетки аминокислоты триптофана [15]. В исследованиях на дрозофиле также было показано благоприятное действие на длительность жизни целого спектра других нестероидных противовоспалительных препаратов и фармакологических веществ, ингибирующих связанные со старением сигнальные пути (IGF1, PI3K, TOR, iNOS, NF-κB) [16]. Выявленные механизмы их действия характеризуются высокой эволюционной консервативностью, а потому положительные эффекты их применения можно ожидать для млекопитающих и человека.

Благоприятный эффект на продолжительность жизни был установлен для биологически активных веществ растительного происхождения – каротиноидов фукоксантина и бета-каротина [17], фитоэкдистероидов и стероидных гликозидов [18], а также для пектинов [19]. В наибольшей степени удалось продлить жизнь дрозофил с помощью фукоксантина – пигмента, содержащегося в бурых водорослях. Его добавление в питательную среду дрозофил увеличило продолжительность жизни на 33–49 %, что было также подтверждено на нематодах [17]. Благоприятное влияние растительных геропротекторов связано со стимуляцией генов регуляции стресс-ответа, антиоксидантной защиты, обнаружения и репарации повреждений ДНК и белков [17–19].

В то же время стрессовые воздействия различных факторов среды также способны изменять длительность жизни организмов и скорость их старения. В частности, малые дозы ионизирующих излучений вызывают широкий спектр биологических эффектов, включая радиационный гормезис, радиоадаптивный ответ и гиперрадиочувствительность [20–22]. В исследованиях на дрозофиле представлены доказательства участия генов ответа на повреждение ДНК (*FOXO, SIRT1, JNK, ATM, ATR, p53*) и репарации ДНК (*XPC, XPF*) в формировании данных эффектов. Мутации в этих генах приводят к повышению радиочувствительности и нарушению ответных реакций организма на воздействие гамма-излучения в малых дозах [20, 21]. Кроме того, проведен анализ транскриптома дрозофил после воздействия индуктора свободных радикалов параквата, ксенобиотиков (диоксина, толуола, формальдегида), высоких и низких температур, гамма-излучения в больших и малых дозах, гипергравитации, голодания, обезвоживания, бактериальных и грибковых инфекций. Впервые составлен список генов, специфичных для каждого из изучаемых воздействий [22–25]. Эти данные могут послужить основой для оценки рисков воздействия повреждающих агентов и создания чувствительных биосенсоров, предназначенных для эффективного и быстрого выявления загрязнения окружающей среды [26].

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта УрО РАН № 15-4-4-23 «Экологическая генетика, транскриптомика и метаболомика продолжительности жизни и стрессоустойчивости 13 видов рода Drosophila» и гранта РФФИ №14-04-01596.

Литература

1. *Basic mechanisms of longevity:* A case study of *Drosophila* pro-longevity genes / E.N.Proshkina, M.V.Shaposhnikov, A.F.Sadritdinova, A.V.Kudryavtseva, A.A.Moskalev // Ageing Research Reviews. 2015. Vol. S1568-1637. № 15. P. 30017–30019.
2. *Шапошников М.В., Прошкина Е.Н., Шилова Л.А., Москалев А.А.* Роль репарации повреждений ДНК в долголетии. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2015. 164 с.

3. *The role of DNA* damage and repair in aging through the prism of Koch-like criteria / A.A.Moskalev, M.V.Shaposhnikov, E.N.Plyusnina, A.Zhavoronkov, A.Budovsky, H.Yanai, V.E. Fraifeld // Aging Research Reviews. 2013. Vol. 12. № 2. P. 661–684.
4. *Особенности кривой выживания* у Drosophila melanogaster со сверхэкспрессией гена *D-GADD45* / Е.Н.Плюснина, М.В.Шапошников, Е.Н.Андреева, А.А.Москалев, Л.В.Омельянчук // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2013. Т. 17. № 3. С. 399–403.
5. *Плюснина Е.Н., Шапошников М.В., Москалев А.А.* Геропротективные эффекты активации в нервной системе *Drosophila melanogaster* гена репарации ДНК *D-GADD45* // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2011. Т. 152. № 9. С. 310–314.
6. *Moskalev A.A., Proshkina E.N., Shaposhnikov M.V.* Chapter 2. Gadd45 Proteins in Aging and Longevity of Mammals and *Drosophila* // Life Extension. Lessons from *Drosophila*. Cham: Springer, 2015. P. 39–65.
7. *Plyusnina E.N., Shaposhnikov M.V., Moskalev A.A.* Increase of *Drosophila melanogaster* lifespan due to *D-GADD45* overexpression in the nervous system // Biogerontology. 2011. Vol. 12. № 3. P. 211–226.
8. *Shaposhnikov M.V., Moskalev A.A., Plyusnina E.N.* Effects of *PARP-1* overexpression and pharmacological inhibition of NF-κB on the lifespan of *Drosophila melanogaster* // Advances of Gerontology. 2011. Vol. 24. № 3. P. 405–419.
9. *The role of D-GADD45* in oxidative, thermal and genotoxic tress resistance / A.Moskalev, E.Plyusnina, M.Shaposhnikov, L.Shilova, A.Kazachenok, A.Zhavoronkov // Cell Cycle. 2012. Vol. 11. № 22. P. 4222–4241.
10. *Gadd45 expression correlates* with age dependent neurodegeneration in *Drosophila melanogaster* / N.Bgatova, T.Dubatova, L.Omelyanchuk, E.Plyusnina, M.Shaposhnikov, A.Moskalev // Biogerontology. 2015. Vol. 16. № 1. P. 53–61.
11. *Gadd45 proteins:* Relevance to aging, longevity, and age-related pathologies / A.A. Moskalev, Z.Smit-McBride, M.V.Shaposhnikov, E.Plyusnina, A.Zhavoronkov, A.Budovsky, R.Tacutu, V.E.Fraifeld // Aging Research Reviews. 2012. Vol. 11. № 1. P. 51–66.
12. *Шилова Л.А., Плюснина Е.Н., Москалев А.А.* Влияние кондиционной повсеместной сверхэкспрессии генов репарации ДНК на устойчивость особей *Drosophila melanogaster* к действию стресс-факторов различной природы (оксидативному стрессу, тепловому шоку, голоданию) // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2014. № 2(18). С. 41–45.
13. *Шилова Л.А., Плюснина Е.Н., Земская Н.В., Москалев А.А.* Роль генов репарации ДНК в радиационно-индуцированном изменении продолжительности жизни *Drosophila melanogaster* // Радиационная биология. Радиоэкология. 2014. Т. 54. №5. С. 482–492.
14. *Lifespan and stress resistance* in *Drosophila* with overexpressed DNA repair genes / M.Shaposhnikov, E.Proshkina, L.Shilova, A.Zhavoronkov, A.Moskalev // Scientific Reports. 2015. Vol. 5. P. 15299.
15. *Enhanced longevity by ibuprofen,* conserved in multiple species, occurs in yeast through inhibition of tryptophan import / C.He, S.K.Tsuchiyama, Q.T.Nguyen, E.N.Plyusnina, S.R.Terrill, S.Sahibzada, B.Patel, A.R.Faulkner, M.V.Shaposhnikov, R.Tian, M.Tsuchiya, M.Kaeberlein, A.A.Moskalev, B.K.Kennedy, M.Polymenis // PLoS Genetics. 2014. Vol. 10. № 12. P. e1004860.
16. *Selective anticancer agents* suppress aging in *Drosophila*/A.Danilov, M.Shaposhnikov, E.Plyusnina, V.Kogan, P.Fedichev, A.Moskalev // Oncotarget. 2013. Vol. 4. № 9. P. 1507–1526.
17. *Fucoxanthin increases* lifespan of *Drosophila melanogaster* and *Caenorhabditis elegans* / E.Lashmanova, E.Proshkina, S.Zhikrivetskaya, O.Shevchenko, E.Marusich, S.Leonov, A.Melerzanov, A.Zhavoronkov, A. Moskalev // Pharmacological Research. 2015. Vol. 100. P. 228–241.
18. *Влияние препаратов,* содержащих фитоэкдистероиды и стероидные гликозиды растений, на продолжительность жизни и стрессоустойчивость *Drosophila melanogaster*/ М.В.Шапошников, Л.А.Шилова, Е.Н.Плюснина, С.О.Володина, В.В.Володин, А.А.Москалев//Экологическая генетика. 2014. Т. 12. №4. С. 3–14.
19. *The effects of pectins on life* span and stress resistance in *Drosophila melanogaster*/ M.Shaposhnikov, D.Latkin, E.Plyusnina, L.Shilova, A.Danilov, S.Popov, A.Zhavoronkov, Y.Ovodov, A.Moskalev // Biogerontology. 2014. Vol. 15. № 2. 113–127.
20. *Москалев А.А., Плюснина Е.Н., Зайнуллин В.Г.* Влияние гамма-излучения в малых дозах на продолжительность жизни у мутантов дрозофилы по распознаванию и репарации повреждений ДНК//Радиационная биология. Радиоэкология. 2007. Т. 47. №5. С. 586–588.
21. *Moskalev A.A., Plyusnina E.N., Shaposhnikov M.V.* Radiation hormesis and radioadaptive response in *Drosophila melanogaster* flies with different genetic backgrounds: the role of cellular stress-resistance mechanisms // Biogerontology. 2011. Vol. 12. № 3. P. 253–263.
22. *Effect of Low Doses* (5-40 cGy) of Gamma-irradiation on Lifespan and Stress-related Genes Expression Profile in *Drosophila melanogaster*/ S.Zhikrivetskaya, D.Peregudova, A.Danilov, E.Plyusnina, G.Krasnov, A.Dmitriev, A.Kudryavtseva, M.Shaposhnikov, A.Moskalev// PLoS One. 2015. Vol. 10. № 8. P. E0133840.
23. *Exhaustive data mining* comparison of the effects of low doses of ionizing radiation, formaldehyde and dioxins / A.Moskalev, M.Shaposhnikov, E.Plyusnina, S.Plyusnin, O.Shostal, A.Aliper, A.Zhavoronkov // BMC Genomics. 2014. Vol. 15. Suppl. 12. P. 5.
24. *Mining gene expression* data for pollutants (dioxin, toluene, formaldehyde) and low dose

of gamma-irradiation / A.Moskalev, M.Shaposhnikov, A.Snezhkina, V.Kogan, E.Plyusnina, D.Peregudova, N.Melnikova, L.Uroshlev, S.Mylnikov, A.Dmitriev, S.Plusnin, P.Fedichev, A.Kudryavtseva // PLoS One. 2014. Vol. 9. №1. P. e86051.

25. *A comparison of the transcriptome of Drosophila melanogaster* in response to entomopathogenic fungus, ionizing radiation, starvation and cold shock / A.Moskalev, S.Zhikrivetskaya, G.Krasnov, M.Shaposhnikov, E.Proshkina, D.Borisoglebsky, A.Danilov, D.Peregudova, I.Sharapova, E.Dobrovolskaya, I.Solovev, N.Zemskaya, L.Shilova, A.Snezhkina, A.Kudryavtseva // BMC Genomics. 2015. Vol. 16. Suppl 13. P. 8.
26. *Анализ экспрессии генов* как метод детектирования малых доз ионизирующих излучений, формальдегида и диоксинов / М.В.Шапошников, Е.Н. Плюснина, С.Н. Плюснин, О.А. Шосталь, Л.А. Шилова, Н.В. Земская, И.Н. Юранева, А.А. Москалев // Теоретическая и прикладная экология. 2013. № 2. С. 25–33.

References

1. *Proshkina E.N., Shaposhnikov M.V., Sadritdinova A.F., Kudryavtseva A.V., Moskalev A.A.* Basic mechanisms of longevity: A case study of *Drosophila* pro-longevity genes // Ageing Research Reviews. 2015. Vol. S1568-1637. № 15. P. 30017-30019.
2. *Shaposhnikov M.V., Proshkina E.N., Shilova L.A., Moskalev A.A.* Rol' reparacii povrezhdenij DNK v dolgoletii [The role of DNA repair in longevity]. Moscow: KMK Scientific Press Ltd, 2015. 164 p.
3. *Moskalev A.A., Shaposhnikov M.V., Plyusnina E.N., Zhavoronkov A., Budovsky A., Yanai H., Fraifeld V.E.* The role of DNA damage and repair in aging through the prism of Koch-like criteria // Aging Research Reviews. 2013. Vol. 12. № 2. P. 661-684.
4. *Plyusnina E.N., Shaposhnikov M.V., Andreeva E.N., Moskalev A.A., Omelyanchuk L.V.* Osobennosti krivoj vyzhivaniya u *Drosophila melanogaster* so sverhehkspressiej gena *D-GADD45* [Survival curve analysis for *Drosophila melanogaster* with *D-GADD45* overexpression in the nervous system] // Vavilov J. of Genetics and Breeding. 2013. Vol. 3. P. 399-403.
5. *Plyusnina E.N., Shaposhnikov M.V., Moskalev A.A.* Geroprotektivnye ehffekty aktivacii v nervnoj sisteme *Drosophila melanogaster* gena reparacii DNK *D-GADD45* [Geroprotective effects of activation of *D-GADD45* DNA reparation gene in *Drosophila melanogaster* nervous system] // Bull. of Exper. Biology and Medicine. 2011. Vol. 152. № 9. P. 310-314.
6. *Moskalev A.A., Proshkina E.N., Shaposhnikov M.V.* Chapter 2. Gadd45 Proteins in Aging and Longevity of Mammals and *Drosophila* // Life Extension. Lessons from *Drosophila*. Cham: Springer, 2015. P. 39–65.
7. *Plyusnina E.N., Shaposhnikov M.V., Moskalev A.A.* Increase of *Drosophila melanogaster* lifespan due to *D-GADD45* overexpression in the nervous system // Biogerontology. 2011. Vol. 12. № 3. P. 211-226.
8. *Shaposhnikov M.V., Moskalev A.A., Plyusnina E.N.* Effects of *PARP-1* overexpression and pharmacological inhibition of NF-κB on the lifespan of *Drosophila melanogaster* // Advances of Gerontology. 2011. Vol. 24. № 3. P. 405-419.
9. *Moskalev A., Plyusnina E., Shaposhnikov M., Shilova L., Kazachenok A., Zhavoronkov A.* The role of *D-GADD45* in oxidative, thermal and genotoxic stress resistance // Cell Cycle. 2012. Vol. 11. № 22. P. 4222–4241.
10. *Bgatova N., Dubatova T., Omelyanchuk L., Plyusnina E., Shaposhnikov M., Moskalev A. Gadd45* expression correlates with age dependent neurodegeneration in *Drosophila melanogaster* // Biogerontology. 2015. Vol. 16. № 1. P. 53–61.
11. *Moskalev A.A., Smit-McBride Z., Shaposhnikov M.V., Plyusnina E., Zhavoronkov A., Budovsky A., Tacutu R., Fraifeld V.E.* Gadd45 proteins: Relevance to aging, longevity, and age-related pathologies // Aging Research Reviews. 2012. Vol. 11. № 1. P. 51-66.
12. *Shilova L.A., Plyusnina E.N., Mosklaev A.A.* Vliyanie kondicionnoj povsemestnoj sverhehkspressii genov reparacii DNK na ustojchivost' osobej Drosophila melanogaster k dejstviyu stress-faktorov razlichnoj prirody (oksidativnomu stressu, teplovomu shoku, golodaniyu) [Influence of conditionally ubiquitous overexpression of DNA repair genes on resistance of *Drosophila-melanogaster* individuals to different stress factors (oxidative stress, heat shock, starvation)] // Proc. of the Komi Sci. Centre, Ural Br., RAS. 2014. Vol. 2. № 18. P. 41-45.
13. *Shilova L.A., Plyusnina E.N., Zemskaya N.V., Moskalev A.A.* Rol' genov reparacii DNK v radiacionnoj-inducirovannom izmenenii prodolzhitel'nosti zhizni *Drosophila melanogaster* [Role of DNA repair genes in radiation-induced changes of lifespan of *Drosophila melanogaster*] // Radiatsionnaya Biologiya. Radioekologiya. 2014. Vol. 54. №5. P. 482-492.
14. *Shaposhnikov M., Proshkina E., Shilova L., Zhavoronkov A., Moskalev A.* Lifespan and stress resistance in *Drosophila* with overexpressed DNA repair genes // Sci. Reports. 2015. Vol. 5. P. 15299.
15. *He C., Tsuchiyama S.K., Nguyen Q.T., Plyusnina E.N., Terrill S.R., Sahibzada S., Patel B., Faulkner A.R., Shaposhnikov M.V., Tian R., Tsuchiya M., Kaeberlein M., Moskalev A.A., Kennedy B.K., Polymenis M.* Enhanced longevity by ibuprofen, conserved in multiple species, occurs in yeast through inhibition of tryptophan import // PLoS Genetics. 2014. Vol. 10. № 12. P. e1004860.
16. *Danilov A., Shaposhnikov M., Plyusnina E., Kogan V., Fedichev P., Moskalev A.* Selective

anticancer agents suppress aging in *Drosophila*// Oncotarget. 2013. Vol. 4. № 9. P. 1507-1526.
17. *Lashmanova E., Proshkina E., Zhikrivetskaya S., Shevchenko O., Marusich E., Leonov S., Melerzanov A., Zhavoronkov A., Moskalev A.* Fucoxanthin increases lifespan of *Drosophila melanogaster* and *Caenorhabditis elegans* // Pharmacological Research. 2015. Vol. 100. P. 228–241.
18. *Shaposhnikov M.V., Shilova L.A., Plyusnina E.N, Volodina S.O., Volodin V.V., Moskalev A.A.* Vliyanie preparatov, soderzhashchih fitoehkdisteroidy i steroidnye glikozidy rastenij, na prodolzhitel'nost' zhizni i stressoustojchivost' *Drosophila melanogaster* [Influence of phytoecdysteroids and plant steroidal glycosides on the lifespan and stress resistance of *Drosophila melanogaster*] // Ecological Genetics. 2014. Vol. 12. № 4. P. 3-14.
19. *Shaposhnikov M., Latkin D., Plyusnina E., Shilova L., Danilov A., Popov S., Zhavoronkov A., Ovodov Y., Moskalev A.* The effects of pectins on life span and stress resistance in *Drosophila melanogaster* // Biogerontology. 2014. Vol. 15. № 2. 113-127.
20. *Moskalev A.A., Plyusnina E.N., Zainullin V.G.* Vliyanie gamma-izlucheniya v malyh dozah na prodolzhitel'nost' zhizni u mutantov drozofily po raspoznavaniyu i reparacii povrezhdenij DNK [The influence of low doze gamma-irradiation on life span of *Drosophila* mutants on DNA damage recognition and repair] // Radiatsionnaya Biologiya. Radioekologiya. 2007. Vol. 47. № 5. P. 586-588.
21. *Moskalev A.A., Plyusnina E.N., Shaposhnikov M.V.* Radiation hormesis and radioadaptive response in *Drosophila melanogaster* flies with different genetic backgrounds: the role of cellular stress-resistance mechanisms // Biogerontology. 2011. Vol. 12. № 3. P. 253-263.
22. *Zhikrivetskaya S., Peregudova D., Danilov A., Plyusnina E., Krasnov G., Dmitriev A., Kudryavtseva A., Shaposhnikov M., Moskalev A.* Effect of Low Doses (5-40 cGy) of Gamma-irradiation on Lifespan and Stress-related Genes Expression Profile in *Drosophila melanogaster* // PLoS One. 2015. Vol. 10. № 8. P. E0133840.
23. *Moskalev A., Shaposhnikov M., Plyusnina E., Plyusnin S., Shostal O., Aliper A., Zhavoronkov A.* Exhaustive data mining comparison of the effects of low doses of ionizing radiation, formaldehyde and dioxins // BMC Genomics. 2014. Vol. 15. Suppl. 12. P. S5.
24. *Moskalev A., Shaposhnikov M., Snezhkina A., Kogan V., Plyusnina E., Peregudova D., Melnikova N., Uroshlev L., Mylnikov S., Dmitriev A., Plyusnin S., Fedichev P., Kudryavtseva A.* Mining gene expression data for pollutants (dioxin, toluene, formaldehyde) and low dose of gamma-irradiation // PLoS One. 2014. Vol. 9. № 1. P. e86051.
25. *Moskalev A., Zhikrivetskaya S., Krasnov G., Shaposhnikov M., Proshkina E., Borisoglebsky D., Danilov A., Peregudova D., Sharapova I., Dobrovolskaya E., Solovev I., Zemskaya N., Shilova L., Snezhkina A., Kudryavtseva A.* A comparison of the transcriptome of *Drosophila melanogaster* in response to entomopathogenic fungus, ionizing radiation, starvation and cold shock // BMC Genomics. 2015. Vol. 16. Suppl 13. P. S8.
26. *Shaposhnikov M.V., Plyusnina E.N., Plyusnin S.N., Shostal O.A., Shilova L.A., Zemskaya N.V., Yuraneva I.N., Mosklaev A.A.* Analiz ehkspressii genov kak metod detektirovaniya malyh doz ioniziruyushchih izluchenij, formal'degida i dioksinov [Analysis of gene expression patterns as a method for detecting low doses of ionizing radiation, formaldehyde and dioxins]// Theor. and Appl. Ecology. 2013. №2. P. 25-33.

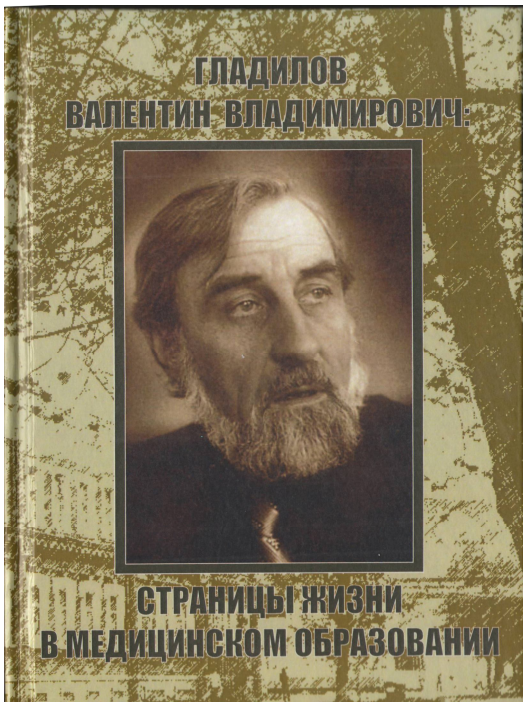
От редактора. *Редколлегия журнала «Известия Коми научного центра УрО РАН» поздравляет авторов настоящего обзора с вручением Е.Н. Прошкиной премии Президента РФ в области науки и инноваций молодым ученым. Она призвана стимулировать и дальнейшие исследования Коми научного центра УрО РАН в этом направлении.*

Известия Коми научного центра УрО РАН
№ 1(25). Сыктывкар, 2016.

РЕЦЕНЗИИ

ГЛАДИЛОВ ВАЛЕНТИН ВЛАДИМИРОВИЧ: СТРАНИЦЫ ЖИЗНИ В МЕДИЦИНСКОМ ОБРАЗОВАНИИ (БИОГРАФИЯ, ВОСПОМИНАНИЯ, РАБОТЫ ПО ИСТОРИИ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ И МЕДИЦИНСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ КОМИ) / Б.М. Завьялов (ответственный редактор), А.В. Ватлин, В.Е. Ломов, Н.Н. Кораблёва. Киров, 2015. 368 с.

Рецензируемый труд представляет собой удачный, содержательно и стилистически точный сплав мемориальной книги, научно-исследовательской работы и учебного издания. Он, безусловно, высокопрофессионален и может быть полезен не только специалистам и студентам, изучающим историю образования и историю здравоохранения Республики Коми, но и широкому кругу читателей.



У известного русского слова «пережить» есть два основных значения: во-первых, пережить, в повседневном смысле, – это значит продолжать жить, несмотря на трудности, проблемы и трагедии текущей жизни; во-вторых, в высоком смысле, это слово означает посмертное существование, продолжение жизни после смерти, благодаря своим делам, результатам творчества, поступкам. «Концепция книги, как пишут ее авторы, проста – способствовать посмертному существованию честного человека, пытливого учёного, увлеченного организатора высшего медицинского образования в Коми крае, – Валентина Владимировича Гладилова» (с.6).

Авторскому коллективу удалось заново познакомить читателей с известным в республике человеком. Структура работы включает в себя три главы, каждая из которых несёт свою смысловую нагрузку, и все они в своей совокупности представляют целостную, многогранную картину дела и жизни Валентина Владимировича. Содержание монографии дополняет подборка документов и фотографий.

В первой главе представлены краткая биография и воспоминания о В.В. Гладилове. Эта глава задаёт основной тон всей книге. Воспоминания, разные по форме, выдержаны по всему спектру его многогранной деятельности. В интервью Б.М. Завьялову высказана оценка министров здравоохранения Республики Коми, которые воспринимали В.В. Гладилова не столько в качестве подчиненного, сколько как единомышленника, трудолюбивого руководителя и, в некоторых случаях, мудрого учителя. По мнению Г.М. Дзуцева (министр РК в 1993–2002 гг.), при создании учреждения высшего медобразования в республике В.В. Гладилов "... проявил незаурядные организаторские способности и на определенном этапе не он оказался нашим помощником, а мы стали его помощниками..." (с. 14). Ему вторит другой бывший министр (2002–2006 гг.) и второй директор Коми филиала Кировской медакадемии (2007–2010 гг.) Э.В. Нечаева, которая подчеркивает, что " в непростых социально-экономических условиях конца 1990-х ... [при создании филиала] он был ключевой фигурой" (с. 19). Вслед за ними своими воспоминаниями делятся коллеги Валентина Владимировича по "ректорскому цеху". Руководитель Ухтинского государственного технического университета Н.Д.Цхадая подчеркивает его порядочность, правдолюбие, талант руководителя и "трепетное отношение к студентам" (с. 20–21). Ректор Коми пединститута В.Н. Исаков при первом знакомстве "открыл ... много раз поражавшую способность В.В. Гладилова спокойно слушать и слышать собеседника" (с. 22–24).

Очень высокие оценки личности В.В. Гладилова содержатся в словах его заместителя Е.И. Казаковой, заведующих кафедрами, преподавателей, других работников и студентов Коми филиала КГМА. В своих воспоминаниях о нём коллеги и товарищи по работе, сотрудники и студенты не только отдают дань его заслугам, но и признаются в своих чувствах к нему, говорят о самом главном для себя в отношениях с этим человеком. Разный стиль изложения, разные акценты создают многогранную и очень задушевную атмосферу разговора о человеке. Авторам удалось органично соединить различные суждения и оценки жизни, профессиональной деятельности, особенностей личности В.В. Гладилова. В воспоминаниях друзей и коллег по работе представлена атмосфера эпохи перемен, в которой выпало жить и работать Валентину Владимировичу, воссоздается и то, что можно считать его жизненным кредо (с. 25–47).

Во второй и третьей главах отмечены опубликованные и неопубликованные работы В.В. Гладилова, которые привносят немаловажный компонент в изучение отдельных значимых сторон и нюансов истории Республики Коми.

Во второй главе помещены работы ученого, посвященные истории медицинского образования в Республике Коми, т.е. тому, в чём практически участвовал создатель и первый директор медицинского вуза в Республике Коми (с. 48–102). Здесь нашли свое место и не опубликованные при жизни автора труды. Особенно интересными для последующих исследователей, на наш взгляд, являются хроника становления и развития Коми филиала КГМА и анализ количественно-качественных изменений в кадровом потенциале республиканского здравоохранения в связи с появлением высшего медицинского учебного заведения. В.В. Гладилов анализирует широкий хронологический период по проблеме обеспеченности населения Коми края, Коми АО, Коми АССР и Республики Коми медицинскими кадрами, останавливаясь на важнейших составляющих этого процесса, увязывая его с общим социально-экономическим, политическим и культурным развитием страны и региона. Очень продуманными и емкими являются зарисовки Валентина Владимировича о судьбах конкретных людей.

В третьей главе, посвященной истории здравоохранения в Республике Коми, представлены три работы автора (с. 103–320). Эта глава является самой объёмной и "населенной" личностями. Следует отметить, что, работая в новом для себя исследовательском поле (исторической науке), ученый показывает достаточно высокий уровень профессионализма. Он внимательно относится к социально-экономическому, политическому контексту, в котором развивалось здравоохранение на Коми земле, но одновременно понимает, что история не анонимный процесс, она творится конкретными людьми. Бережное отношения к именам, понимание сути вклада каждого на ниве медицины – это, пожалуй, исследовательский авторский стиль В.В. Гладилова. Работы этой главы снабжены таблицами, демонстрирующими динамику в развитии здравоохранения. Большого труда стоило создание хронографа по истории здравоохранения Республики Коми: он представлен детальным и очень «человечным», т.е. максимально персонифицированным (с. 270–320). Особое внимание хотелось бы обратить на опубликованное в этой главе пособие по курсу «истории медицины», посвящённое становлению и развитию медицинской деятельности, медицинских услуг, системы здравоохранения на протяжении трех веков в Коми крае (с. 123–269). В этой работе автор выдвигает периодизацию истории медицины в регионе, что придает дополнительную стройность его изложению по заданным проблемам и что не всегда отображается в некоторых трудах профессиональных историков. Собранный В.В. Гладиловым материал ярко демонстрирует насыщенную событиями историю земской медицины, становление советского здравоохранения, развитие отдельных направлений: кадровая политика, аптечное обеспечение, финансирование, обеспечение медицинской помощью спецпереселенцев и другие организационные направления. Интересным представляется анализ развития клинической медицины в республике: профилактическая медицина, акушерство, психиатрия и т.д. Очевидно, что при подготовке этого текста использовался большой объем разнообразной исторической литературы и документов, он информационно чрезвычайно насыщен. Его публикация будет полезна как для организации учебного процесса по соответствующему курсу, так и неформального патриотического воспитания студентов-медиков в Республике Коми.

Однако хочется отметить, что в начале рецензируемого труда авторам было бы уместно упомянуть о своих предшественниках и охарактеризовать публикации, в которых до них оказались отображены работы и научные достижения В.В. Гладилова. Да и анализ собственно научных исследований (изложенных, естественно, доступным языком для массового читателя) добавил бы важный штрих в палитру его оценок. И, наконец, издание приобрело бы еще большую академичность в случае составления именного указателя (возможно, и географического).

Несмотря на отдельные незначительные упущения, усилия авторов монографии позволяют корректно определить место Валентина Владимировича как ученого и организатора образования в новейшей истории Республики Коми. Следует отметить высокий профессиональный уровень, который авторы и редактор продемонстрировали в подходе к структуре работы и при подборе материалов. Рецензируемая книга создает целостную картину судьбы человека, посвятившего себя науке: личности многогранной, увлеченной, преданной делу.

Котов П.П., к.и.н., профессор кафедры истории России и зарубежных стран Сыктывкарского государственного университета им. Питирима Сорокина, Жеребцов И.Л., д.и.н., директор Института языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН, Пинаевский Д.И., к.и.н., проректор Сыктывкарского государственного университета им. Питирима Сорокина.

Известия Коми научного центра УрО РАН
№ 1(25). Сыктывкар, 2016.

РОЧЕВ ЮРИЙ ГЕРАСИМОВИЧ (1936–1995)

История коми фольклористики тесно связана с именем яркого, талантливого, фанатично преданного коми филологии первооткрывателя детского фольклора коми, Юрия Герасимовича Рочева, которому 7 марта 2016 г. исполнилось бы 80 лет. Он был ученым с разносторонними научными интересами, с большим опытом полевых исследований. Материалы экспедиций послужили ему основой для подготовки интересных статей и докладов, а также выступлений на конференциях. В течение долгого периода времени центральной темой в его исследованиях оставался детский фольклор, а позже – и детская литература коми.

После окончания школы в с.Мужи Тюменской области и службы в рядах Вооруженных сил СССР, будущий ученый Юрий Рочев направляется в Сыктывкар и поступает учиться в Коми государственный пединститут. В 1962 г. он по семейным обстоятельствам переходит с дневного на заочное отделение филологического факультета КГПИ и устраивается на работу в Коми филиал АН СССР лаборантом. Так начинается у него путь в науку. В должности младшего научного сотрудника отдела языка и литературы в 1966 г. поступает в заочную аспирантуру Коми филиала Академии наук СССР. Детский фольклор коми становится темой его кандидатской диссертации, научное руководство берет на себя А.К. Микушев, в будущем д.филол.н., профессор.

Работая над диссертацией, Ю.Г. Рочев подготовил к изданию сборник детского фольклора на коми языке «Челядь сьыланкывъяс да мойдкывъяс» (Детские песни и сказки, 1969), рассчитанный на широкий круг читателей. В книгу вошло 179 единиц фольклорных текстов, впервые введенных в научный оборот и отредактированных в соответствии с литературными нормами коми языка. Материал разделен на 11 глав, перед каждой группой текстов дана краткая характеристика произведений.

Изучая теоретические работы по фольклору, Юрий Герасимович придерживался широкого понимания границ детского фольклора, рассматривая в своей диссертации колыбельные песни и поэзию пестования. Исследователь классифицирует тексты в соответствии с возрастной спецификой на три группы («колыбельная поэзия», «внеигровой фольклор» и «игровой фольклор»). Из проанализированных 20 жанровых разновидностей лишь 11 считает самостоятельными жанрами. В работе использовано более чем 1100 поэтических текстов, многие из которых записаны им лично во время экспедиций. Ученый систематизировал и описал разрозненный материал по детскому фольклору коми, выявил функциональные и тематические особенности произведений. Диссертационное исследование было защищено в 1974 г. в Мордовском государственном университете им. Н.П. Огарёва (г.Саранск).

Заслуга молодого исследователя заключалась в том, что он на основе конкретной и теоретической разработки собранного им материала выделяет новые для коми фольклора жанры («песни-сказки» и «будильные попевки»), обосновывает использование терминов на коми языке, бытовавших в фольклорной традиции. И в настоящее время на его работы продолжают ссылаться специалисты по детскому фольклору, а также в вузовской практике.

Ю.Г. Рочева в полной мере можно назвать и открывателем традиционных коми игр. В 1988 г. им был опубликован научно-популярный сборник народных игр с иллюстрациями, предназначенный для широкой аудитории.

Особой областью исследований ученого являлась устная несказочная проза коми. В изданном им сборнике текстов «Коми легенды и предания» (1984) репрезентированы такие фольклорные жанры, как предания, легенды и былички. Книга стала для коми фольклористики 1980-х гг. уникальным изданием. Большая часть материала была собрана им в 1964–1984 гг. и впервые введена в научный оборот. Его монографическое исследование по этой теме в виде научного отчета «Жанры несказочной прозы» (1985) хранится в Научном архиве Коми НЦ и является его первой обобщающей работой, содержащей большой фактический материал по несказочной прозе коми. Учитывая национальную специфику устной прозы, он выделяет три жанра – легенды, предания и бывальщины. Однако последний жанр не рассмотрен им «в виду слабой пока ещё теоретической мотивировки её отличительных признаков». Все тексты преданий разделяет на семь жанровых разновидностей (семейные или родовые; о местных героях, о знаменитых в округе личностях; локальные предания; предания об исторических личностях; предания о чуди; топонимические; предания с заимствованными сюжетами), а легенды – на три группы (христианские легенды, былички, мифы). Позднее он пересматривает свои научные взгляды на систематизацию преданий и выделяет только пять групп. Особое внимание Ю.Г.Рочев уделил изучению коми преданий о чуди, выявив специфичные для коми традиции сюжеты, связанные народными представлениями о мифологическом двойнике человека – *орт*, образ которого трансформировался в течение XX в.

Под руководством Юрия Герасимовича в 1990-е гг. была начата работа по сбору материала и систематизации народных сказок коми. Он планировал создать фундаментальное академическое издание Свода фольклора коми, начав с публикации сказок, что должно было стать крупнейшим вкладом исследователей в финно-угорскую фольклористику. Собранные 17 томов сказок с переводами на

русский язык не удалось довести до публикации. В настоящее время рукопись также хранится в Научном архиве Коми НЦ. Юрий Герасимович все же успел подготовить и издать в 1991 г. антологию народных сказок коми «Коми мойдъяс» (Коми сказки), включающий 51 литературно обработанный текст. Ученый находит общие черты в сказках коми и обско-угорских народов, устанавливает эволюцию сказочных сюжетов и образов коми (зырян), коми-пермяков и удмуртов. Автор особо подчеркивает тесное взаимодействие северно-русской и коми фольклорных традиций, выявляя примеры разновременных заимствований в сказочном репертуаре коми.

Немало Ю.Г. Рочев сделал и в изучении песенной традиции коми. К исследованию песенных жанров он обращался много раз, начиная с 1960-х гг., когда охарактеризовал тематику и образы детских песен, определял локальные варианты и историю собирания и изучения коми народных песен, и заканчивая 1990-ми гг., участвуя в переиздании трехтомного свода «Коми народных песен».

Исследователь внес большой вклад в подготовку трехтомного «Свода коми народных песен» (1966, 1968, 1971), отмеченного Государственной премией Коми АССР, трехтомника «История коми литературы» (1979, 1980, 1981) и трехтомной энциклопедии «Республика Коми» (1997, 1999, 2000). В 1980–1990-х гг. он редактировал сборники по фольклору, издаваемые в серии «Труды ИЯЛИ Коми НЦ УрО РАН». Разрабатывая такую литературоведческую тему, как «Коми детская литература», он участвовал в составлении биобиблиографического словаря «Писатели Коми АССР – детям» (1983). Большую работу Юрий Герасимович проделал по раскрытию псевдонимов коми писателей.

Почти нет фольклорной и литературоведческой темы, которую бы не затронул Ю.Г.Рочев. Он принял также активное участие и в исследовании наследия И.А.Куратова. Его интересовали не только литературоведческие аспекты, но и взаимосвязи фольклора и литературы в творчестве основоположника коми литературы И.А. Куратова. С учётом новых текстологических требований он проделал огромную работу, отредактировав подготовленное Е.С. Гуляевым и А.Н. Фёдоровой собрание художественных произведений И.А. Куратова, которое под названием «Коми гор» было издано в 1989 г. к 150-летию со дня рождения поэта.

Ю.Г.Рочев был руководителем, а также участником нескольких десятков фольклорных экспедиций на территории Республики Коми, Мурманский и Тюменской областей, Ненецкого автономного округа, во время которых был собран ценнейший фольклорный материал. Он автор более 130 опубликованных работ, изданных в том числе в Австрии, Венгрии и Финляндии.

Необходимо отметить, что в Научном архиве Коми НЦ образован личный фонд Ю.Г. Рочева (Ф. 27), содержащий научные работы (статьи, тезисы, доклады выступлений) и выписки из исследований, полевые дневники и материалы полевых исследований, документы по научно-организационной деятельности, биографии, переписку и фотографии.

Большой опыт полевой работы, огромнейший, накопленный фольклорный материал, знание быта и культуры не только коми, но и малых народов Севера позволили Ю.Г. Рочеву грамотно сформулировать актуальные проблемы для будущей докторской диссертации. Его интересовали генезис и типология явлений, историко-культурные контакты, импровизационные взаимодействия фольклорных традиций коми, коми-ижемцев и северных народов – ненцев, хантов, манси. Он видел перспективность изучения проблем, связанных с взаимодействием культур этих народов, опираясь на данные археологии, лингвистики, этнографии, истории и фольклора.

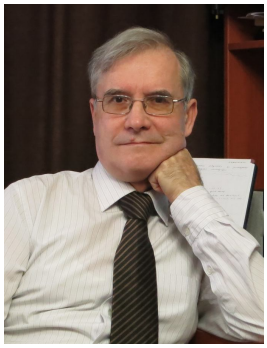
Ю.Г. Рочев пользовался большим авторитетом и признанием в широких кругах научной общественности как неутомимый труженик, отзывчивый, скромный и обаятельный человек.

Ученый скончался 29 октября 1995 г., похоронен на Центральном кладбище г.Сыктывкар.

Кудряшова В.М.,
Рассыхаев А.Н.

Известия Коми научного центра УрО РАН
№ 1(25). Сыктывкар, 2016.

АЛЕКСЕЙ ВИКТОРОВИЧ ЖУБР



14 марта 2016 г. исполнилось 70 лет известному математику, специалисту в области топологии многообразий, ведущему научному сотруднику лаборатории математики и телекоммуникаций Отдела математики Коми НЦ УрО РАН, доктору физико-математических наук **Алексею Викторовичу Жубру.**

А.В. Жубр окончил математический факультет Новосибирского государственного университета в 1970 г., затем поступил в аспирантуру при Ленинградском отделении Математического института (ЛОМИ) им. В.А. Стеклова, после окончания аспирантуры в 1974 г. и защиты кандидатской диссертации был принят на работу в ЛОМИ – ведущий математический институт страны. В 1976 г. по приглашению Я.М. Элиашберга Алексей Викторович приезжает работать в недавно созданный Сыктывкарский государственный университет. Здесь он прошел путь от старшего преподавателя до профессора кафедры геометрии, алгебры и математической статистики математического факультета. За эти годы им прочитано около 4500 лекций для студентов-математиков практически по всем основным фундаментальным математическим курсам, а также по разнообразным спецкурсам. За годы работы в Сыктывкаре его лекции прослушали примерно 1500 студентов-математиков. Под руководством Алексея Викторовича было выполнено более 30 дипломных и курсовых работ, он является научным руководителем аспирантов. Его ученики работают во всех отраслях экономики, науки и образования Республики Коми.

А.В. Жубр не только замечательный педагог, но и крупный ученый. Он внес большой вклад в развитие такого абстрактного и сложного раздела современной математики, как топология многообразий. В работах А.В. Жубра построен так называемый «экзотический» инвариант, что позволило ему впервые в мировой науке решить трудную проблему полной классификации замкнутых шестимерных многообразий, которая имеет большое значение для дальнейшего развития теоретических исследований в математической физике. Им разработаны перспективные методы для исследования важного в современной геометрии и до конца не решенного вопроса о наименьшей размерности погружений многообразий в евклидовы пространства.

После защиты в 2002 г. докторской диссертации на тему: «Классификация замкнутых односвязных 6-мерных спинорных многообразий» А.В. Жубр перешел на работу в Отдел математики Коми НЦ УрО РАН. Алексей Викторович опубликовал около 30 научных работ в ведущих российских и мировых математических журналах. Хотя количество работ относительно невелико, появление каждой из них становилось заметным событием в математической науке. Он неоднократно выступал с научными докладами на престижных международных форумах. На Международной конференции «Колмогоров и современная математика», состоявшейся в Московском государственном университете в 2003 г. и собравшей около 900 математиков со всего мира, доклад ученого был высоко оценен специалистами. Признанием его международного авторитета явилось приглашение выступить с пленарным докладом на Международной конференции по алгебраической топологии, проходившей в Кракове (Польша) в 2005 г. А.В. Жубр неоднократно выступал с научными докладами в ведущих научных центрах, таких как Университет штата Калифорния в Риверсайде (США), Стэнфордский университет (США), Технологический институт штата Джорджия (Атланта, США), Математический институт им. Банаха (Варшава, Польша).

Ученый обладает высокой математической эрудицией; он избран членом Санкт-Петербургского и Американского математических обществ. По своим научным достижениям А.В. Жубр является крупным математиком, вносящим существенный вклад в развитие математического образования в Республике Коми, а также российской и мировой науке.

Достижения А.В. Жубра отмечены Почетной грамотой Президиума Верховного Совета Коми ССР (1992 г.), Почетной грамотой Министерства образования Российской Федерации (2001 г.). В 2006 г. ему присвоено почетное звание «Заслуженный работник Республики Коми».

редколлегия

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ
журнала «Известия Коми НЦ УрО РАН»

Журнал публикует научно-аналитические обзоры (объем до 1,5 печ.л.), оригинальные статьи (до 0,8 печ.л) и краткие сообщения (до 0,3 печ.л.) теоретического и экспериментального характера по проблемам естественных, технических, общественных и гуманитарных наук, в том числе региональной направленности. Статьи должны отражать результаты законченных и методически правильно выполненных работ. К публикации также принимаются комментарии к ранее опубликованным работам, информация о научных конференциях, рецензии на книги, хроника событий научной жизни.

Направляя статью в наш журнал, Вы соглашаетесь с нашим **Положением о публикационной этике журнала** (на сайте журнала). 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 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**. 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. Количество иллюстраций (таблицы, рисунки, фото) в статье не должно превышать 5–7 шт., количество иллюстраций в кратких сообщениях – 2–3 шт.

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 инициалы и фамилии авторов, название статьи, аннотация и ключевые слова на английском языке. Английская аннотация объемом (до 2000 п.з. или 1 м.с.) для читателей, не владеющих русским языком, должна стать независимым источником информации (пересказом статьи). В тех случаях, когда текст статьи поделен на разделы, автор может подобным образом разделить и текст аннотации. Редколлегия проверяет качество английского текста и в одностороннем порядке вносит необходимые правки. Во избежание разночтений автор в отдельном файле представляет русский текст, по которому был произведен перевод расширенной аннотации.

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 подрисуночные подписи.

Во введении 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 единиц (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.

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 pix).

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.

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 отмечаются снизу квадратной скобкой. 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 необходимо приводить только цифрами в квадратных скобках. Список литературы должен быть представлен на отдельной странице и составлен в порядке упоминания источников в тексте в соответствии с примером (см. ниже). Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

После Списка литературы размещается References – Пристатейный список литературы в транслите (на латинице) и в квадратных скобках перевод названия статьи и журнала на английский язык. References повторяет в полном объеме, с той же нумерацией Список литературы на русском языке, независимо от того, имеются ли в нем иностранные источники. Если в списке есть ссылки на иностранные публикации, они полностью повторяются как в Списке литературы, так и в References.

Список литературы и References оформляется по нижеприведенным примерам (следует обратить особое внимание на знаки препинания):

Список литературы:

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.

References:

1. *Ivanov I.I.* Nazvanie stat'i [Article title] // Nazvanie zhurnala [Journal title]. 2005. T.41. № 4. S. 18–26.
2. *Petrov P.P.* Nazvanie knigi [Book title]. M.: Nauka, 2007. Общее число страниц в книге (например, 180 s.) или конкретная страница (например, S. 75.).
3. *Kazakov K.K.* Nazvanie dissertatsii [Dissertation title]: Dis. kand. biol. nauk. M.: Nazvanie instituta, 2002. 164 s.

При наличии большого количества авторов в списке литературы указываются все.

Для транслитерации списка литературы удобно использовать интернет-ресурс http://translit.ru/

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 5–7 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 диски 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 соблюдение 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, факс (8212) 24-17-46
E-mail: journal@presidium.komisc.ru.

Научный журнал

ИЗВЕСТИЯ
Коми научного центра
Уральского отделения РАН

Вып. 1(25)

Выпуск подготовили

Научный редактор М.В.Гецен
Помощник главного редактора А.В.Самарин
Редактор Т.В.Цветкова
Компьютерный дизайн и стилистика Р.А.Микушев
Компьютерное макетирование Н.А.Сулейманова
Корректура английского перевода Т.А. Искакова

Лицензия № 0047 от 10.01.1999.
Компьютерный набор. Подписано в печать 16.03.2016.
Формат бумаги 60x84$^{1}/_{8}$. Печать офсетная.
Усл.-печ.л. 16,25. Уч.-изд.л. 16. Тираж 300. Заказ № 2.

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.