

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

№2(18)

2014

Главный редактор:

академик *А.М. Асхабов*

Редакционная коллегия:

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

Редакционный совет:

акад. *В.В. Алексеев*, чл.-корр. РАН *В.Н. Анфилогов*,
акад. *В.И. Бердышев*, акад. *В.Н. Большаков*,
проф. *Т.М. Бречко*, д.э.н. *В.А. Ильин*,
акад. *В.Т. Калинин*, акад. *В.А. Коротеев*, к.т.н. *Н.А. Манов*,
акад. *В.П. Матвеев*, акад. *Г.А. Месяц*, 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 ком-
муникаций и охране культурного наследия. Свид. о ре-
гистрации средств массовой информации ПИ № ФС 77-
26969 от 11 января 2007 г.

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

Science Journal

Founded in 2010
Published 4 times a year

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

PROCEEDINGS

OF THE KOMI SCIENCE CENTRE
URAL BRANCH
RUSSIAN ACADEMY OF
SCIENCES

№2(18)

2014

Editor-in-chief:

academician *A.M. Askhabov*

Editorial Board:

Dr.Sci. (Tech.) *I.N.Andronov*, Dr.Sci. (Med.) *E.R.Boyko*, Dr.Sci. (Econ.) *N.M.Bolshakov*,
Dr.Sci. (Geol.&Mineral.) *I.N.Burtsev*, Cand.Sci. (Hist.) *I.O.Vaskul*,
Cand.Sci. (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*,
Cand.Sci. (Tech.) *V.E.Kuleshov*, RAS corresponding member *A.V.Kuchin*,
Dr.Sci. (Geol.&Mineral.) *O.B.Kotova*,
Dr.Sci. (Biol.) *N.V.Ladanova* (Executive Secretary),
RAS corresponding member *V.N.Lazhentsev*, Dr.Sci. (Hist.) *P.Yu.Pavlov*,
RAS corresponding member *I.M.Roshchevskaya*, Dr.Sci. (Chem.) *S.A.Rubtsova*,
Cand.Sci. (Hist.) *A.V.Samarin* (Sub-Editor), Dr.Sci. (Philol.) *G.V.Fedyuneva*,
Dr.Sci. (Tech.) *Yu.Ya.Chukreev*, Dr.Sci. (Biol.) *D.N.Shmakov*

Editorial Council:

academician *V.V.Alekseev*, RAS corresponding member *V.N.Anfilogov*,
academician *V.I.Berdyshev*, academician *V.N.Bolshakov*, Prof. *T.M.Brechko*,
Dr.Sci. (Econ.) *V.A.Ilyin*, academician *V.T.Kalinnikov*, academician *V.A.Koroteev*,
Cand.Sci. (Tech.) *N.A.Manov*, academician *V.P.Matveenko*, academician *G.A.Mesyats*,
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. (Technol.) *N.D.Tskhadaya*

Editorial Office:

Office 317, Presidium of the Komi Science Centre,
Ural Branch, RAS
24, Kommunisticheskaya st., Syktyvkar 167982
Tel. +7 8212 244779 Fax +7 8212 242264
E-mail: journal@presidium.komisc.ru
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 Janua-
ry, 2007.

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

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

- В.И. Пунегов, Д.В. Сивков. Статистическая теория дифракции рентгеновских лучей на сверхрешетке с коррелированными квантовыми точками сфероидальной формы 5
- Н.А. Секушин. Моделирование вынужденных колебаний частицы в нелинейном силовом поле.....13

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

- А.Г. Краснов, М.С. Королева, И.В. Пийр, Т.Е. Короткова. Синтез катионсодержащих титанатов висмута и их фотокаталитические свойства19

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- В.Г. Зайнуллин, И.С. Боднар, Б.М. Кондратёнок. Особенности накопления химических элементов в волосах детского населения Республики Коми.....24
- А.А. Естафьев. Распространение, миграции, численность, биология рогатого жаворонка *Eremophila alpestris* (L., 1758) на европейском Северо-Востоке России32
- Л.А. Шилова, Е.Н. Плюснина, А.А. Москалев. Влияние кондиционной повсеместной сверхэкспрессии генов репарации ДНК на устойчивость особей *Drosophila melanogaster* к действию стресс-факторов различной природы (оксидативному стрессу, тепловому шоку, голоданию)41
- Ю.В. Шорохов, И.М. Роцевская. Электрическое поле сердца в период деполяризации желудочков у крыс линии Нисаг с разной степенью артериальной гипертензии46
- Н.Г. Варламова, О.В. Рогачевская, Е.Р. Бойко. Функция внешнего дыхания у юношей и девушек в тепле и на холоде50

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Л.Н. Андреичева, Н.Г. Судакова. Оценка надежности межрегиональной корреляции средненеоплейстоценовых ледниковых горизонтов в центре и на севере Русской равнины.....55
- Т.А. Пономарева, А.М. Пыстин. Петрофизическая характеристика пород полиметаморфических комплексов севера Урала68

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- С.Л. Садов, Б.И. Тарбаев, Р.Е. Афонин. Вероятность геологического успеха на нефтегазоносных территориях, достигших исследовательской зрелости.....75
- В.А. Рашектаев, И.Н. Кручинин. Моделирование процесса уплотнения оснований дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог из слабых материалов.....80

ИСТОРИКО-ФИЛОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Е.А. Цыпанов. Семантические сходства прилагательных со значениями новый/молодой и старый в финно-угорских и тюркских языках83
- Г.В. Федюнева. Коми отглагольные прилагательные с суффиксом –са в контексте волжско-камских языковых контактов89
- Л.Л. Карпова. Аналитические формы прошедшего времени в северных диалектах удмуртского языка.....95

ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

- Т.Ю. Зенгина, О.И. Котова, Г.Г. Осадчая. Опыт мелкомасштабного картографирования современного природопользования Республики Коми 101

- ХРОНИКА 109

- ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТДЕЛ (ЮБИЛЕИ) 115

CONTENTS

PHYSICAL And MATHEMATICAL SCIENCES

- V.I. Punegov, D.V. Sivkov. A statistical theory of x-ray diffraction on a superlattice with correlated spheroidal quantum dots 5
- N.A. Sekushin. Simulation of particle forced oscillations in nonlinear force field13

CHEMICAL SCIENCES

- A.G. Krasnov, M.S. Koroleva, I.V. Piir, T.E. Korotkova. Synthesis of cation-containing bismuth titanates and their photocatalytic properties19

BIOLOGICAL SCIENCES

- V.G. Zainullin, I.S. Bodnar, B.M. Kondratenok. Particularity of accumulation of chemical elements in hair of children's population of the Republic of Komi24
- A.A. Estafyev. Spreading, migration, number and biology of shore lark *Eremophila alpestris* (L., 1758) in the European northeast of Russia32
- L.A. Shilova, E.N. Plyusnina, A.A. Moskalev. Influence of conditionally ubiquitous overexpression of DNA repair genes on resistance of *Drosophila melanogaster* individuals to different stress factors (oxidative stress, heat shock, starvation)41
- V.V. Shorokhov, I.M. Roshchevskaya. Cardiac electric field during ventricular depolarization of ISIAH rats with various degrees of arterial hypertension46
- N.G. Varlamova, O.V. Rogachevskaya, E.R. Bojko. External respiratory function in youth and girls in heat and cold50

GEOLOGICAL And MINERALOGICAL SCIENCES

- L.N. Andreicheva, N.G. Sudakova. Reliability evaluation of interregional correlation of the Middle Neopleistocene glacial horizons in the center and north of the Russian Plain55
- T.A. Ponomareva, A.M. Pystin. Petrophysical characteristic of rocks of polymetamorphic assemblages in the north of the Urals68

TECHNICAL SCIENCES

- S.L. Sadov, B.I. Tarbaev, R.E. Afonin. Probability of geological success on well-researched oil-and-gas bearing terrains75
- V.A. Rashchektaev, I.N. Kruchinin. Modelling the process of soft crushed rock materials compaction in logging roads80

HISTORICAL And PHILOLOGICAL SCIENCES

- E.A. Tsypanov. Semantic similarities of adjectives with *new/young* and *old* meanings in the Finno-Ugric and Turkic languages83
- G.V. Fedyunova. Komi verbal adjectives with suffix *-ca* in context of the Volga-Kama language contacts89
- L.L. Karpova. Analytical past tense forms in the northern dialects of the Udmurt language95

SOCIAL SCIENCES

- T.Yu. Zengina, O.I. Kotova, G.G. Osadchaya. The experience in small-scale mapping of modern nature management of the Komi Republic 101

CHRONICLE 109

OFFICIAL (ANNIVERSARIES) 115

УДК 548.732

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ДИФРАКЦИИ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ НА СВЕРХРЕШЕТКЕ С КОРРЕЛИРОВАННЫМИ КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ СФЕРОИДАЛЬНОЙ ФОРМЫ

В.И. ПУНЕГОВ, Д.В. СИВКОВ

Отдел математики, Коми научный центр УрО РАН, г. Сыктывкар
vpunegov@dm.komisc.ru

Разработана статистическая теория дифракции рентгеновских лучей на полупроводниковой сверхрешетке с учетом пространственной корреляции квантовых точек сфероидальной формы. Исследовано угловое распределение когерентного и диффузного рассеяния в зависимости от структурных характеристик сверхрешетки. Проведено численное моделирование рентгеновской дифракции на сверхрешетке GaAs(001)-Al GaAs-{InAs QDs-GaAs}_{x20} SL. Результаты расчетов сравниваются с экспериментальными данными.

Ключевые слова: квантовые точки, рентгеновская дифрактометрия, когерентное и диффузное рассеяние

V.I. PUNEGOV, D.V. SIVKOV. A STATISTICAL THEORY OF X-RAY DIFFRACTION ON A SUPERLATTICE WITH CORRELATED SPHEROIDAL QUANTUM DOTS

A statistical theory of X-ray diffraction on a semiconductor superlattice is developed taking into account the spatial correlation of spheroidal quantum dots. The angular distribution of coherent and diffuse scattering, depending on the structural characteristics of the SL is studied. A numerical simulation of X-ray diffraction on GaAs (001)-Al GaAs-{InAs QDs-GaAs} x20 superlattice is performed. The calculated results are compared with experimental data.

Keywords: quantum dots, X-ray diffraction, coherent and diffuse scattering

1. Введение

Массивы квантовых точек (КТ) с высокой степенью однородности имеют широкий спектр применений в нано- и оптоэлектронике, включая лазеры, солнечные элементы, транзисторы, эмиттеры, инфракрасные фотоприемники и т.д. [1]. Поэтому основной проблемой остается неразрушающий контроль за формой, размерами и пространственным распределением КТ на большой площади их размещения в растущих эпитаксиальных слоях.

Перспективным методом исследования эпитаксиальных систем с квантовыми точками остается высокоразрешающая рентгеновская дифрактометрия [2]. Этот метод успешно использован для исследования Ge/Si [3], InAs/GaAs [4], PbSe/PbEuTe [5] и EuTe/SnTe [6] многослойных систем с массивами КТ.

Получение количественных характеристик как самой многослойной структуры в целом, так и усредненных параметров КТ возможно методом численного моделирования углового распределения когерентной дифракции и диффузного рассея-

ния. Такая вычислительная процедура реализуется в рамках статистической теории дифракции рентгеновских лучей на многослойных структурах [7]. Если для получения информации о толщинах слоев, их композиционном составе, деформациях несоответствия, наличии или отсутствии релаксационных процессов иногда достаточны лишь данные когерентного рассеяния, то для нахождения структурных параметров КТ требуется анализ двумерных карт интенсивности диффузного рассеяния. Перспективность одновременного учета когерентного и диффузного рассеяния рентгеновских лучей недавно продемонстрирована на примере изучения пористых кристаллов [8] и полупроводниковых сверхрешеток с КТ [9-11]. Для количественного анализа экспериментальных данных необходимо учитывать как размеры, форму КТ, упругие деформации вокруг них [12], так и пространственное расположение КТ в вертикальном [13] и латеральном направлениях [14].

Настоящая работа посвящена разработке последовательной теории когерентного и диффузного рассеяния рентгеновских лучей от полупроводниковой сверхрешетки (СР) с учетом индивиду-

альных структурных характеристик КТ и их пространственной корреляции применительно к высококоразрешающей трехкристалльной дифрактометрии.

2. Когерентное рассеяние на полупроводниковой сверхрешетке

Рассмотрим дифракцию рентгеновских лучей на многокомпонентной СР [10]. Характерным параметром такой СР является ее период, состоящий из слоев разного химического состава, а, следовательно, слоев с разным параметром решетки. Пусть d – межплоскостное расстояние кристаллической подложки и d_p – межплоскостные расстояния отдельных слоев периода (с учетом упругой деформации при наличии несоответствия решеток). Обозначим толщину отдельного слоя как l_p , где $p=1,2,...,P$ задает номер слоя, P – число слоев в периоде СР. Тогда среднее межплоскостное расстояние многокомпонентной СР запишется как

$d_{SL} = \sum_{p=1}^P d_p l_p / l_{SL}$, где $l_{SL} = \sum_{p=1}^P l_p$ – толщина периода СР. Совершенство кристаллической решетки каждого слоя СР определяется статическим фактором Дебая-Валлера.

Решение для амплитудного коэффициента отражения когерентных рентгеновских волн от N -периодной СР можно записать в виде

$$R_{SL}^c(q_x, q_z) = iF_c(q_z) N_c(q_z) W(q_x) \times \exp\left(i(N-1) \sum_{p=1}^P A_p(q_z) l_p\right), \quad (1)$$

где $W(q_x) = \int_{-L_x/2}^{L_x/2} dx \exp(iq_x x)$ – параметр, зависящий от размера рентгеновского пучка, L_x – латеральный размер засветки поверхности сверхрешетки. Интерференционная функция Лауэ многокомпонентной сверхрешетки имеет вид

$$N^c(q_z) = \frac{\sin\left(N \sum_{p=1}^P A_p(q_z) l_p\right)}{\sin\left(\sum_{p=1}^P A_p(q_z) l_p\right)}.$$

Здесь $A_p(q_z) = (2\pi(d_p - d)/d_p d - q_z)/2$ – угловой параметр. Структурная амплитуда многокомпонентной СР запишется как

$$F_{SL}^c(q_z) = \sum_{p=1}^P a_h^{(p)} f_p \frac{\sin(A_p(q_z) l_p)}{A_p(q_z)} \times \exp\left(i \sum_{k=1}^{p-1} 2A_k(q_z) l_k + iA_p(q_z) l_p\right). \quad (2)$$

Здесь коэффициенты $a_h^{(p)} = C\pi\chi_h^{(p)}/(\lambda\gamma_h)$ определяются взаимодействием рентгеновского поля с электронной плотностью среды чередующихся слоев СР, где $\gamma_h = |\sin\theta_B|$, θ_B – угол Брэгга, C – поляризационный фактор, λ – длина волны рентгеновского излучения в вакууме. Фурье-

компоненты рентгеновской поляризуемости $\chi_h^{(p)}$ связаны со структурными факторами слоев СР $F_{hkl}^{(p)}$ соотношением $\chi_h^{(p)} = -r_0 \lambda^2 F_{hkl}^{(p)} / (\pi V_c)$, где V_c – объем элементарной ячейки, $r_0 = e^2 / (mc^2)$ – классический радиус электрона, e , m – заряд и масса электрона. В случае двухкомпонентной СР ($p = 1, 2$) решение (1) примет вид [15]

$$R_{SL}^c(q_x, q_z) = iF_{SL}^c(q_z) e^{i\psi} \frac{\sin(Ny)}{\sin(y)} W(q_x), \quad (3)$$

где $y = A_1 l_1 + A_2 l_2$, $A_{1,2} = ((ba_0 - q_z) + \varepsilon_{1,2} h) / 2$, $\psi = (N-1)y + A_1 l_1$. Структурная амплитуда сверхрешетки запишется как

$$F_{SL}^c(q_z) = a_h^{(1)} f_1 \frac{\sin(A_1 l_1)}{A_1} + e^{i\psi} a_h^{(2)} f_2 \frac{\sin(A_2 l_2)}{A_2}.$$

Для сложных многослойных систем когерентное рассеяние вычисляется с использованием рекуррентной процедуры. Если гетероструктура состоит из N слоев, включая подложку, амплитудный коэффициент отражения от гетероструктуры $R_N^c(q_x, q_z)$ при известном коэффициенте отражения $R_{N-1}^c(q_x, q_z)$ от $(N-1)$ нижних слоев вычисляется как

$$R_N^c(q_x, q_z) = \frac{(S_1^{(N)} b_2^{(N)} - S_2^{(N)} b_1^{(N)})}{S_1^{(N)} - S_2^{(N)}},$$

где

$$S_1^{(N)} = (R_{N-1}^c(q_x, q_z) - b_1^{(N)}) \exp(i\xi^{(N)} l_N),$$

$$S_2^{(N)} = R_{N-1}^c(q_x, q_z) - b_2^{(N)},$$

$$b_{1,2}^{(N)} = \xi_{1,2}^{(N)} / [f_N a_{-h}^N],$$

$$\xi_{1,2}^{(N)} = (-q_z^N \pm \xi^{(N)}) / 2,$$

$$\xi^{(N)} = \sqrt{(q_z^N)^2 - 4a_h^N a_{-h}^N f_N^2},$$

$$q_z^N = (1+b)a_0^N + \varepsilon^N h + q_z,$$

$\varepsilon^N = \Delta d_N / d_0$ – деформации решетки слоя с номером N .

Вычислив амплитудный коэффициент отражения от гетероструктуры, получаем распределение интенсивности когерентного рассеяния в обратном пространстве $I_h^c(q_x, q_z) = |R_N^c(q_x, q_z)|^2$. Здесь q_x, q_z – проекции вектора $\mathbf{q} = \mathbf{k}_h - \mathbf{k}_0 - \mathbf{h}$, где $\mathbf{k}_{0,h}$ – волновые векторы падающего и отраженного рентгеновского пучка, $\mathbf{h}$ – вектор обратной решетки, имеют вид

$$q_x = (2\pi/\lambda)((\sin\theta_1 + \sin\theta_2) \cdot \omega - \sin\theta_2 \cdot \varepsilon),$$

$$q_z = -(2\pi/\lambda)((\cos\theta_1 - \cos\theta_2) \cdot \omega + \cos\theta_2 \cdot \varepsilon).$$

В этих выражениях $\theta_{1,2} = \theta_B \mp \varphi$ – углы, определяющие направления падающей и дифракционной волны относительно входной поверхности кристалла, φ – угол скоса отражающих плоскостей к поверхности образца, ω, ε – угловые отклонения образца и анализатора в используемой схеме.

3. Диффузное рассеяние

Выражение для интенсивности диффузного рассеяния при наличии пространственной корреляции КТ имеет вид

$$I_h^d(\mathbf{q}) = |a_h|^2 (1 - f^2) V_0 T(\mathbf{q}), \quad (4)$$

где $f = (f_1 l_1 + f_2 l_2) / l$ и $a_h = (a_1 l_1 + a_2 l_2) / l$ – усредненные значения статического фактора Дебая-Валлера и рассеивающей способности кристалла, V_0 – засвеченный рентгеновским пучком объем кристалла.

Основным параметром выражения (4), отвечающим за угловое распределение интенсивности ДР, является корреляционный объем

$$T(\mathbf{q}) = \int_{-\infty}^{+\infty} d\mathbf{p} G(\mathbf{p}) \exp(i\mathbf{q}\mathbf{p}), \quad (5)$$

где $G(\mathbf{p})$ – обобщенная корреляционная функция. Отметим, что пространственная корреляция КТ может быть описана моделями дальнего или ближнего порядка. В случае дальнего порядка реализуется жесткая фиксация равновесных положений всех КТ, при этом эти равновесные положения имеют строгий трансляционный порядок (размещение единиц рассеяния первого рода). Для ближнего порядка справедлив закон распределения ближайших соседей, при этом отсутствует строгая периодическая фиксация всех соседей (размещение единиц рассеяния второго рода). В данном случае если установлен закон распределения для ближайших соседей, то из него можно вывести всю функцию распределения. Ближний порядок может быть описан паракристаллической моделью [13]. Обобщенная корреляционная функция представляется в виде свертки функции пространственного распределения квантовых точек $W(\mathbf{p})$ и их собственной корреляционной функции (СКФ) $g(\mathbf{p})$:

$$G(\mathbf{p}) = \int_{-\infty}^{+\infty} d\mathbf{p}' W(\mathbf{p}') g(\mathbf{p}' + \mathbf{p}), \quad (6)$$

где СКФ Като имеет вид

$$g(\mathbf{p}) = \frac{\langle \exp(i\mathbf{h}[\delta\mathbf{u}(\mathbf{p}) - \delta\mathbf{u}(0)]) \rangle}{1 - f^2} > -f^2. \quad (7)$$

С учетом (6) корреляционный объем (5) запишется в виде произведения

$$T(\mathbf{q}) = \tau(\mathbf{q}) F(\mathbf{q}), \quad (8)$$

где

$$\tau(\mathbf{q}) = \int_{-\infty}^{+\infty} d\mathbf{p} g(\mathbf{p}) \exp(i\mathbf{q}\mathbf{p}) \quad (9)$$

– корреляционный объем КТ определенной формы и

$$F(\mathbf{q}) = \int_{-\infty}^{+\infty} d\mathbf{p} W(\mathbf{p}) \exp(i\mathbf{q}\mathbf{p}) \quad (10)$$

– интерференционный структурный фактор, описывающий пространственный порядок в расположении КТ. Собственную корреляционную функцию КТ в кристалле можно представить в виде

$$g(\mathbf{p}) = (1/V_p) \int D(\mathbf{r}) D^*(\mathbf{r} + \mathbf{p}) d\mathbf{r}, \quad (11)$$

где V_p – объем КТ. Функция $D(\mathbf{r})$ зависит от поля случайных деформаций и описывает локальные нарушения кристаллической решетки. В рассматриваемом случае эти нарушения вызваны с расположением КТ в кристаллической матрице. Пусть c_{QD} – концентрация КТ в кристаллической матрице, тогда с использованием $D(\mathbf{r})$ можно также записать выражение для статического фактора Дебая-Валлера КТ:

$$f_{QD} = \exp(-c_{QD} \int D(\mathbf{r}) d\mathbf{r}). \quad (12)$$

В СР расположение квантовых точек в вертикальном направлении имеет строго выраженный дальний порядок, связанный с периодическим чередованием слоев. В связи с этим рассмотрим функцию пространственного распределения квантовых точек $W(\mathbf{p})$. Эта функция может быть записана как

$$W(\mathbf{p}) = W_L(\rho_x, \rho_y) W_V(\rho_z), \quad (13)$$

где $W_L(\rho_x, \rho_y)$ описывает латеральное и $W_V(\rho_z)$ – вертикальное распределение КТ. Соответственно интерференционный структурный фактор (10) запишется в виде произведения

$$F(\mathbf{q}) = F_L(q_x, q_y) F_V(q_z), \quad (14)$$

где

$$F_L(q_x, q_y) = \int_{-\infty}^{+\infty} d\rho_x \int_{-\infty}^{+\infty} d\rho_y W_L(\rho_x, \rho_y) \times \exp(i[q_x \rho_x + q_y \rho_y]) \quad (15)$$

и

$$F_V(q_z) = \int_{-\infty}^{+\infty} d\rho_z \exp(iq_z \rho_z) W_V(\rho_z). \quad (16)$$

3.1. Модель сфероидальных квантовых точек

Корреляционный объем КТ как функцию координат обратного пространства запишем в простом виде

$$\tau(\mathbf{q}) = |D(\mathbf{q})|^2 / V_{QD}. \quad (17)$$

Здесь V_{QD} – объем КТ,

$$D(\mathbf{q}) = \int D(\mathbf{r}) \exp(i\mathbf{q}\mathbf{r}) d\mathbf{r} \quad (18)$$

– амплитуда диффузного рассеяния, представляющая собой Фурье-образ $D(\mathbf{r})$ в выражении для собственной корреляционной функции (11).

Для модели сфероидальной КТ (рис.1) амплитуда диффузного рассеяния имеет вид

$$D(\mathbf{q}) = D_{SW}(\mathbf{q}) + D_H(\mathbf{q}) + D_Q(\mathbf{q}) + D_O(\mathbf{q}) + \dots \quad (19)$$

В (19) первое слагаемое $D_{SW}(\mathbf{q})$ – амплитуда рассеяния для сфероидальных включений без учета деформаций вне КТ (амплитуда рассеяния Стокса-Вильсона), $D_H(\mathbf{q})$ – амплитуда хуанговского рассеяния, $D_Q(\mathbf{q})$ – поправка к амплитуде за счет уче-

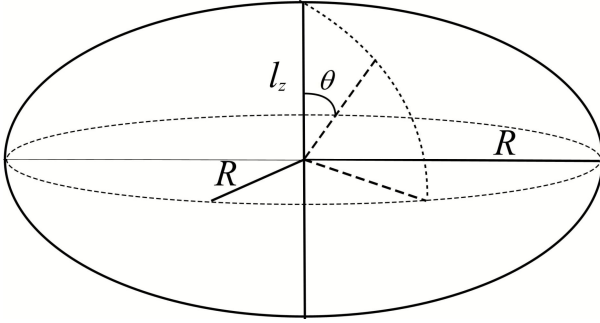


Рис.1. Модель квантовой точки в форме сфероида.

та квадрупольного члена поля деформаций, $D_o(q)$ – следующий мультипольный член разложения.

Вычисление амплитуды рассеяния Стокса-Вильсона для эллиптического включения выполнено в цилиндрической системе координат. Решение может быть представлено в интегральной форме с использованием функции Бесселя первого порядка $J_1(q_0 R_z)$:

$$D_{sw}(q) = 2\pi \int_{-l_z/2}^{l_z/2} \frac{R_z}{q_0} J_1(q_0 R_z) \exp(iq_z z) dz, \quad (20)$$

где $q_0 = \sqrt{q_x^2 + q_y^2}$, $R_z = \sqrt{1 - z^2 / (l_z / 2)^2}$.

Второй член суммы (19) описывает хуанговское рассеяние. Расчет этого слагаемого производился в обобщенной сферической системе координат, в итоге получено следующее выражение для амплитуды хуанговского диффузного рассеяния:

$$D_H(q) = \frac{2\pi A h q}{q^2} \Phi_1(q, R, l_z). \quad (21)$$

Здесь функция $\Phi_1(q, R, l_z)$ зависит от $q = \sqrt{q_x^2 + q_y^2 + q_z^2}$ и параметров сфероида R, l_z :

$$\Phi_1(q, R, l_z) = \int_{-1}^1 dx \exp(iq \rho(x, R, l_z) x),$$

где $\rho(x, R, l_z) = R \left(1 + \left[\frac{R^2}{(l_z / 2)^2} - 1 \right] x^2 \right)^{-1/2}$.

Квадрупольная поправка при $R \leq 4l$ существенно меньше двух первых слагаемых в (19) и может быть записана по аналогии с (21) как

$$D_o(q) = 6\pi A \frac{[(l_z / 2)^2 - R^2] h q}{25} \Phi_2(q, R, l_z), \quad (22)$$

где

$$\Phi_2(q, R, l_z) = \int_{-1}^1 dx (3x^2 - 1) x^2 \times \left(\frac{e^{iqR(x)x}}{iqR(x)x} + E_1(-iqR(x)x) \right),$$

$E_1(iR) = \int_R^\infty \frac{\exp(-iz)}{z} dz$ – интегральная экспонента.

Следующий член разложения (19) имеет вид

$$D_o(q) = -\pi A \frac{[(l_z / 2)^2 - R^2]^2 h q}{441} \Phi_3(q, R, l_z), \quad (23)$$

где

$$\Phi_3(q, R, l_z) = \int_{-1}^1 dx (35x^4 - 30x^2 + 3) x^4 \times \left[\frac{e^{iqR(x)x}}{iqR(x)x} \left(1 + \frac{2 + iqR(x)x}{(iqR(x)x)^2} \right) + E_1(-iqR(x)x) \right].$$

3.2. Вертикальная корреляция квантовых точек

Рассмотрим вертикальную корреляцию КТ в СР. Вертикальное распределение КТ

$$W_V(\rho_z) = W_V(\rho_z + l)$$

является периодической функцией вдоль направления z , поэтому ее можно разложить в ряд Фурье:

$$W_V(\rho_z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} B_n \exp(-inK_z \rho_z), \quad (24)$$

где $K_z = 2\pi/l$ – период модуляции сверхрешетки в обратном пространстве (расстояние между дифракционными сателлитами). Фурье-коэффициенты находятся вычислением интеграла

$$B_n = \frac{1}{l} \int_0^l W_V(\rho_z) \exp(inK_z \rho_z) d\rho_z.$$

Подставляя (24) в (16), получаем

$$F_V(q_z) = \int_{-\infty}^{+\infty} d\rho_z \exp(iq_z \rho_z) \sum_{n=-\infty}^{\infty} B_n \exp(inK_z \rho_z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} B_n \int_{-\infty}^{+\infty} d\rho_z \exp(i[q_z - nK_z] \rho_z). \quad (25)$$

3.3. Латеральная корреляция квантовых точек

Для описания латеральной пространственной корреляции может быть использована паракристаллическая модель [14]. В рамках этой модели латеральный структурный фактор для M квантовых точек имеет вид

$$F(q_x, q_y) = 1 + \frac{2}{M} \operatorname{Re} \left[\frac{Z_1(q_x, q_y)}{(1 - Z_1(q_x, q_y))^2} \times \left((1 - Z_1(q_x, q_y))^M - (1 - Z_1(q_x, q_y))^M \right) \right]. \quad (26)$$

Здесь

$$Z_1(q_x, q_y) = \int_{-\infty}^{+\infty} d\rho_x \int_{-\infty}^{+\infty} d\rho_y H_1(\rho_x, \rho_y) \times \exp(i[q_x \rho_x + q_y \rho_y]),$$

где $H_1(\rho_x, \rho_y)$ – функция вероятностного расположения первых соседей фиксированной КТ.

3.4. Статистическое усреднение структурных параметров

При отсутствии пространственной корреляции КТ угловое распределение диффузного рассеяния полностью определяется выражением для корреляционного объема (22). Сфероидальная модель КТ привлекательна по следующим причинам: 1. Имеет аналитическое решение в теории диффузного рассеяния в рамках мультипольного формализма; 2. Позволяет учитывать влияние упругих деформаций вблизи остова КТ; 3. В процессе численного моделирования легко варьируются основные параметры КТ; 4. Эта модель наиболее проста для статистического усреднения размеров КТ.

Поскольку современные технологии не позволяют получать самоорганизованные КТ исключительно одного размера, весьма важным аспектом в теории диффузного рассеяния является статистическое усреднение по размерам наноструктур.

Выполним статистическое усреднение по размерам квантовой точки L с использованием логарифмического нормального распределения

$$p_{LN}(L) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} L \sigma_{LN}} \times \exp \left\{ -\frac{\left[\ln \left(\frac{L}{\langle L \rangle} \right) + \frac{\sigma_{LN}^2}{2} \right]^2}{2\sigma_{LN}^2} \right\}, \quad (L \geq 0), \quad (27)$$

где $\langle L \rangle = \int_0^\infty L p_{LN}(L) dL$ – средний размер КТ в латеральном или вертикальном направлении. Дисперсия размера КТ $\sigma_L^2 = \int_0^\infty (L - \langle L \rangle)^2 p_{LN}(L) dL$ и положение максимума L_{max} в распределении КТ по размерам, запишутся как

$$\sigma_L^2 = [\exp(\sigma_{LN}^2) - 1] \langle L \rangle^2, \\ L_{max} = \exp(-3\sigma_{LN}^2 / 2) \langle L \rangle.$$

Выбор такого распределения вызван необходимостью исключить возможность возникновения вероятности отрицательных размеров наноструктур. С другой стороны, малый разброс по размерам КТ приводит к совпадению с нормальным распределением: $\sigma_L^2 \cong \sigma_{LN}^2 \langle L \rangle^2$, $L_{max} \cong \langle L \rangle$.

4. Численное моделирование

Выражение для интенсивности диффузного рассеяния от сверхрешетки с КТ запишем в виде, удобном для вычисления двумерных карт в обратном пространстве [17]:

$$I_h^d(q_x, q_z) = |a_h|^2 (1 - f^2) V_0 F_V(q_z) \times \int_{-\infty}^{\infty} dq_y \tau(q) F_L(q_x, q_y). \quad (28)$$

Когерентное рассеяние на полупроводниковой системе GaAs(001)-Al GaAs-[InAs QDs-GaAs]_{x20 SL}

рассчитано с использованием формулы (1) и известной рекуррентной процедуры для учета дифракции на подложке и буферном слое. Наилучшее согласие расчетов и данных эксперимента получено при следующих данных: толщина слоя In_{0.11}Ga_{0.89}As – 5.2 nm, толщина слоя GaAs – 14.8 nm, рассогласование параметров решетки $\Delta d = d_{InGaAs} - d_{GaAs} = 2.2 \times 10^{-6}$, деформация – $\Delta d / d_{GaAs} = 0.016$, статический фактор Дебая-Валлера слоя с квантовыми точками равен

$$f_{QD} = \exp(-c_{QD} V_{QD}) = 0.85,$$

где $V_{QD} = (3\pi/2) R^2 l_z = 1.6 \times 10^{-6} \mu m^3$ – объем КТ, $R = 12.5$ nm – латеральный радиус КТ; $l_z = 5$ nm – высота (вертикальный размер) КТ; $c_{QD} = 9.9 \times 10^4 \mu m^{-3}$ – концентрация КТ в InGaAs-слое периода СР (эта величина вычислена с учетом объема КТ и среднего расстояния между центрами КТ $a = 65$ nm).

Вычисления выполнены для (004) отражения σ -поляризованного CuK_{α1} излучения. Угол Брэгга для выбранного отражения составляет 33.026 угл. град., межплоскостное расстояние подложки

$d_{004} = 1.1433 \text{ \AA}$, Фурье-компоненты рентгеновской поляризуемости

$$\chi_0^{GaAs} = (-2.89 + i 0.084) \times 10^{-5}, \\ \chi_h^{GaAs} = (-1.697 + i 0.078) \times 10^{-5}, \\ \chi_0^{InAs} = (-3.07 + i 0.24) \times 10^{-5}, \\ \chi_h^{InAs} = (-1.18 + i 0.21) \times 10^{-5} [16].$$

На рис.2. показаны расчетная и экспериментальная кривые дифракционного отражения (q_z - сечения) сверхрешетки GaAs(001)-AlGaAs-[InAs QDs-GaAs]_{x20 SL}. Расчетная кривая приведена с учетом когерентного и диффузного рассеяния.

Первым шагом в исследовании диффузного рассеяния от сверхрешетки является выбор модели квантовой точки. Недавно нами было проведено численное моделирование диффузного рассеяния от структур с КТ разной формы в виде цилиндра, усеченного конуса и эллипсоида [18] на основе метода функции Грина. Отметим, что уменьшение расстояний между соседними КТ и статистическое усреднение по их размерам приводят к сглаживанию различий в угловом распределении диффузного рассеяния. Поэтому главным параметром, характеризующим квантовые точки, является отношение диаметра КТ к ее высоте. При определенных технологических условиях формируются КТ эллипсоидальной формы [19]. Часто встречающиеся КТ в виде линз [20] могут быть аппроксимированы моделью сфероидальных квантовых точек. Для такой модели упругие деформации вне остова квантовой точки вычислены с помощью метода функций Грина [20]. На рис. 3. показано поле атомных смещений вне сфероидальной квантовой точки внутри отдельного слоя периода рассматриваемой сверх-

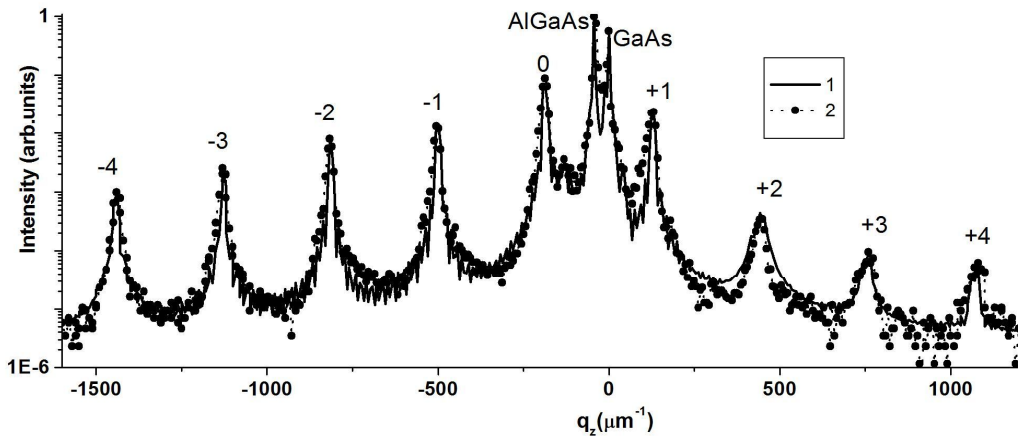


Рис.2. q_z - сечения углового распределения интенсивности рассеяния от сверхрешетки GaAs(001)-AlGaAs- $\{\text{InAs QDs-GaAs}\}_{\times 20 \text{ SL}}$. 1 – теоретический расчет; 2 – экспериментальное измерение.

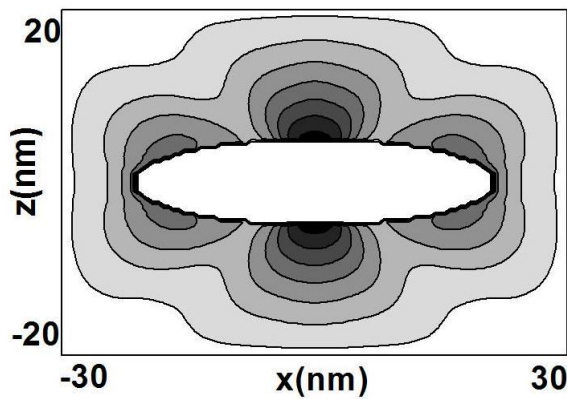


Рис. 3. Поле атомных смещений вне квантовой точки сфероидальной формы в слое периода сверхрешетки.

решетки. Вычисленные упругие деформации использованы для расчетов диффузного рассеяния (рис.4а). Такое угловое распределение диффузного рассеяния характерно для хаотически распределенных квантовых точек. Однако в полупроводниковых структурах скрытые квантовые точки имеют определенный (ближний или дальний) порядок, что требует учета корреляций в расположении КТ.

Для описания латеральных корреляций между ближайшими соседними КТ использован формализм паракристаллического распределения наноструктур в горизонтальном направлении [13]. Паракристаллическая модель базируется на введении вероятностной функции нахождения КТ. В расчетной модели пространственно коррелированные квантовые точки в эпитаксиальном слое InGaAs образуют стохастическую решетку, размытие решетки описывается нормальным (гауссовым) распределением. Функции распределения квантовых точек $W(\rho_x)$ для среднего расстояния между центрами КТ $a = 65 \text{ nm}$ и значения дисперсии $\Delta^a = 0.45a = 29 \text{ nm}$ вычислены для большого числа ($M \rightarrow \infty$) КТ. Соответствующий этой функции

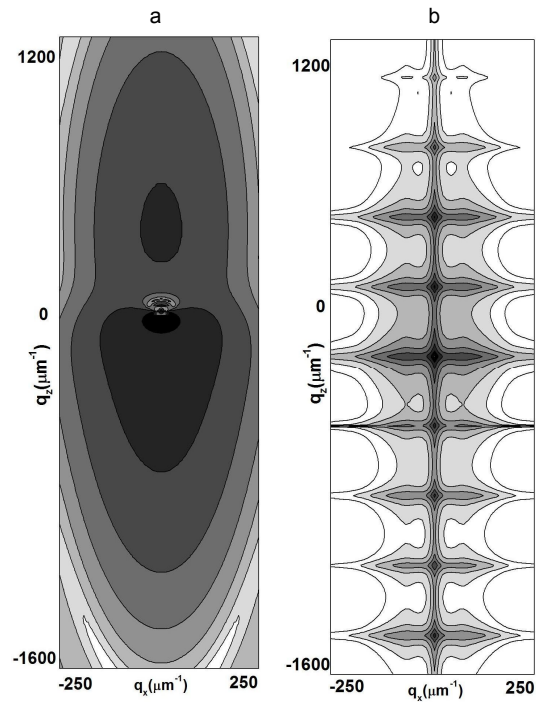


Рис.4. Расчетные карты углового распределения диффузного рассеяния от полупроводниковой сверхрешетки $\{\text{InAs QDs-GaAs}\}_{\times 20 \text{ SL}}$ с КТ: а) отсутствие пространственной корреляции КТ; б) наличие вертикальной и латеральной корреляции КТ.

интерференционный структурный фактор $F_L(q_x)$ получен с использованием решения (26).

Ранее в рамках статистической теории дифракции на гармонической сверхрешетке было продемонстрировано совпадение максимумов когерентного и диффузного рассеяния [22]. Как правило, такое физическое явление характерно и для рентгеновского рассеяния от полупроводниковых СР, за исключением некоторых случаев дифракции на сложных многокомпонентных структурах [10].

Следующим шагом является вычисление диффузного рассеяния от сверхрешетки $\{\text{InAs QDs-GaAs}\}_{\times 20 \text{ SL}}$ с КТ с учетом вертикальной корреляции.

Поскольку период СР строго выдержан и составляет 20 nm, вертикальная корреляция описывается в рамках модели дальнего порядка на основе решения (25). С учетом конкретной модели СР главный (нулевой порядок) диффузный максимум сдвинут на величину $\Delta q_z^{(0)} = 187 \mu\text{m}^{-1}$ относительно подложки. Сопоставлением численных расчетов и экспериментальных данных мы получили, что вертикальная корреляционная длина (средняя длина стекированных КТ) оказалась равной 140 nm. Это означает, что когерентный рост массива КТ выдержан не по всей толщине сверхрешетки, а в среднем составляет семь периодов СР. Угловое распределение диффузного рассеяния от сверхрешетки с учетом латеральной и вертикальной корреляции показано на рис. 4 б.

Для количественного анализа полупроводниковых систем с КТ в рамках выбранной модели необходимо учитывать так называемую инструментальную функцию, зависящую от используемых в эксперименте характеристик дифрактометра. Рентгенодифракционные измерения проводились на высокоразрешающем дифрактометре X'Pert MRD (PANalytical) с использованием многослойного фокусирующего зеркала, Ge(011) Bartels монохроматора и трехкратного Ge(011) анализатора. Карты углового распределения интенсивности рассеяния снимались с кристаллом-анализатором в режиме q_z/q_x сканирования вблизи симметричного (004) узла обратной решетки. Инструментальная функция дифрактометра показана на рис. 5.

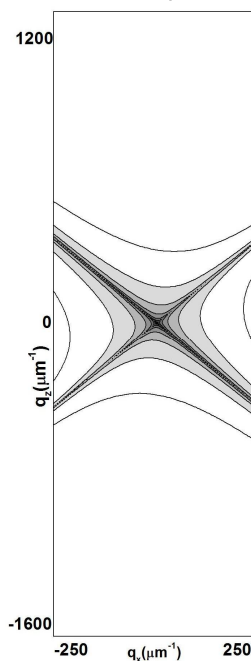


Рис. 5. Инструментальная функция дифрактометра.

На рис. 6 представлены экспериментальная и расчетная карты распределения интенсивности рассеяния от СР GaAs(001)-Al GaAs-{InAs QDs-GaAs}_{x20 SL} вблизи узла обратной решетки GaAs (004). При расчете полной интенсивности (когерентной и диффузной составляющих) от подложки

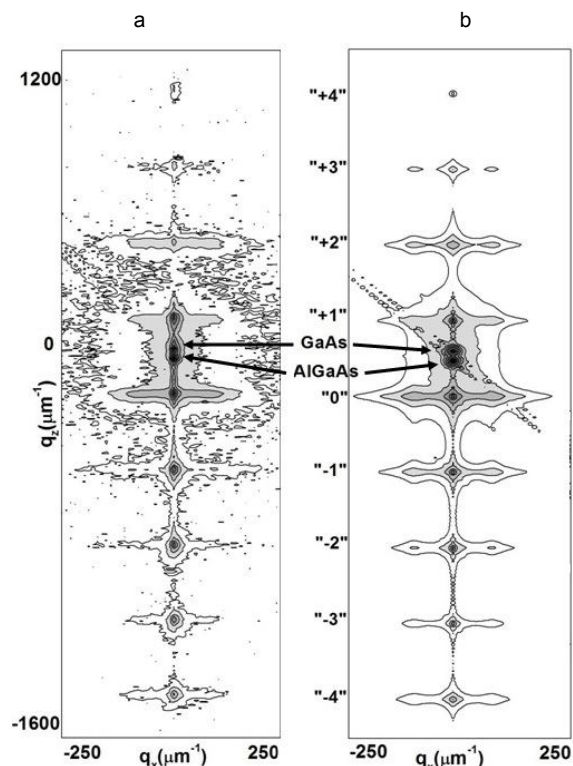


Рис. 6. Расчетная (а) и экспериментальная (б) карты распределения интенсивности рассеяния от СР GaAs(001)-Al GaAs-{InAs QDs-GaAs}_{x20 SL}.

и буферного слоя учитывалось диффузное рассеяние от совокупности точечных и протяженных дефектов, которые в купе могут быть описаны корреляционной функцией гауссова типа, при этом статистический фактор Дебая-Валлера для подложки и AlGaAs слоя составил $f_s = 0.95$.

Заключение

Рассмотренная теория и разработанный на ее основе алгоритм численного моделирования позволяют проводить количественный анализ структурных особенностей полупроводниковых систем с КТ. Это является важным еще и потому, что широко используемые в настоящее время методы просвечивающей электронной микроскопии (ТЕМ) и атомно-силовой микроскопии (АФМ) хоть и позволяют исследовать структуры с атомарным разрешением, однако эти методы являются разрушающими и сугубо локальными. С помощью этих методов мы можем получать информацию о структуре очень малого объема исследуемого образца. Метод высокоразрешающей рентгеновской дифракции является неразрушающим, чувствительным и экспрессным. Он позволяет выявлять структурные особенности всего исследуемого образца в виде статистически усредненных по большому ансамблю структурных параметров.

В разработанной теории квантовые точки играют роль структурных дефектов и являются причиной возникновения характерного диффузного рассеяния. Отметим, что угловое распределение диффузного рассеяния зависит от формы, разме-

ров квантовых точек, а также от распределения упругих деформаций вокруг их расположения (локализации). Используемая нами модель сферической КТ существенно упрощает численные расчеты диффузного рассеяния, тем не менее, позволяет получить хорошее совпадение экспериментальных и расчетных данных.

Таким образом, предложенный подход, основанный на сравнительном анализе результатов численного моделирования и экспериментальных данных, окажется весьма полезным для диагностики наноструктурированных сред.

Авторы выражают благодарность Н.Н. Фалееву (Arizona State University, USA) за предоставление экспериментальных данных. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты № 13-02-00272-а и № 14-02-31778), программы Президиума РАН 12-П-1-1014 и программы фундаментальных исследований УрО РАН 12-У-1-1010.

Литература

1. Wang Z.M. (Ed), Self-Assembled Quantum Dots. Springer, Berlin, 2008. 463 p.
2. Pietsch U., Holy V., Baumbach T. High Resolution X-ray Scattering – from Thin Films to Lateral Nanostructures. Springer-Verlag, New York, 2004. 408 p.
3. Darhuber A.A., Schittenhelm P., Holz V. et al. High-resolution x-ray diffraction from multilayered self-assembled Ge dots // Phys. Rev. B. 1997. Vol. 55. P. 15652–15663.
4. Faleev N.N., Egorov A.Yu., Zhukov A.E. et al. X-Ray diffraction analysis of multilayer InAs-GaAs heterostructures with InAs quantum dots // Semiconductors. 1999. Vol. 33. No. 11. P. 1229–1237.
5. Lechner R.T., Schulli T.U., Holy V. et al. Ordering parameters of self-organized three-dimensional quantum-dot lattices determined from anomalous x-ray diffraction // Appl. Phys. Lett. 2004. Vol. 84 P. 885–887.
6. Diaz B, Malachias A., Montoro L. A, Rappl P.H.O., Abramof E. Vertically ordered magnetic EuTe quantum dots stacks on SnTe matrices // Nanotechnology. 2012. Vol. 23. P. 015604 (1-5).
7. Punegov V.I. X-ray diffraction from multilayer structures with statistically distributed microdefects // Physica status solidi (a). 1993. Vol. 136. No. 1. P. 9–19.
8. Punegov V.I., Lomov A.A., Shcherbachev K.D. Characterization of InP porous layer by high-resolution x-ray diffraction // Physica status solidi (a). 2007. Vol. 204. No.8. P. 2620–2625.
9. Пунегов В.И. О рассеянии рентгеновских лучей на сверхрешетке с квантовыми точками // Письма в ЖТФ. 2008. Т. 34. Вып. 20. С. 8–14.
10. Punegov V.I., Faleev N.N. Coherent and diffuse x-ray scattering from a multicomponent superlattice with quantum dots // JETP Letters. 2010. Vol. 92. No. 7. P. 437–443.
11. Пунегов В.И., Фалеев Н.Н. Рассеяние рентгеновских лучей на многослойных структурах с квантовыми точками // Известия РАН. Серия физическая. 2011. Т. 75. № 1. С. 42–44.
12. Пунегов В.И., Сивков Д.В., Кладько В.П. Диффузное рассеяние рентгеновских лучей на системах с квантовыми точками эллипсоидальной формы // Письма в ЖТФ. 2011. Т. 37. Вып. 8. С. 41–48.
13. Пунегов В.И. Влияние вертикальной корреляции квантовых точек на диффузное рассеяние рентгеновских лучей // Письма в ЖТФ. 2013. Т. 39. Вып. 10. С. 54–64.
14. Punegov V.I. Paracrystalline model in statistical theory of x-ray diffraction on epilayers with quantum dots // Tech. Phys. Lett. 2011. Vol. 37. P. 696–699.
15. Punegov V.I. Extinction of satellite peaks of a superlattice with periodically distributed microdefects // Phys. Solid State. 1995. Vol. 37. P. 617–624.
16. Stepanov S.A., Forrest R., Fitting dynamical X-ray diffraction data over the World Wide Web // J. App. Crystallogr. 2008. Vol. 41 P. 958–962.
17. Nesterets Ya.I., Punegov V.I. The statistical kinematical theory of X-ray diffraction as applied to reciprocal-space mapping // Acta Cryst. A. 2000. Vol. 56. No. 6. P. 540–548.
18. Пунегов В.И., Сивков Д.В. Влияние формы и упругих полей деформаций квантовых точек на диффузное рассеяние рентгеновских лучей // Письма в ЖТФ. 2013. Т. 39. Вып. 21. С. 60–69.
19. Blokland J.H., Bozkurt M., Ulloa J.M. et al. Ellipsoidal InAs quantum dots observed by cross-sectional scanning tunneling microscopy // Appl. Phys. Lett. 2009. Vol. 94. P. 023107 (1–3).
20. Walther T., Cullis A.G., Norris D.J., Hopkinson M. Nature of the Stranski-Krastanow transition during epitaxy of InGaAs on GaAs, // Phys. Rev. Lett. 2001. Vol. 86. P. 2381–2384.
21. Andreev A.D., Downes J.R., Faux D.A., O'Reilly E.P. Strain distributions in quantum dots of arbitrary shape // J. Appl. Phys. 1999. Vol. 86. No. 1. P. 297–305.
22. Punegov V.I., X-ray diffraction by a superlattice with randomly distributed amorphous inclusions // Sov. Phys. Solid State. 1990. Vol. 32. P. 1438–1439.

Статья поступила в редакцию 04.04.2012.

УДК 544.162.7 : 001.891.57

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ЧАСТИЦЫ В НЕЛИНЕЙНОМ СИЛОВОМ ПОЛЕ

Н.А.СЕКУШИН

*Институт химии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
sekushin-na@chemi.komisc.ru*

Проведено компьютерное моделирование вынужденных колебаний частицы в потенциальной яме с нелинейным силовым полем $x|x|$. Выполнены расчеты траектории частицы и определена зависимость сигнала шума от частоты. Обнаружены бифуркации с удвоением и утроением частоты. Показано, что в точках бифуркации интенсивность шума имеет максимальное значение. Изучены два типа движения частицы, при которых уровень шума минимален. Предложен метод определения периода собственных колебаний частицы по положению максимумов на спектральной кривой шума.

Ключевые слова: нелинейный осциллятор, бифуркация, спектр шума, вынужденные колебания частицы, ионные проводники

N.A. SEKUSHIN. SIMULATION OF PARTICLE FORCED OSCILLATIONS IN NONLINEAR FORCE FIELD

Computer simulation of charged particle oscillations in potential well with nonlinear force field $x|x|$ was realized. Calculations of particle trajectory and noise frequency dependence were fulfilled. Period doubling and tripling bifurcations were found. It was shown that noise intensity was maximal in the bifurcation points. Two kinds of particle vibrations with minimum noise intensity were also discovered. The method of evaluation of particle normal mode period based on the noise spectrum maximum positions was suggested.

Keywords: nonlinear oscillator, bifurcation, noise spectrum, particle forced oscillation, ionic conductor

Введение

В последние годы исследованию твердых ионных проводников придается большое значение в связи с возможностью использования их в различных технических устройствах. Среди таких устройств на первое место можно поставить топливные элементы, которые позволяют преобразовывать химическую энергию непосредственно в энергию электрического тока, минуя существующие в традиционной энергетике промежуточные стадии [1]. При изучении ионопроводящих материалов специалисты сталкиваются с острым дефицитом методов исследования. Из электрических методов наиболее часто применяют импеданс-спектроскопию (ИС). В этом методе на образец подают гармонический сигнал с изменяющейся частотой в интервале от 10^{-3} до 10^7 Гц и с амплитудой порядка нескольких десятков мВ. Импедансметр регистрирует ток и определяет амплитуду и фазу первой гармоники тока. В указанном диапазоне частот доминируют поляризационные и диффузионные процессы, а также электрохимические – на электродах, которые практически не зависят от массы ионов, так как протекают слишком медленно. Таким образом, методом ИС не удастся определить такие важные

характеристики ионного проводника, как тип подвижных ионов и их концентрацию.

В связи с низкой информативностью метода ИС возникла следующая экспериментальная задача. Необходимо с помощью переменного электрического поля заставить частицу совершать колебания с максимальной амплитудой. При этом в системе могут возникнуть нелинейные процессы, что приведет к появлению электромагнитного шума. Можно ли из этого шума получить какую-либо полезную информацию? Ответ на этот вопрос можно частично найти в литературных источниках. В последние десятилетия во многих научных направлениях появились публикации, посвященные шумам. Первоначально их воспринимали как мешающие факторы при проведении, в частности, электрических измерений. Однако в настоящее время отношение к шумам изменилось на обратное. Все большее число специалистов признают, что шумы содержат ценную информацию о физико-химических процессах в самых различных объектах, начиная от звезд и заканчивая наноматериалами.

Наибольшей информационной емкостью обладает так называемый фликкер-шум – это флуктуационный процесс, спектральная плотность которого $S(f)$ при низких частотах растёт с пониже-

ем частоты f по закону, близкому к $1/f$ [2–3]. В результате исследований фликкер-шума была разработана новая методика, названная фликкер-шумовой спектроскопией ФШС (Flicker-Noise Spectroscopy) [4, 5]. Сущность ФШС состоит в придании информационной значимости последовательностям различных нерегулярностей в шумах, таким как всплески, скачки, изломы производных различных порядков. В литературных источниках встречается достаточно много примеров использования ФШС. Этот метод был использован для предсказания землетрясений [6, 7], в исследовании электрохимических систем [8], при изучении коррозии арматуры в железобетонных строительных конструкциях [9]. В работе [10] установлено, что возникновение шума вида $1/f$ в полевых транзисторах связано с дефектами (например, примесными ионами Na^+ в пленке SiO_2). Наиболее информативной составляющей шума $1/f$ является так называемый неравновесный фликкер-шум [10, 11]. Неравновесность в материалах можно создать как химическими, так и физическими воздействиями на дефекты: электрическим и магнитным полем, светом, лазерным излучением, деформацией, температурой, ионизирующим излучением и т.д. [11].

В настоящей работе с помощью виртуального эксперимента проведено исследование вынужденных колебаний заряженной частицы в нелинейном силовом поле. В результате моделирования получены временные зависимости координаты частицы $x(t)$, а также определен численный параметр P , характеризующий пульсации тока в образце. Поскольку P зависит от частоты внешнего поля, то функцию $P(f)$ условно называли спектром шума.

Теоретическая часть. Моделирование колебаний частицы

На рис. 1 приведена схема экспериментальной установки, с помощью которой можно изучать влияние переменного электрического поля на высокочастотные токовые шумы, возникающие в жидкой или твердой среде. Измерительная ячейка 1 выполнена в виде плоского конденсатора, между обкладками которого находится исследуемый материал. Устройство регистрации шума 3 должно преобразовывать быстро меняющийся ток в цепи (i) в усредненный сигнал P , который может быть легко измерен. Одно из требований к регистратору – это

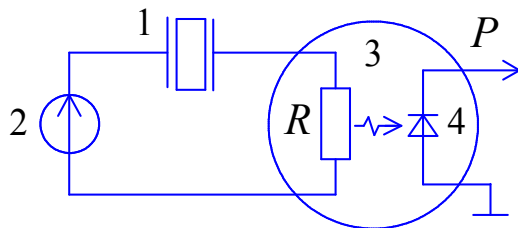


Рис. 1. Схема измерений параметра P : 1 – образец; 2 – генератор гармонического сигнала; 3 – регистратор шума; 4 – инфракрасный фотодиод, преобразующий температуру резистора R в электрический потенциал.

отсутствие зависимости выходного сигнала от частоты входного сигнала. Это достигается за счет преобразования проходящего через резистор R тока в температуру (τ), которая зависит от мощности: $N = Ri^2$. Динамические свойства регистратора можно описать следующим уравнением:

$$\frac{d\tau}{dt} = k_1 N - k_2 \tau, \quad (1)$$

где k_1 и k_2 – константы; t – время.

Уравнение (1) означает, что скорость нарастания температуры $d\tau/dt$ пропорциональна подводимой мощности тока $k_1 N$ за вычетом потери мощности, связанной с утечкой тепла в окружающее пространство. Эти потери пропорциональны температуре резистора τ . Для того, чтобы получить передаточную функцию регистратора, необходимо (1) преобразовать по Лапласу:

$$p\tau(p) = k_1 N(p) - k_2 \tau(p), \quad (2)$$

где p – переменная Лапласа; $\tau(p)$ и $N(p)$ – изображения, соответственно, выходного и входного сигнала.

Из (2) получаем передаточную функцию регистратора, которая соответствует апериодическому звену 1-го порядка [12]:

$$W = \frac{\tau(p)}{N(p)} = \frac{k_1}{p + k_2}. \quad (3)$$

При моделировании регистратора примем $k_1 = k_2$, а также введем постоянную времени $T = k_2^{-1}$. Таким образом, получим передаточную

функцию $W = \frac{1}{Tp + 1}$ (звено 9 на рис. 2).

Известно, что плотность тока в проводнике равна произведению qnV (q – заряд, n – концентрация и V – скорость носителя заряда). В виртуальном эксперименте принимаем q и n равными единице. Следовательно, в качестве электрического тока будет выступать скорость частицы $V = x'$, где x – смещение частицы из положения равновесия. Соответствующий сигнал необходимо возвести в квадрат, чтобы получить мощность. На структурной схеме (рис. 2) эту операцию выполняет звено 8. Таким образом, регистратор моделируют два элемента: 8 и 9. Следует также отметить, что в реальном эксперименте светодиод 4 на рис. 1 может быть заменен тонкопленочным терморезистором (болотром) или батареей из тонкопленочных термпар. В данном исследовании нами предполагается, что температура резистора преобразуется в электрический сигнал без искажений.

Теперь построим математическую модель образца 1 (рис.1). За основу возьмем уравнение, описывающее вынужденные колебания пружинного маятника, в котором колеблющуюся массу будем называть частицей:

$$mx'' + \alpha x' + \beta x = qE \sin 2\pi ft, \quad (4)$$

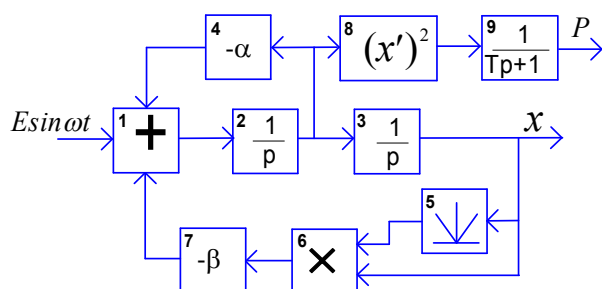


Рис. 2. Структурная схема виртуального эксперимента: 1 – сумматор; 2 и 3 – интеграторы; 4 и 7 – пропорциональные звенья, перемножающие входные величины на константы $-\alpha$, и $-\beta$, соответственно; 5 – выпрямитель, реализующий функцию $|x|$; 6 – перемножитель; 8 – квадратор, осуществляющий возведение входного сигнала во вторую степень; 9 – апериодическое звено 1-го порядка.

где x – отклонение частицы от положения равновесия; m и q – масса и заряд частицы, соответственно; α – коэффициент вязкого трения; β – константа, характеризующая силу удержания иона в центре потенциальной ямы (аналог жесткости пружины); E – амплитуда внешнего электрического поля.

В линейной системе шумов возникнуть не могут. Поэтому в уравнение (4) необходимо ввести нелинейности. Известно достаточно много публикаций, посвященных нелинейным осцилляторам [13]. Колебательные системы, нелинейная часть силового поля которых имеет кубическую зависимость (x^3), называются осцилляторами Дуффинга [14]. Под влиянием внешнего гармонического воздействия эти осцилляторы при определенных условиях могут совершать хаотические колебания, что вызвало большой интерес к системам этого типа. В настоящей работе исследован осциллятор с параболическим силовым полем, описываемый следующим уравнением:

$$x'' + \alpha x' + \beta x|x| = E \sin \omega t, \quad (5)$$

где $\omega = 2\pi f$ – круговая частота; m и q равны 1.

Для преобразования (5) в структурную схему необходимо это уравнение дважды проинтегрировать и записать в следующем виде:

$$x = \iint (-\alpha x' - \beta x|x| + E \sin \omega t) dt. \quad (6)$$

Из (6) следует, что в структурной схеме, изображенной на рис. 2, должны присутствовать два интегратора (2 и 3), сумматор с тремя входами (1), пропорциональные звенья (4 и 7), выпрямитель (5), с помощью которого получаем $|x|$, перемножитель (6). Моделирование осуществлялось с помощью компьютерной программы System View.

В настоящей работе все параметры системы были зафиксированы: коэффициент затухания $\alpha=0,05$, параметр силового поля $\beta=1,5$, амплитуда входного сигнала $E=4,9$, постоянная времени регистратора $T=40$. Опция «sample rate» (количество измерений в секунду) была установлена для всех случаев 300 Гц, а время счета (stop time) – 250 с. При пуске программы сначала наблюдается пере-

ходной процесс, а по завершении его отмечаются стабильные колебания. Запись кривой $x(t)$ и параметра P производилась после установления периодических колебаний.

Результаты моделирования и обсуждение

На рис. 3 приведен спектр шума $P(f)$, на котором нечетными цифрами отмечены минимумы, а четными – максимумы. На рис. 4 показан внешний вид функций $x(t)$ для каждой из отмеченных точек. Из рис. 3 следует, что в спектре шума имеются острые максимумы, благодаря чему их положение на шкале частот может быть измерено с высокой точ-

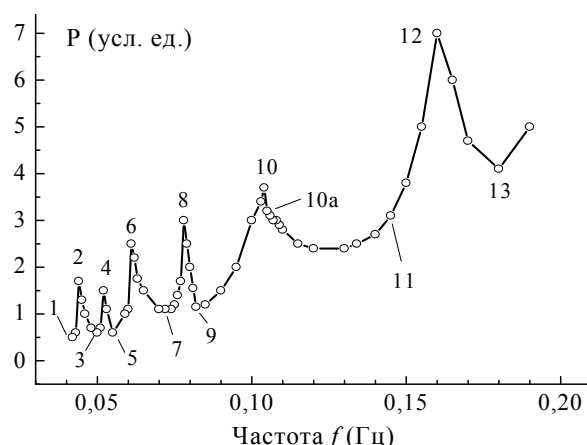


Рис. 3. Спектр шума образца, полученный в результате виртуального эксперимента.

ностью, что нельзя сказать о минимумах. Из рис. 4 и таблицы можно заключить, что минимумы шумов наблюдаются в двух случаях – когда возникает либо симметричное, либо асимметричное колебание. При повышении частоты идет чередование этих колебательных процессов. Симметричные колебания образуются в том случае, когда за время периода колебания внешнего поля с высокой точностью совершается четное число колебаний частицы около обеих стенок потенциальной ямы. Напротив, максимумы шума связаны с полным рассогласованием внешнего поля и движения частицы. Следовательно, положения максимумов шума должны быть простым способом связаны со средним периодом колебаний частицы у стенки. Для доказательства этого на рис. 5 приведены зависимости периода колебаний внешнего поля ($1/f$) от номера экспериментальной точки на рис. 3 (или из таблицы). Построены такие зависимости для экстремумов (кривая 1) и для симметричных колебаний (кривая 2). Методом наименьших квадратов определены тангенсы угла наклона прямых: $-1,64 \pm 0,02$ для кривой 1 и $-1,52 \pm 0,04$ для кривой 2. Различие составляет около 8%. Таким образом, с точностью, равной 8 %, можно связать положение двух соседних максимумов на шкале периодов со средним периодом колебаний частицы T_p около стенки потенциальной ямы:

$$T_p = T_i - T_{i+1}, \quad (7)$$

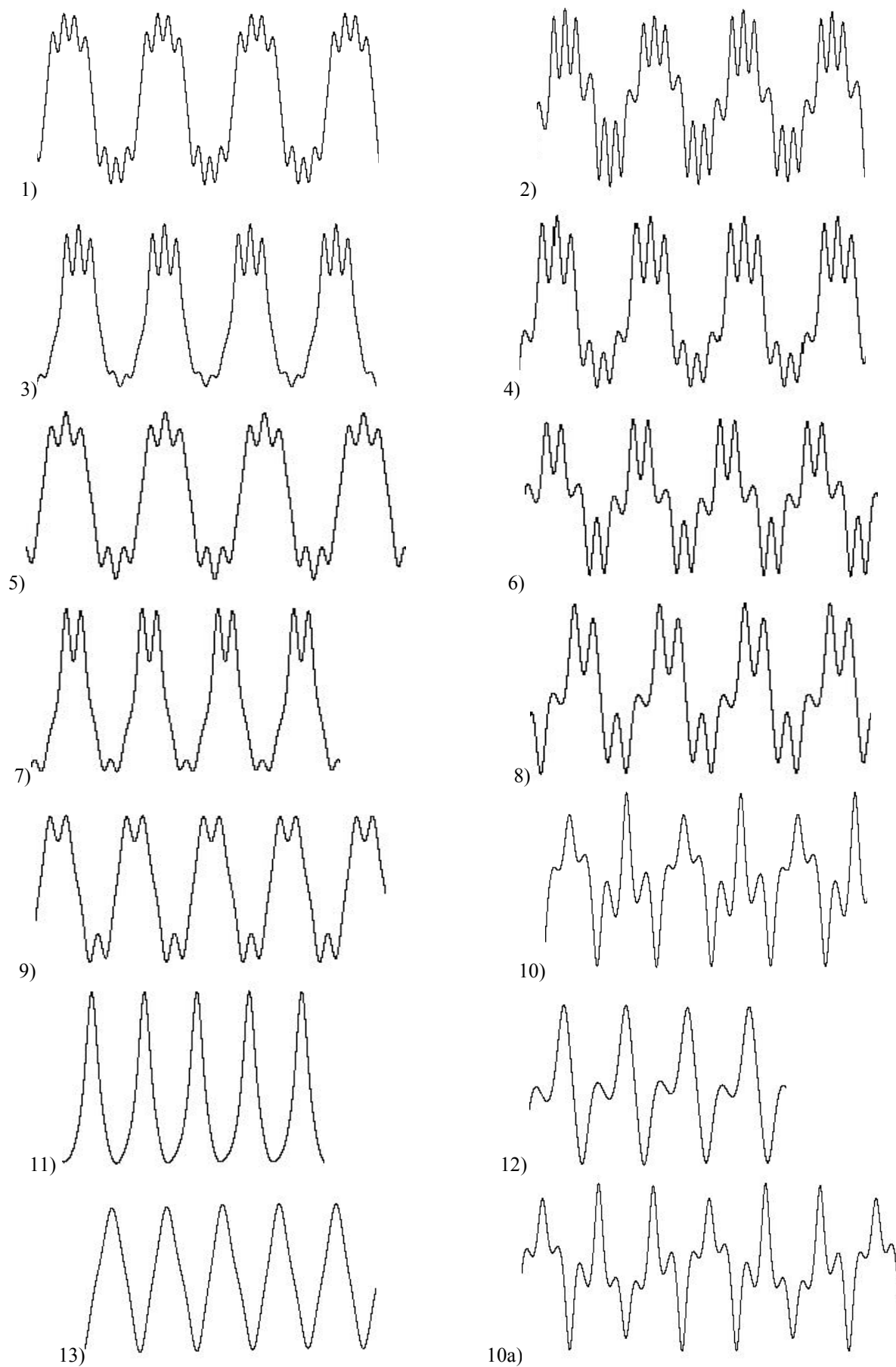


Рис. 4. Установившиеся колебания частицы для точек, отмеченных на рис. 3.

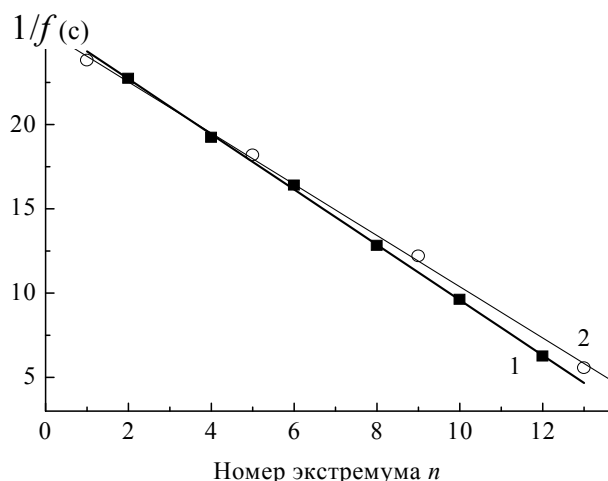


Рис. 5. Зависимость периода колебаний внешнего поля ($1/f$) от номера экспериментальной точки из таблицы: 1 – точки, в которых шумы имеют максимум; 2 – точки, в которых наблюдаются симметричные колебания.

Параметры колебательных процессов в точках, отмеченных номерами на рис. 3 и изображенных на рис. 4.

Номер точки	Частота внешнего поля f , Гц	Характер колебаний частицы	Число колебаний $k=k_1+k_2^{**}$
1	0,042	симметричное	$k=4+4$
2	0,044	бифуркация	$k=3,5+3,5$
3	0,05	асимметричное***	$k=3+0$
4	0,052	бифуркация	$k=3+4$
5	0,055	симметричное	$k=3+3$
6	0,061	бифуркация	$k=2,5+2,5$
7	0,072	асимметричное	$k=2+0$
8	0,078	бифуркация	$k=2+2,5$
9	0,082	симметричное	$k=2+2$
10	0,104	удвоение периода	–
10a	0,105	утроение периода	–
11	0,145	асимметричное	$k=1+0$
12	0,16	бифуркация	$k=1+1,5$
13	0,18	симметричное	$k=1+1$

Примечание: * k_1 – это число колебаний частицы около стенки потенциальной ямы при положительной полуволне внешнего потенциала. Если имеется колебание около положения равновесия (при $x \approx 0$), то k_1 увеличивается на 0,5;

** k_2 – то же, что и k_1 , но при отрицательной полуволне внешнего потенциала;

*** Асимметричное колебание характеризуется тем, что частица совершает колебания только у одной стенки потенциальной ямы, а на другую стенку совершает «мягкую посадку» почти без колебаний.

где T_i и T_{i+1} – периоды колебаний внешнего поля, при которых наблюдаются два рядом расположенных максимума шума.

Формула (7) показывает, что быстропротекающий процесс колебаний частицы у стенки может быть исследован с помощью более медленных сигналов, что открывает новые экспериментальные возможности при изучении ионных процессов в ве-

ществе. Из механики известно, что период колебаний частицы связан с её массой и параметрами силового поля. Таким образом, исследуя шумы, можно получить информацию о внутрикристаллическом силовом поле и массе подвижного иона.

Выводы

В результате моделирования вынужденных колебаний частицы в потенциальной яме с нелинейным силовым полем в виде нечетной параболы $x|x|$ обнаружен ряд эффектов, которые позволяют получать из спектра шума полезную информацию. В частности, обнаружены бифуркации с удвоением и утроением периода колебаний, сопровождающиеся резким нарастанием шума. Изучены симметричные и асимметричные колебания, при которых уровень шума имеет минимальное значение. Получено соотношение, позволяющее определять период колебаний частицы при симметричном колебательном процессе по экспериментально измеренному спектру шума.

Литература

1. Фатеев В.Н. Топливные элементы // Энергия. 1998. № 6. С. 11–22.
2. Weissman M.B. $1/F$ noise and other slow, non-exponential kinetics in condensed matter, «Rev. Mod. Phys.». 1988. Vol. 60. № 2. С. 537–571.
3. Коган Ш.М. Электронный шум и флуктуации в твердых телах. М.: Физматлит, 2009. 368 с.
4. Тимашев С.Ф., Встовский Г.В. Фликкер-шумовая спектроскопия в анализе хаотических временных рядов динамических переменных и проблема отношения "сигнал-шум" // Электрохимия. 2003. Т.39. №2. С.156–169.
5. Тимашев С.Ф. Фликкер-шумовая спектроскопия: информация в хаотических сигналах. М.: Физматлит, 2007. 248 с.
6. Встовский Г.В., Дещеревский А.В., Лукк А.А. и др. Поиск электрических предвестников землетрясений методом фликкер-шумовой спектроскопии // Физика Земли. 2005. № 7. С. 3–14.
7. Хаткевич Ю.М., Рябинкин Г.В. Гидрогеохимические исследования на Камчатке в связи с поиском предвестников землетрясений // Вулканология и сейсмология. 2006. № 4. С.34–42.
8. Timashev S.F., Polyakov Yu.S., Review of flicker noise spectroscopy in electrochemistry // Fluctuation and Noise Letters. 2007. Vol. 7. № 2. P. 15–47.
9. Смукло Я.М., Даровицки К., Зелински А. Оценка скорости коррозии арматуры в железобетонных конструкциях с помощью метода электрохимических шумов // Электрохимия. 2006. Т.42. №5. С.611–616.
10. Разуменко Д. Низкочастотные шумы электронных компонентов как инструмент для диагностики внутренних дефектов // Компоненты и технологии. 2008. № 9. С.168–174.

11. Жигальский Г.П. Флуктуации и шумы в электронных твердотельных приборах. М.: Физматлит, 2012. 512 с.
12. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. СПб.: Профессия, 2004. 752 с.
13. Мун Ф. Хаотические колебания. М.: Мир, 1990. 311 с.
14. Yang J.H., Zhu H. Vibrational Resonance in Duffing Systems With Fractional-Order Damping // Chaos. 2012. Vol.22. №1. P.013112.

Статья поступила в редакцию 12.11.2012.

УДК 544.478

СИНТЕЗ КАТИОНСОДЕРЖАЩИХ ТИТАНАТОВ ВИСМУТА И ИХ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

А.Г. КРАСНОВ*, М.С. КОРОЛЕВА*, И.В. ПИЙР*, Т.Е. КОРОТКОВА**

**Институт химии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар*

***Сыктывкарский государственный университет, г. Сыктывкар*

krasnov-ag@chemi.komisc.ru

Синтезированы гидротермальным методом нанодисперсные порошки катионсодержащих твердых растворов титанатов висмута. Фазовый состав образцов определен методом рентгенофазового анализа (РФА). Морфология поверхности была изучена методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Фотокаталитическая активность соединений оценена по разложению раствора органического красителя родамина Б (РБ) при облучении видимым светом. Показано, что синтезированные катионсодержащие твердые растворы титанатов висмута обладают фотоактивностью при воздействии видимого света.

Ключевые слова: сложные титанаты висмута, гидротермальный синтез, морфология, фотокаталитическая активность

A.G. KRASNOV, M.S. KOROLEVA, I.V. PIIR, T.E. KOROTKOVA. SYNTHESIS OF CATION-CONTAINING BISMUTH TITANATES AND THEIR PHOTOCATALYTIC PROPERTIES

Nanodispersed powders of cation-containing bismuth titanates solid solutions were synthesized by a hydrothermal method. The phase composition of the samples was determined by XRD. The morphology of the surface was studied by SEM. The photocatalytic activity of the compounds was evaluated by decomposition of organic dye rhodamine B solution under visible light irradiation. It is shown that synthesized cation-containing bismuth titanates possess photoactivity under the influence of visible light.

Keywords: complex bismuth titanates, hydrothermal synthesis, morphology, photocatalytic activity

В последние десятилетия фотокаталитические процессы вызывают большой интерес, благодаря возможности их применения для создания самоочищающихся поверхностей, систем очистки от вредных органических соединений в растворах и газовой фазе, а также в производстве водорода путем разложения воды [1, 2]. В настоящее время наиболее перспективным полупроводниковым фотокатализатором является диоксид титана в модификации анатаза, но его ширина запрещенной зоны составляет 3,2 эВ, что обуславливает фотокаталитическую активность TiO_2 только в ультрафиолетовой области спектра [3,4].

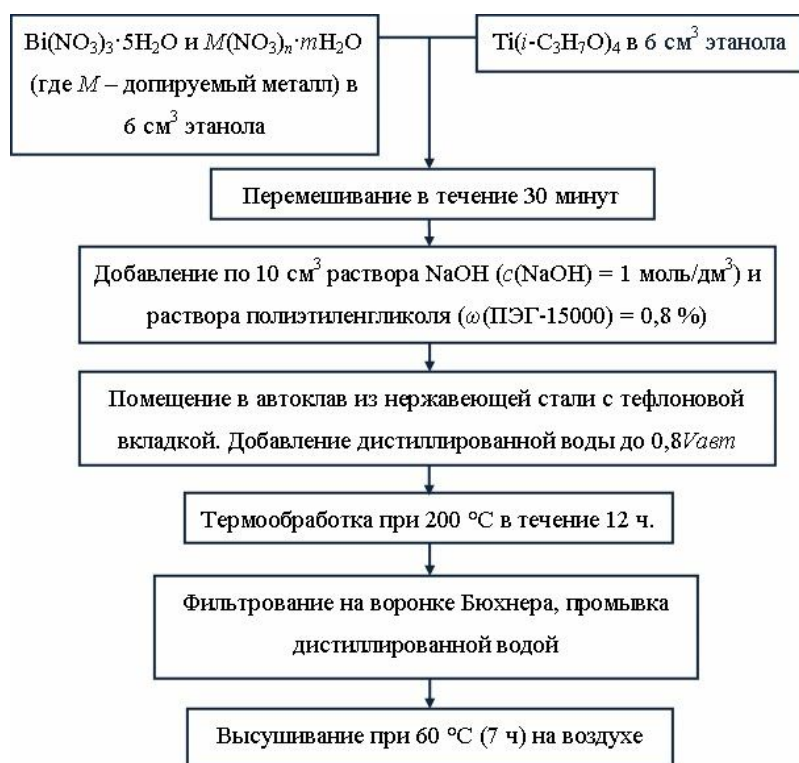
Согласно литературным данным, известно, что титанат висмута со структурой пироклора $\text{Bi}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ обладает фотокаталитической активностью в видимой области спектра ($E_g=2,83$ эВ), и она тем сильнее, чем меньше по размерам частицы полученного образца [5,6]. Ранее нами керамическим методом были синтезированы катионсодержащие титанаты висмута со структурой пироклора и определена их область стабильности [7,8]. В данной

работе целью являлось получение высокодисперсных порошков Cu-, Fe-, Ni-, Co-содержащих титанатов висмута гидротермальным методом и проведение оценки их фотокаталитической активности под действием видимого света.

Материалы и методы

Образцы катионсодержащих титанатов висмута со структурой пироклора, отвечающие составу $\text{Bi}_{1,6}\text{M}_x\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$ ($M - \text{Cu}$, $x = 0,1; 0,5$; $M - \text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni}$, $x = 0,1, 0,35$), были синтезированы по методике, представленной в работе [9]. В качестве реагентов в ходе синтеза использовали тетраизопропилат титана и кристаллогидраты нитратов соответствующих металлов ($\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Типичная процедура синтеза представлена на рис. 1.

Часть полученных после синтеза порошков прессовали в таблетки, помещали в алундовые тигли и обжигали в муфельной печи при температуре 600 °С в течение 5 ч.

Рис. 1. Пошаговая схема гидротермального синтеза $\text{Bi}_{1.6}\text{M}_x\text{Ti}_2\text{O}_{7-\delta}$.

Синтезированные соединения исследованы методом РФА на дифрактометре Shimadzu XRD-6000 с использованием CuK_α -излучения с длиной волны $\lambda = 1,54056$ нм в угловом интервале 2θ от 10 до 80 ° (шаг – 0,05 °) и временем экспозиции 2 сек. Морфология образцов изучена с помощью сканирующего электронного микроскопа TESCAN VEGA-3M и просвечивающего электронного микроскопа высокого разрешения JEM-2010 (JEOL, Япония). Изучение методами РФА и СЭМ было выполнено как для образцов, полученных непосредственно после гидротермального синтеза (обозначение $\text{Bi}_{1.6}\text{M}_x\text{Ti}_2\text{O}_{7-\delta}$ -200 °C-12 ч), так и для образцов, прокаленных при 600 °C в течение 5 ч (обозначение $\text{Bi}_{1.6}\text{M}_x\text{Ti}_2\text{O}_{7-\delta}$ -600 °C-5 ч). Химический анализ методом атомно-эмиссионной спектроскопии (АЭС) с помощью спектрометра Spectro ciros проведен для образцов, прокаленных при 600 °C (5 ч) с целью установления точного состава соединений. В качестве источника атомизации использовали атолизатор с индуктивно-связанной плазмой (ИСП).

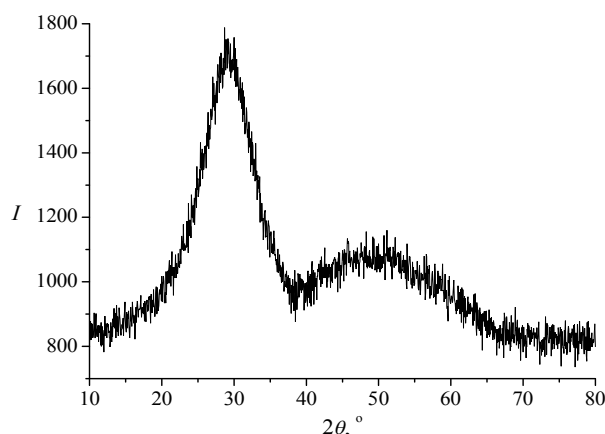
Фотокаталитическая активность синтезированных порошков оценена по разложению раствора красителя родамина Б при воздействии излучения ртутной лампы ДРЛ 250 (потребляемая мощность – 250 Вт, световой поток 13500 Лм). Для проведения реакции фоторазложения 25 мг титаната висмута $\text{Bi}_{1.6}\text{M}_x\text{Ti}_2\text{O}_{7-\delta}$ помещали в 25 см³ раствора родамина Б с молярной концентрацией $c(\text{РБ}) = 10^{-5}$ моль/дм³. Далее систему облучали видимым светом при помощи ртутной лампы в течение 80 мин. В качестве фильтра УФ-излучения использован раствор нитрита натрия с молярной концентрацией

$c(\text{NaNO}_2) = 1$ моль/дм³, толщина слоя раствора составляла 5 см. Для каждого состава имеющихся соединений было подготовлено четыре образца, представляющих собой суспензии фотокатализатор-раствор РБ, которые одновременно помещали под лампу. Для определения степени разложения красителя через определенные временные интервалы (20 мин) поочередно вынимали по одному образцу и проводили центрифугирование. Измерение оптической плотности раствора выполняли с помощью фотометра КФК-3 при длине волны $\lambda = 554$ нм, соответствующей максимуму в спектре поглощения раствора красителя РБ.

Результаты и обсуждения

В ходе проведенной работы синтезированы восемь образцов, отвечающих общему составу $\text{Bi}_{1.6}\text{M}_x\text{Ti}_2\text{O}_{7-\delta}$ (M – Cu, $x = 0,1; 0,5$; M – Fe, Co, Ni, $x = 0,1; 0,35$). В случае образца $\text{Bi}_{1.6}\text{Fe}_{0.35}\text{Ti}_2\text{O}_{7-\delta}$ -200 °C-12 ч выполнен РФА анализ. На полученной рентгенограмме (рис. 2) наблюдаются два широких пика, что говорит о рентгеноаморфном состоянии

порошка после гидротермального синтеза. Вид рентгенограммы не позволяет соотнести ее к структуре пирохлора.

Рис. 2. Рентгенограмма $\text{Bi}_{1.6}\text{Fe}_{0.35}\text{Ti}_2\text{O}_{7-\delta}$ -200 °C-12 ч.

Для определения фазового состава полученные соединения были подвергнуты термообработке при 600 °C в течение 5 ч. На рентгенограммах прокаленных образцов (рис. 3) наблюдаются пики, соответствующие только рефлексам структуры пирохлора (карточка ICSD 50983). Был выполнен расчет параметров элементарной ячейки образцов (табл. 1) с индiciрованием экспериментально полученных рентгенограмм в структуре кубического пирохлора (пространственная группа $Fd\bar{3}m$).

На микрофотографиях СЭМ (рис. 4) синтезированных соединений виден равномерный контраст

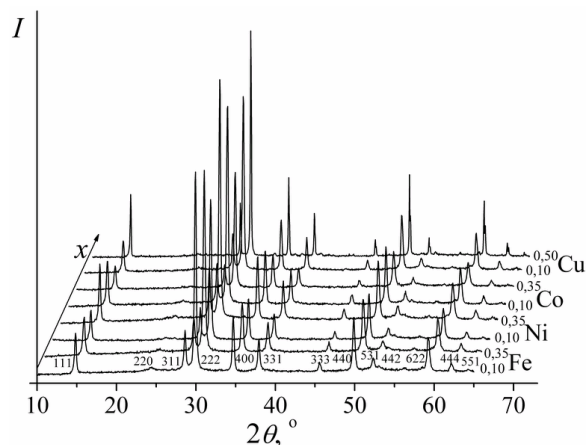


Рис. 3. Рентгенограммы образцов титанатов висмута $\text{Bi}_{1,6}\text{M}_x\text{Ti}_2\text{O}_{7-\delta}$ 600°C -5 ч, где M – Fe, Ni, Co, Cu.

Таблица 1

*Параметры элементарных ячеек
катионсодержащих титанатов висмута
 $\text{Bi}_{1,6}\text{M}_x\text{Ti}_2\text{O}_{7-\delta}$ ($t = 25^\circ\text{C}$)*

№	Соединение	Параметры элементарной ячейки, $a = b = c$, Å
1	$\text{Bi}_{1,6}\text{Fe}_{0,10}\text{Ti}_2\text{O}_{7-\delta}$	10,342
2	$\text{Bi}_{1,6}\text{Fe}_{0,35}\text{Ti}_2\text{O}_{7-\delta}$	10,301
3	$\text{Bi}_{1,6}\text{Ni}_{0,10}\text{Ti}_2\text{O}_{7-\delta}$	10,352
4	$\text{Bi}_{1,6}\text{Ni}_{0,35}\text{Ti}_2\text{O}_{7-\delta}$	10,324
5	$\text{Bi}_{1,6}\text{Co}_{0,10}\text{Ti}_2\text{O}_{7-\delta}$	10,331
6	$\text{Bi}_{1,6}\text{Co}_{0,35}\text{Ti}_2\text{O}_{7-\delta}$	10,329
7	$\text{Bi}_{1,6}\text{Cu}_{0,10}\text{Ti}_2\text{O}_{7-\delta}$	10,333
8	$\text{Bi}_{1,6}\text{Cu}_{0,50}\text{Ti}_2\text{O}_{7-\delta}$	10,330

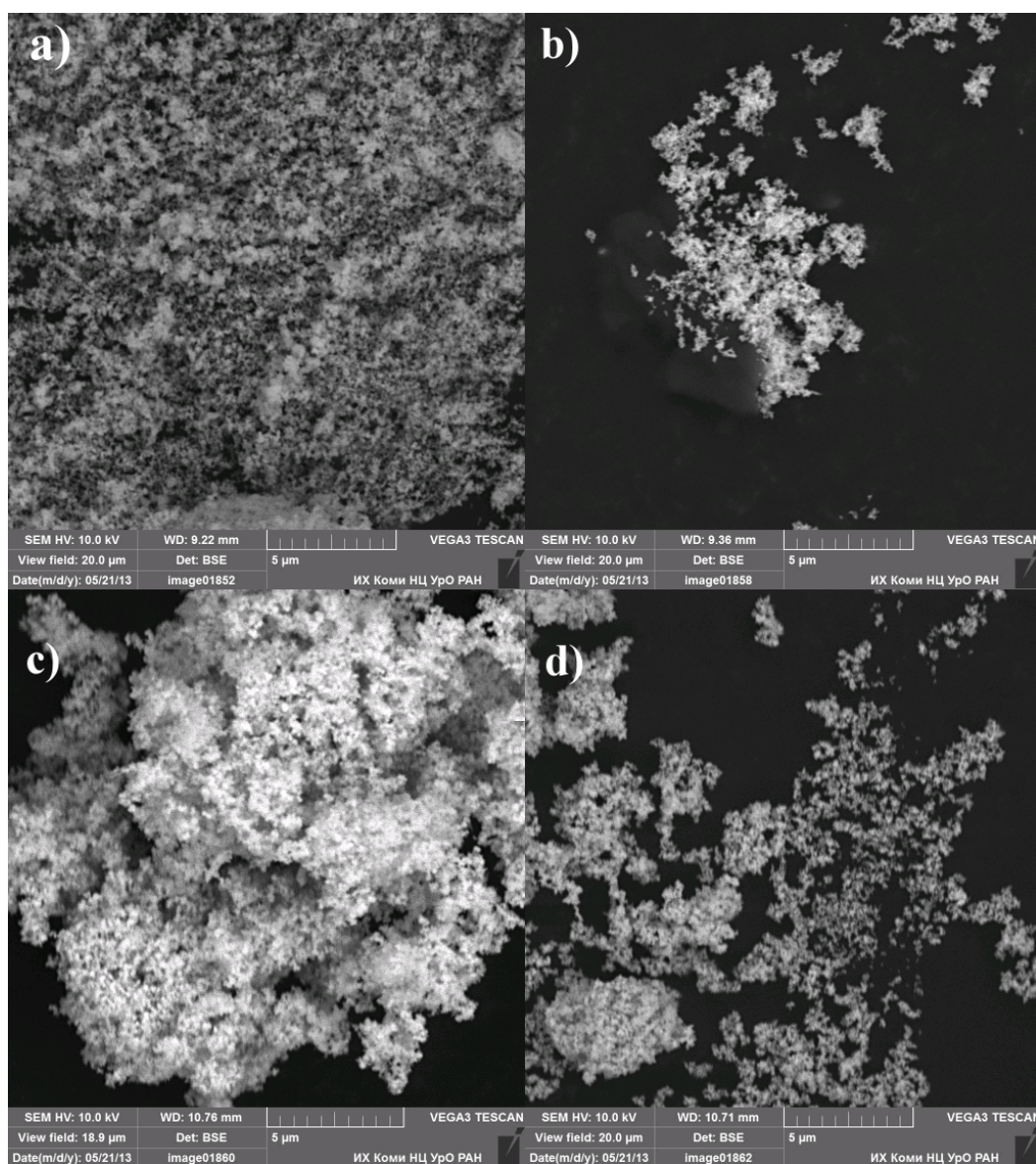


Рис. 4. Микрофотографии СЭМ синтезированных образцов.

a) $\text{Bi}_{1,6}\text{Ni}_{0,35}\text{Ti}_2\text{O}_{7-\delta}$ - 200°C -12 ч; b) $\text{Bi}_{1,6}\text{Ni}_{0,35}\text{Ti}_2\text{O}_{7-\delta}$ - 600°C -5 ч; c) $\text{Bi}_{1,6}\text{Cu}_{0,5}\text{Ti}_2\text{O}_{7-\delta}$ - 200°C -12 ч; d) $\text{Bi}_{1,6}\text{Cu}_{0,5}\text{Ti}_2\text{O}_{7-\delta}$ - 600°C -5 ч.

поверхности (отсутствуют яркие или темные участки), что подтверждает наличие только одной фазы (фазы пироклора). Кроме того, для всех образцов наблюдается сходный размер частиц в диапазоне до 100 нм. Прокаливание образцов при 600 °С не привело к значительному увеличению размера частиц.

Для образца $\text{Bi}_{1,6}\text{Fe}_{0,35}\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$ -200 °С-12ч проведено исследование методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). По микрофотографиям ПЭМ видно, что полученное соединение состоит из частиц сферической формы размером около 10–30 нм. Также было выявлено четыре межплоскостных расстояния, два из которых 3,10 Å и 2,96 Å четко соответствуют структуре пироклора – семейства плоскостей (311) и (222) соответственно (рис. 5).

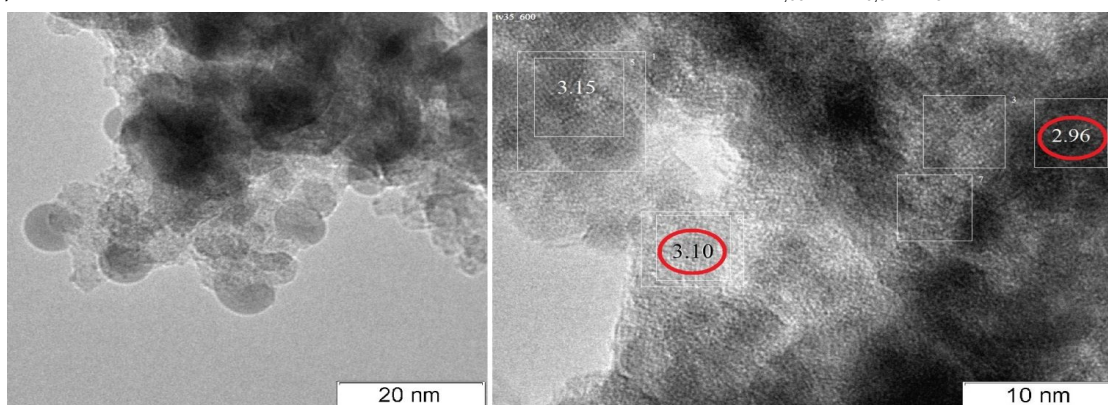


Рис. 5. ПЭМ микрофотографии образца $\text{Bi}_{1,6}\text{Fe}_{0,35}\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$ -200 °С-12 ч

Реальный состав синтезированных образцов, прокаленных после 600 °С (5 ч), определен химическим анализом с помощью метода АЭС ИСП. Результаты анализа показали, что содержание элементов в исследуемых образцах соответствует теоретически заданному, а расхождения могут быть объяснены погрешностью взвешивания реагентов и химического анализа (табл. 2).

Таблица 2

Теоретически заданные и экспериментально полученные составы образцов после синтеза

№	Теоретически заданный состав	Экспериментальный состав образцов после синтеза
1	$\text{Bi}_{1,6}\text{Fe}_{0,10}\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$	$\text{Bi}_{1,66}\text{Fe}_{0,11}\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$
2	$\text{Bi}_{1,6}\text{Fe}_{0,35}\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$	$\text{Bi}_{1,63}\text{Fe}_{0,32}\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$
3	$\text{Bi}_{1,6}\text{Ni}_{0,10}\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$	$\text{Bi}_{1,61}\text{Ni}_{0,05}\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$
4	$\text{Bi}_{1,6}\text{Ni}_{0,35}\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$	$\text{Bi}_{1,66}\text{Ni}_{0,32}\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$
5	$\text{Bi}_{1,6}\text{Co}_{0,10}\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$	$\text{Bi}_{1,64}\text{Co}_{0,06}\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$
6	$\text{Bi}_{1,6}\text{Co}_{0,35}\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$	$\text{Bi}_{1,61}\text{Co}_{0,33}\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$
7	$\text{Bi}_{1,6}\text{Cu}_{0,10}\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$	$\text{Bi}_{1,60}\text{Cu}_{0,09}\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$
8	$\text{Bi}_{1,6}\text{Cu}_{0,50}\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$	$\text{Bi}_{1,64}\text{Cu}_{0,45}\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$

Оценка фотокаталитической активности полученных нанодисперсных порошков проводилась по степени разложения раствора красителя РБ под действием видимого света, источником которого служила ртутная лампа. Кроме катионсодержащих титанатов висмута со структурой пироклора, была изучена фотоактивность недопированного пиро-

хлора $\text{Bi}_{1,6}\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$, синтезированного аналогичным способом, что и остальные образцы. В табл. 3 представлены результаты тестов по фоторазложению РБ.

По полученным данным видно, что все подготовленные образцы обладают фотокаталитической активностью при воздействии видимого света.

В присутствии порошков, прокаленных при 600 °С (5 ч), степень разложения красителя уменьшилась до 5 % по сравнению со значениями для аналогичных образцов, используемых после гидротермального синтеза. Как и ожидалось, это связано с ростом частиц вещества в результате их спекания при высокотемпературной обработке.

Наибольшую фотоактивность проявил образец состава $\text{Bi}_{1,63}\text{Fe}_{0,32}\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$ -200 °С-12 ч, при ис-

Таблица 3

Степень разложения красителя РБ в присутствии титанатов висмута при облучении ртутной лампой ($t_{\text{об}} = 80$ мин), $I(\text{NaNO}_2) = 5$ см

№	Соединение	Степень разложения красителя РБ $\Delta A/A$, %	
		200 °С (12 ч)	600 °С (5 ч)
1	$\text{Bi}_{1,60}\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$	11,1	8,8
2	$\text{Bi}_{1,66}\text{Fe}_{0,11}\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$	12,3	7,7
3	$\text{Bi}_{1,63}\text{Fe}_{0,32}\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$	17,3	14,2
4	$\text{Bi}_{1,66}\text{Ni}_{0,32}\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$	7,1	5,7
5	$\text{Bi}_{1,64}\text{Co}_{0,06}\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$	6,0	6,0
6	$\text{Bi}_{1,61}\text{Co}_{0,33}\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$	–	2,7
7	$\text{Bi}_{1,60}\text{Cu}_{0,09}\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$	9,5	2,3
8	$\text{Bi}_{1,64}\text{Cu}_{0,47}\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$	–	9,3

Примечание: тест фотокаталитической активности не проводился.

пользовании которого степень разложения РБ составила 17,3 %, что на 6,2 % больше, чем для образца титаната висмута $\text{Bi}_{1,6}\text{Ti}_2\text{O}_{7-5}$, не содержащего дополнительные катионы.

Различная фотокаталитическая активность синтезированных соединений с разными допированными элементами может быть объяснена в рамках зонной теории. В работе [10] сообщается о проведении первопринципных расчетов моделей пироклора титаната висмута при замещении позиций титана катионами 3-d элементов. Было показано, что замещение приводит к формированию межзон-

ных состояний в запрещенной щели, благодаря чему облегчается перенос электронов из валентной зоны в зону проводимости в процессе фотовозбуждения. Кроме того, замещение влияет на смещение электронных орбиталей, формирующих зоны, и как следствие – на расположение краев зон. Это, в свою очередь, приводит к уменьшению ширины запрещенной зоны и смещению края полосы поглощения к красной области спектра. Таким образом, природа допируемых элементов, а, следовательно, и энергия электронных уровней и распределение электронных состояний по энергии влияют на фотокаталитическую активность синтезированных нами Cu-, Fe-, Ni-, Co-содержащих титанатов висмута со структурой пирохлора.

Заключение

Гидротермальным методом синтезированы допированные катионами меди, железа, кобальта, никеля нанодисперсные порошки титаната висмута со структурой пирохлора общим составом $\text{Bi}_{1,6}\text{M}_x\text{Ti}_2\text{O}_{7-\delta}$. Методом РФА установлено, что полученные образцы содержат только фазу пирохлора. Методами ПЭМ и СЭМ показано, что частицы имеют сферическую форму и их размеры лежат в нанометровом диапазоне (до 100 нм). Химический анализ методом АЭС ИСП показал близость экспериментально полученного и теоретически заданного состава порошков, прокаленных при 600 °C (5 ч). Фотокаталитическая активность образцов была оценена по степени разложения красителя РБ при воздействии видимого света. Установлено, что катионсодержащие образцы, а также недопированный титанат висмута со структурой пирохлора проявляют фотоактивность в видимом свете. Максимальное фоторазложение РБ наблюдалось в случае образца $\text{Bi}_{1,65}\text{Fe}_{0,32}\text{Ti}_2\text{O}_{7-\delta}$ –200 °C–12 ч.

Работа выполнена при финансовой поддержке по Программе научных исследований УрО РАН, проект №13-3-НП-339.

Литература

1. Hashimoto K., Irie H., Fujishima A. TiO_2 Photocatalysis: A Historical Overview and Future Prospects // *Jpn. J. Appl. Phys.* 2005. Vol. 44. № 12. P. 8269–8285.
2. Kudo A., Miseki Y. Heterogeneous photocatalyst materials for water splitting // *Chem. Soc. Rev.* 2009. Vol. 38. № 1. P. 253–278.
3. Jing Z., Song Y., Lu F., Fei W. et al. Photocatalytic Degradation of Rhodamine B on Anatase, Rutile, and Brookite TiO_2 // *Chin. J. Catal.* 2011. Vol. 32. № 6. P. 983–991.
4. Inturia S.N.R., Boningaria T., Suidanb M., Smirniotis P.G. Visible-light-induced photodegradation of gas phase acetonitrile using aerosol-made transition metal (V, Cr, Fe, Co, Mn, Mo, Ni, Cu, Y, Ce, and Zr) doped TiO_2 // *Appl. Catal. B.* 2014. Vol. 144. P. 333–342.
5. Murugesan S., Subramanian V. Robust synthesis of bismuth titanate pyrochlore nanorods and their photocatalytic applications // *Chem. Commun.* 2009. № 34. P. 5109–5111.
6. Hou J., Jiao S., Zhu H., Kumar R.V. Bismuth titanate pyrochlore microspheres: Directed synthesis and their visible light photocatalytic activity // *J. Solid State Chem.* 2011. Vol. 184. № 1. P. 154–158.
7. Piir I.V., Sekushin N.A., Grass V.E. et al. Bismuth manganese titanate: Crystal structure and properties // *Solid State Ionics.* 2012. Vol. 225. P. 464–470.
8. Piir I.V., Koroleva M.S., Ryabkov Y.I. et al. Bismuth iron titanate pyrochlores: Thermostability, structure and properties // *J. Solid State Chem.* 2013. Vol. 204. P. 245–250.
9. Gu H., Hu Z., Hu Y. et al. The structure and photoluminescence of $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ nanoplates synthesized by hydrothermal method // *Colloids Surf. A.* 2008. Vol. 315. № 1-3. P. 294–298.
10. Murugesan S., Huda M.N., Yan Y. et al. Band-Engineered Bismuth Titanate Pyrochlores for Visible Light Photocatalysis // *J. Phys. Chem. C.* 2010. Vol. 114. № 23. P. 10598–10605.

Статья поступила в редакцию 04.03.2014.

УДК 574.2;504.7505;57.045

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОЛОСАХ ДЕТСКОГО НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

В.Г. ЗАЙНУЛЛИН, И.С. БОДНАРЬ, Б.М. КОНДРАТЁНОК

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

Европейский Север является территорией риска развития целого ряда элементозов. Определены уровни накопления макроэлементов, эссенциальных и токсических микроэлементов в составе волос детей из Республики Коми. Раскрыта специфика корреляционных связей между элементами на Севере. Характерная особенность элементного статуса детского населения – это избыток марганца, никеля, недостаток меди и селена. Дисбаланс элементов является в большей мере следствием геохимических и климатогеографических особенностей территории.

Ключевые слова: микроэлементозы, Север, здоровье детского населения, геохимические факторы среды

V.G. ZAINULLIN, I.S. BODNAR, B.M. KONDRATENOK. PARTICULARITY OF ACCUMULATION OF CHEMICAL ELEMENTS IN HAIR OF CHILDREN'S POPULATION OF THE REPUBLIC OF KOMI

The European North is the territory of a number of risk elements metabolism disorders. Levels of accumulation of macronutrients, essential and toxic trace elements in hair of children from the Republic of Komi were defined. The specific correlation between elements in the North was disclosed. Characteristic feature of the element status of children's population is the excess of manganese and nickel, selenium and copper deficiency. The disbalance of elements is, to a greater extent, the consequence of geochemical and climatic characteristics of the territory.

Keywords: microelementosis, the North, children's population health, geochemical environmental factors

В настоящее время особое внимание уделяется проблемам элементного гомеостаза организма, нарушения которого могут сопровождать многие патологические состояния различных органов и систем организма [1]. Считается, что роль металлолигандного гомеостаза в нормальном функционировании органов и систем сопоставима с ролью генетических факторов в формировании здоровья [2]. Изучение элементного «портрета» населения отдельных биогеохимических регионов является перспективным направлением современной биоэлементологии, что необходимо для научной разработки и внедрения мероприятий по устранению выявленных микроэлементозов [3].

Республика Коми расположена на Северо-Востоке европейской части Российской Федерации. Север представляет собой огромную полиэлементную биогеохимическую провинцию со сниженными адаптивными возможностями человека, где нарушения минерального обмена носят масштабный

характер [4]. При холодном воздействии может существенно увеличиваться потребность в ряде макро- и микроэлементов (кальций, магний, медь, фтор, железо, селен) [5, 6], что в условиях Севера приводит к их акклиматизационному (метаболическому) дефициту. Дисбаланс жизненно важных элементов является биогеохимической основой для развития выраженных и латентных форм полиэлементозов [4].

Неблагоприятные условия среды обитания отражаются, в первую очередь, на детском населении, которое является наиболее чувствительным в силу своей морфофункциональной незрелости к недостаточному или избыточному поступлению извне химических элементов [7]. Оценить влияние биогеохимических факторов среды на организм возможно благодаря элементному анализу состава волос, который отражает геохимические особенности местности проживания, особенности питания, уровень загрязнения окружающей среды [8]. В дан-

ном исследовании проведена оценка особенностей накопления макро- и микроэлементов в волосах детского населения некоторых районов Республики Коми.

Материал и методы

В работе изучено содержание 19 химических элементов (натрий, калий, медь, цинк, кальций, магний, фосфор, сера, селен, алюминий, кобальт, хром, никель, железо, марганец, мышьяк, свинец, кадмий, ртуть) в волосах детей из Республики Коми. Исследовали биоматериал у 85 ребят, включая 43 женского и 42 мужского пола, средний возраст $11,2 \pm 2,6$ лет. Для оценки влияния эколого-географических факторов волосы анализировали у детей из пяти районов республики. Выбор районов для исследования волос на микроэлементы осуществлялся на основании анализа заболеваемости, национального состава населения районов. Город Ухта, Троицко-Печорский и Прилузский районы выбраны как территории риска экологически обусловленной заболеваемости [9]. В Усть-Цилемском и Ижемском районах, различающихся по национальному составу (преимущественно русские и преимущественно коми-ижемцы, соответственно), заболеваемость на уровне среднереспубликанской; эти районы расположены в сходных географических условиях на северо-западе республики (с. Усть-Цильма – $65^{\circ}26'$ с.ш. 52° в.д.; с. Ижма – $65^{\circ}00'$ с.ш. $53^{\circ}55'$ в.д.).

Образцы волос получали путем состригания с затылочной части головы, помещали в специальные конверты, к конвертам прилагали идентификационные записи. Предварительно проведено анкетирование (возраст, пол, национальность, приём витаминно-минеральных комплексов, состояние здоровья).

Определение микроэлементного состава образцов волос выполнено экоаналитической лабораторией «Экоаналит» Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.511257 от 16 апреля 2009 г.). Анализ образцов волос проводили методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой. Контроль качества результатов измерений осуществлен с использованием стандартных образцов.

Статистическую обработку полученных результатов проводили при помощи программного пакета Statistica 6.0 (StatSoft, Inc., США). Исследовали содержание в волосах эссенциальных, условно эссенциальных и токсичных элементов. Вычисляли межквартильные интервалы, минимум-максимум содержания биоэлементов в волосах детей, процент проб отклонения от нормы. Отличия в накоплении элементов в волосах в зависимости от пола определяли с использованием критерия Манна-Уитни. Различия между районами по накоплению элементов в волосах детей оценивали по критерию Краскела-Уоллиса. При обнаружении статистически значимых различий между районами проводили апостериорные сравнения с помощью критерия Манна-Уитни [10]. Также ранжировали районы по каждому элементу по накоплению элемен-

тов относительно физиологической нормы. Взаимосвязь между элементами оценивали с использованием критерия Стьюдента [11].

Результаты и обсуждение

В табл. 1 представлены результаты анализа содержания макро- и микроэлементов в волосах детей из Республики Коми в сравнении со значениями, полученными в Институте биоэлементологии (г. Оренбург) и рекомендованными в качестве физиологической нормы [12].

Медь – микроэлемент, который влияет на активность более 30 ферментов, в основном ответственных за окисление веществ в организме и клеточное дыхание, стимулирует выработку женских половых гормонов и тироксина – основного гормона щитовидной железы [2]. Анализ элементного состава волос детей выявил невысокий уровень содержания меди. Медиана соответствует нижней границе референсного интервала. Число детей, имеющих в волосах содержание меди ниже физиологических границ, составило 41,3 % (табл. 1). Сравнение содержания меди в волосах мальчиков и девочек 7–14 лет (табл. 2) показало статистически достоверное (при $p \leq 0,05$) более высокое содержание этого биоэлемента у мальчиков, что согласуется с данными литературы [13]. Дефицит меди у девочек выражен сильнее, чем у ребят, что подтверждается и более высоким процентом проб ниже нормы (у 74% девочек и 42 – мальчиков), межквартильный интервал шире у девочек. Такая разница и большая потребность могут быть объяснены вовлеченностью меди в выработку женских половых гормонов. Нехватка меди у детей обусловлена ее низкими концентрациями в окружающей среде. Фоновое содержание меди в почве в пределах ландшафтов изучаемых районов составляет от 2 до 12 мг/кг и характеризуется как очень низкое и низкое [14]. При холодном воздействии может существенно увеличиваться потребность в данном микроэлементе, что в условиях Севера приводит к акклиматизационному (метаболическому) дефициту.

Селен – микроэлемент, выполняющий многочисленные защитные функции в организме, участвует в построении и функционировании глутатионпероксидазы, глицинредуктазы, цитохрома С – ведущих антиоксидантных соединений [15]. Северо-Запад России относится к селенодефицитным регионам вследствие низкого содержания этого элемента в окружающей среде, питьевой воде и продуктах питания местного производства [16, 17]. Установленный нами центильный интервал находится ниже нормы средних значений по России. Гипоселеноз выявлен для 95% обследованного детского населения (табл. 1).

Кальций – один из важнейших биоэлементов, макроэлемент, играющий важную роль в функционировании мышечной ткани, нервной системы, кожи, особенно костной ткани [18]. В Республике Коми содержание кальция в волосах детей повышено, количество проб волос с высоким уровнем кальция составляет 51,5 %, ниже нормы – 6 (табл. 1). Медианное значение содержания в волосах дан-

Таблица 1

Содержание химических элементов в волосах детей 7–14 лет

Элемент	Физиологическая норма, мг/кг волос (Скальный, 2003)	Содержание в волосах детей из Коми, мг/кг волос				
	Межквартильный интервал	Медиана	Межквартильный интервал	min-max	% проб выше нормы	% проб ниже нормы
Cu	8-12	8,3	6,3-9,7	0,96-26	4,8	41,3
Zn	94-183	160	131-200	16-550	26,6	6,25
Ni	0,15-0,55	0,56	0,25-1,1	0-3,8	33	19
Mn	0,32-0,93	3,3	2,2-5,9	0,4-51	91	0
Fe	13-27	25	17-40	6,7-230	35,4	6,15
Al	9-23	15,5	7,4-23	0,9-106	19,7	9
Ca	254-611	870	480-1700	120-7000	51,5	6
Mg	18-26	109,5	56-230	14-920	87,8	1,5
K	53-663	200	90-500	6,2-2700	19,7	9
Na	75-562	440	210-810	23-8300	33,3	7,5
P	118-156	120	106-150	13-430	9	39,4
S	нет данных	47000	45000-49000	43000-55000	-	-
Cr	0,26-0,7	0,4	0,18-0,64	0-4	9,2	27,7
Se	0,65-2,43	0,37	0,33-0,41	0,09-1,6	0	95
As	0-0,69	0	0-0,06	0-0,22	0	0
Co	0,02-0,11	0,075	0,04-0,15	0,009-2,4	23	9,23
Hg	0,094-0,267	0,183	0,097-0,297	0,015-13,3	23	0
Pb	0,76-2,43	0,58	0,39-1,6	0,013-12	7,5	0
Cd	0,03-0,18	0,089	0,04-0,16	0,007-0,7	21	0

Таблица 2

Сравнение содержания химических элементов в волосах детей 7–14 лет в зависимости от пола

Элемент	Девочки (РФ), мг/кг волос ***		Девочки (Коми), мг/кг волос		Мальчики (РФ), мг/кг волос ***		Мальчики (Коми), мг/кг волос	
	Медиана	Межквартильный интервал	Медиана	Межквартильный интервал	Медиана	Межквартильный интервал	Медиана	Межквартильный интервал
Al	18,2	12,0-26,7	19	6,45-32	18,9	13,0-27,6	12	7,4-23
As	0,116	0,004-0,411	0	0-0,06	0,121	0,001-0,437	0	0-0,06
Ca**	573,5	393,7-940,6	1750	880-4000	382,0	284,0-526,6	540	410-1000
Cd	0,108	0,026-0,236	0,086	0,042-0,165	0,14	0,044-0,287	0,082	0,04-0,1
Co**	0,126	0,037-0,246	0,08	0,04-0,24	0,12	0,04-0,25	0,04	0,027-0,09
Cr	0,647	0,421-1,01	0,4	0,22-0,68	0,733	0,477-1,14	0,34	0,14-0,57
Cu*	9,82	8,05-12,5	8,8	6,2-12	9,33	7,85-11,3	7,55	6-8,5
Fe*	17,6	12,2-25,7	24	19-41	19,7	14,2-28,6	23	14-36
Hg	0,153	0,094-0,248	0,21	0,127-0,297	0,154	0,089-0,267	0,129	0,063-0,215
K**	85,5	37,9-240,8	100	58-215	273,2	98,1-686,6	340	160-1000
Mg**	42,6	26,7-76,2	210	94-420	25,6	17,0-38,4	65	39-160
Mn**	0,625	0,405-1,11	4,9	2,7-12	0,62	0,419-1,0	2,6	1,6-3,7
Na*	168,9	85,3-380,7	270	150-550	359,5	159,7-798,5	500	320-1500
Ni**	0,355	0,139-0,71	0,785	0,25-1,2	0,274	0,113-0,578	0,5	0,08-1,0
P*	145,9	129,4-165,0	110	96-150	150,2	134,5-168,3	130	110-150
Pb	0,727	0,25-1,5	0,49	0,295-1,45	1,49	0,58-3,0	0,49	0,39-0,73
Se	1,05	0,546-1,94	0,35	0,18-0,41	1,0	0,53-1,86	0,39	0,34-0,41
Zn	178,3	144,8-206,8	160	135-210	156,8	122,6-185,8	160	132-170

Примечание: * – отличия достоверны при $p \leq 0,05$ по критерию Манна-Уитни;** – отличия достоверны при $p \leq 0,01$ по критерию Манна-Уитни;

*** – сравнение по Грабеклис, 2009.

ного макроэлемента выше референсного интервала. У девочек медиана в 1,8 раза выше верхней границы нормы, 71,4% проб волос с избыточным содержанием кальция. У мальчиков медианный уровень кальция превышен в 1,5 раза, совпадает с верхней границей референсного интервала (табл. 2). Содержание кальция в волосах девочек 7–14 лет в 3,2 раза выше, чем у мальчиков. Природные воды на Севере слабоминерализованные, с низким содержанием кальция, магния. Повышенное содержание кальция в волосах детей можно рассматривать как показатель усиленного кругооборота элемента в организме, что говорит о риске возникновения его дефицита [19]. Кальций активно вовлечен в обмен, выходит из своего депо (зубы, костная ткань) и усиленно выводится из организма.

Магний – макроэлемент, влияющий на активность более 300 ферментов, в основном регулирующих биоэнергетические процессы в организме, а также деятельность сердечно-сосудистой системы и уровень жиров в крови. В изученных образцах волос детей наблюдается также избыток магния, медианное значение превышает верхнюю границу нормы в три раза. Количество проб волос с высокими концентрациями магния составляет 87,8%. Медианное значение у девочек выше референсного медианного значения в 4,9 раза, у мальчиков – в 2,5. Избыток магния и кальция в волосах детей указывает не на избыток данного элемента в организме, а на ускорение его метаболизма [19].

Фосфор. Результаты анализа волос выявили дефицит фосфора. Медиана совпадает с нижней границей нормы. Высокое число проб ниже нормы (39,3 %) указывает на дефицит этого элемента у более трети детей республики. Среди детей 7–14 лет недостаток фосфора испытывают 51,7 % девочек и 44,8 – мальчиков, различия достоверны при $p \leq 0,05$. Для Севера характерен недостаток фосфора, кальция, магния, витамина D, что подтверждается недостатком этих элементов у жителей: Архангельской области, Ненецкого автономного округа [4, 20, 21].

Никель. Содержание никеля в волосах детей повышено, в некоторых образцах в два–семь раз больше нормы. Верхняя граница межквартильного интервала по Коми в два раза превышает верхнюю границу референсного интервала. Высокое содержание никеля в волосах объясняет его присутствие выше ПДК в почве [22, 23]. Количество проб выше нормы у девочек составляет 47,7%, у мальчиков – 27,6. Содержание никеля статистически достоверно выше в волосах девочек (при $p \leq 0,01$).

Марганец. Его содержание в волосах детей на порядок выше референсных значений, 91 % проб волос выше референсных показателей. Максимальное содержание марганца в волосах в 50 раз превосходит верхнюю границу нормы. Достоверно выше содержание у девочек (при $p \leq 0,01$). У 100 % девочек и 72,4% мальчиков избыток марганца в волосах. Накопление этого элемента в волосах детей является следствием его высокого содержания в дерново-подзолистых, подзолистых почвах

европейского Севера России. Содержание марганца в почвах и воде исследованных районов превышает ПДК и варьирует от чрезвычайно опасного до умеренно опасного [23].

Железо. Содержание его в волосах у детей находится в пределах верхней границы нормы. У девочек избыток железа в волосах выражен сильнее ($p \leq 0,05$), медиана соответствует верхней границе нормы, процент проб выше референсного интервала – 38 %, у мальчиков медианное значение в норме. Избыточное содержание железа в волосах связано с избытком железа в питьевой и природной воде республики (табл. 3). Для Республики Коми актуальна проблема «северной анемии», которая может быть вызвана не дефицитом железа, а недостатком кобальта, фтора, магния, меди и кальция. Дефицит железа в волосах обнаружен только у 6,15 % обследованных.

Таблица 3

Наличие в питьевой воде централизованных систем водоснабжения опасных химических веществ по максимальным концентрациям (Глушкова и др., 2002)

Административная территория	Вещества I-II класса опасности	Вещества III-IV класса опасности с максимальным содержанием выше ПД
г. Ухта	Бор, кадмий, нитриты	Аммиак, железо, марганец, хлориды, сульфаты
Троицко-Печорский р-н	–	Железо
Прилузский р-н	Барий, бор, кадмий, мышьяк, ртуть	Аммиак, железо, марганец
Ижемский р-н	Барий, кадмий, свинец	Аммиак, железо, марганец, хлориды
Усть-Цилемский р-н	-	Железо

В северных регионах, кроме проблемы северной анемии, актуальна проблема избытка железа. Сочетание эссенциальности элемента с его возможной токсичностью предполагает, что нарушения метаболизма железа могут негативно влиять на жизнедеятельность. Раздражающее действие высоких концентраций железа в питьевой воде влияет на уровень заболеваемости atopическим дерматитом в Печорском и Прилузском районах [24].

Хром – жизненно важный элемент, участвующий в регуляции углеводного и жирового обмена, в деятельности сердечно-сосудистой системы. В республике в волосах детей отмечается умеренный дефицит хрома. Медиана соответствует пределам референсного интервала. У 40% девочек и 50% мальчиков содержание хрома в волосах ниже нормы. Недостаток хрома в организме приводит к нарушению толерантности к глюкозе, диабет второго типа считают, прежде всего, хроническим хромовым дефицитом [25].

Анализ волос детей республики выявил региональные особенности накопления макро- и микроэлементов в волосах детей. В Республике Коми

наблюдается дисбаланс обеспеченности детского населения эссенциальными и условно эссенциальными элементами. Выявлен дефицит меди, селена, учитывая взаимосвязь его с йодом. Недостаток селена может являться фактором, усугубляющим дефицит этого эссенциального микроэлемента. В волосах детей Республики Коми обнаружен избыток марганца и никеля, что обусловлено геохимическими особенностями местности.

Токсичные элементы

Свинец – один из наиболее токсичных элементов. С одной стороны, свинец участвует в обменных процессах костной ткани, с другой – является канцерогеном и тератогеном для организма. Содержание свинца в волосах 92,5% детей республики не превышает границы установленного референсного интервала. **Кадмий** – экотоксикант, обладающий канцерогенным, гонадотропным, эмбриотропным, мутагенным и нефротоксическим действием. Медиана содержания кадмия в волосах детей 7–14 лет не превышает верхнюю границу референсного интервала, количество проб выше нормы составляет 21%. **Ртуть** и ее соединения (метилртуть) чрезвычайно токсичны. Содержание ртути в волосах детей в республике не превышает нормы.

Содержание в волосах детей токсичных элементов является индикатором загрязнения окружающей среды. В волосах детей из республики не обнаружены слишком высокие концентрации токсичных элементов, за исключением отдельных частных случаев. В отдельных районах наблюдаются концентрации свинца, ртути и кадмия, соответствующие верхней границе нормы.

Сравнение по обеспеченности эссенциальными и токсичными элементами районов республики

Анализ полученных данных выявил статистически значимые отличия в накоплении меди, кадмия, алюминия, магния, натрия, фосфора, хрома, селена, свинца, ртути у детей исследуемых районов (табл. 4). Полученные величины средних рангов ($R_{\text{ср}}$) отличаются в зависимости от уровня накопления элемента в волосах детей. Наиболее высокие средние ранги соответствуют более высоким концентрациям элемента. Если есть различия между районами в накоплении элементов, то средние ранги будут сильно отличаться, значение критерия Краскела-Уоллиса (H) будет велико.

Анализ различий между районами при помощи критерия Краскела-Уоллиса показал статистически значимые отличия в накоплении меди ($p \leq 0,01$), наибольшее число рангов приходится на Троицко-Печорский район и г. Ухту, где медиана содержания меди соответствует норме. Содержание меди в Усть-Цилемском районе статистически значимо ниже, чем в Троицко-Печорском, Ижемском районах и г. Ухте ($p \leq 0,01$) (рис. 1).

В волосах детей г. Ухты имеется избыток никеля, медианное значение в два раза выше границы референсного значения, медиана содержания никеля в волосах детей в два раза выше, чем в Усть-Цилемском, Ижемском, Троицко-Печорском районах и в три раза выше, чем в Прилузском районе (рис. 2).

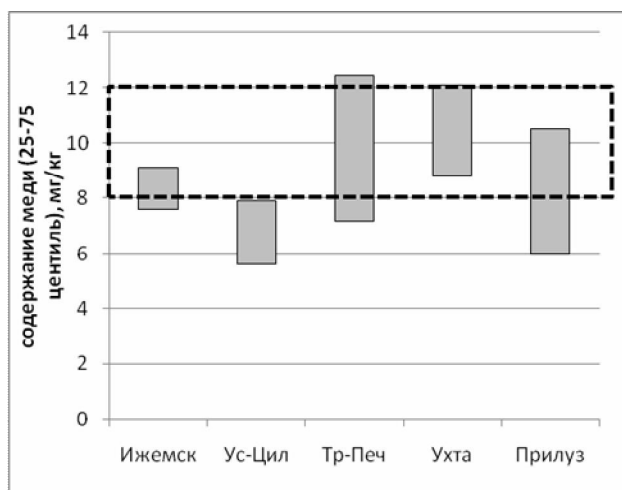
Имеются достоверные отличия (при $p \leq 0,01$) в накоплении фосфора в волосах детей из различных районов (рис. 3). Во всех районах, кроме Тро-

Таблица 4

Результаты оценки отличий между районами по содержанию элементов в волосах детей по критерию Краскела-Уоллиса

Элемент	$R_{\text{ср}}$ Троицко-печорск	$R_{\text{ср}}$ Усть-цилемск	$R_{\text{ср}}$ Ижемск	$R_{\text{ср}}$ Прилузск	$R_{\text{ср}}$ Ухта	H	p
Cu	40,0	13,6	32,3	26,5	44,5	22	0,0002
Cd	36,6	23,5	37,6	47,5	23,9	12	0,02
Zn	36,5	27,8	25,7	39	40,9	7	0,1
Ni	27,3	30	32,4	27,7	42,5	5,4	0,3
Mn	36,6	21,5	30,4	40,5	39,3	8,7	0,07
Co	39,6	25	27,2	27,3	38,8	6,5	0,2
Fe	37	31,3	35,6	27,4	24,7	4,2	0,4
Al	43,2	42,1	25,9	35,8	21,9	14,3	0,006
Ca	40,2	25,8	20,9	43,3	43	17,2	0,002
Mg	44	27,3	19,8	34,7	40,2	16,8	0,002
K	33,2	40,6	32,8	34,8	21,7	7,2	0,1
Na	35,5	47,6	30,2	30,8	17	18,9	0,0008
P	17,4	42,8	24,8	41	43,2	21,5	0,0002
S	30,2	42,5	25,2	27,8	36,3	8,0	0,09
Cr	43,9	27,3	40,8	8	26	21,6	0,002
Se	19,9	42,8	33,3	52	20,6	22,2	0,0001
Pb	45,5	34	23,6	38,2	27,5	12,1	0,02
Hg	35,3	38,3	34,7	26,2	17,6	11,2	0,02

Примечание: $R_{\text{ср}}$ – средний ранг; H – значение критерия Краскела-Уоллиса, p – уровень значимости, при котором отличия достоверны ($p \leq 0,05$).



— здесь и далее физиологическая норма (Скальный, 2003)

Рис. 1. Сравнение содержания меди в волосах детей по районам.

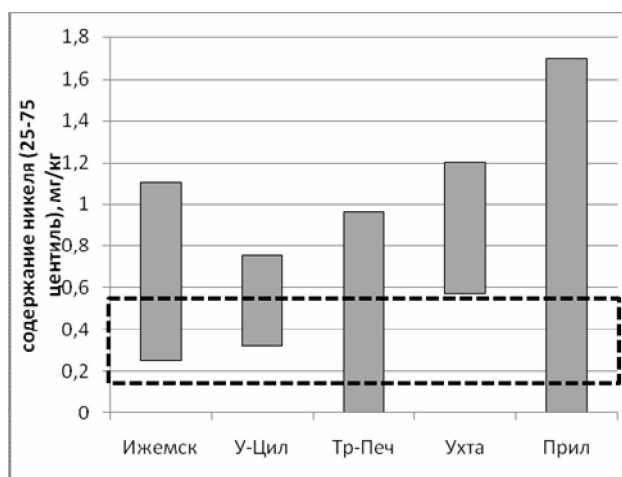


Рис. 2. Сравнение содержания никеля в волосах детей по районам.

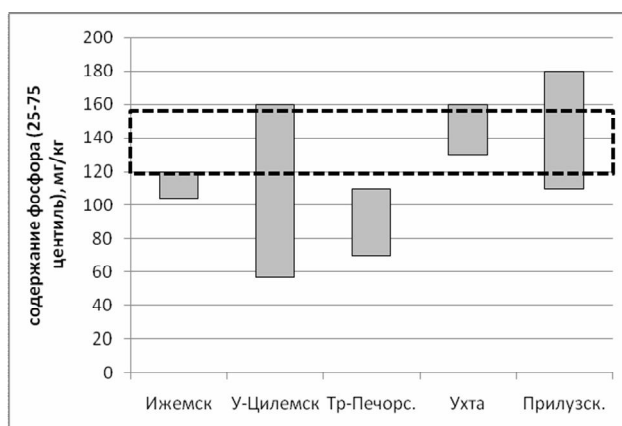


Рис. 3. Сравнение содержания фосфора в волосах детей по районам.

ицко-Печорского, медиана входит в референсный межквартильный интервал. В Троицко-Печорском районе 83% обследованных детей испытывают недостаток фосфора.

Наибольшие концентрации свинца в волосах детей отмечаются в Троицко-Печорском районе – медиана равна 1,5 мг/кг, верхняя граница межквартильного интервала выше соответствующего значения, принятого за норму, максимальная концентрация, найденная в ходе всего исследования, составляет 12 мг/кг. Концентрация свинца в волосах детей Троицко-Печорского района выше, чем Ижемского, Усть-Цилемского и г. Ухты ($p \leq 0,01$).

Превышение ПДК по кадмию обнаружено в питьевой воде г. Ухты, Ижемского и Прилузского районов (табл. 3). Наибольшее содержание кадмия – в волосах детей Прилузского района ($p \leq 0,05$), избыток – у 50% обследованных. Содержание кадмия в волосах детей из Прилузского района статистически достоверно выше, чем в Усть-Цилемском районе и г. Ухте ($p \leq 0,01$).

У детей выбранных районов имеются общие черты в особенностях накопления элементов в волосах, а также некоторые отличия. Имеются достоверные отличия в накоплении меди в волосах детей различных районов (имеется недостаток в Ижемском и Усть-Цилемском районах), кальция и магния (избыток в г. Ухте, Прилузском и Троицко-Печорском районах), фосфора (недостаток в Троицко-Печорском районе), железа (избыток в Ижемском и Усть-Цилемском районах), кобальта (медиана соответствует верхней границе референсного интервала в Троицко-Печорском районе и Ухте), хрома (недостаток в Прилузском и Усть-Цилемском районах). Из токсичных элементов верхней границе нормы соответствует медиана алюминия в Усть-Цилемском, Прилузском и Троицко-Печорском районах, а ртути – в Троицко-Печорском. Избыток свинца обнаружен в волосах детей Троицко-Печорского района, а кадмия – Прилузского и Троицко-Печорского районов.

Согласно ранговому показателю, лучшая обеспеченность эссенциальными и условно эссенциальными элементами характерна для Ижемского района, за ним идет Усть-Цилемский, менее благополучен – Прилузский (табл. 5). Неблагополучными районами по обеспеченности детского населения макро- и микроэлементами являются Троицко-Печорский район и г. Ухта. Именно эти территории входят в тройку районов «высокого риска развития экологически обусловленной патологии». Разница в элементном портрете исследуемых районов обусловлена геохимическими особенностями ландшафтов. Для Троицко-Печорского района немаловажную роль играют трансграничные переносы и выпадение более минерализованных осадков.

С позиций существующих физиологических концепций, столь выраженные неблагоприятные условия среды должны стать причиной специфических адаптивных изменений в обмене веществ [26]. Обнаружение регионально-обусловленных поправок в центильные интервалы приводит к изменению корреляционных связей между элементами на фоне пониженного или повышенного содержания элементов в волосах. Подтверждением этих положений относительно адаптации коренного населения к биогеохимическим условиям является то, что наи-

Таблица 5

Ранговое соотношение территорий по содержанию эссенциальных и условно эссенциальных химических элементов в волосах детей 7–14 лет (наименьшее численное значение ранга соответствует наиболее неблагоприятному содержанию)

Элемент Территория	Cu	Zn	Ni	Fe	Mn	Ca	Mg	K	Na	P	Se	Co	Итог. ранг
Троицко-Печорский	5	2	2	1	2	3	1	3	3	1	1	1	25
Усть-Цилемский	2	5	3	3	4	4	4	4	1	3	3	4	40
Ухта	4	1	1	4	3	2	2	1	4	4	2	3	31
Ижемский	3	4	4	2	5	5	5	2	4	2	3	4	43
Прилузский	1	3	5	4	1	1	3	5	2	3	4	2	34

более благополучным районом по содержанию жизненно необходимых элементов является Ижемский район, где проживает коренное население.

Заключение

Анализ содержания микроэлементов в волосах детей выявил особенности «элементного портрета» населения Республики Коми. Дисбаланс элементов является следствием в большей мере геохимических, климатогеографических особенностей территории, несбалансированности пищевого рациона. В волосах детей обнаружены высокие концентрации марганца, никеля, недостаток селена, фосфора, меди. Токсичные элементы в концентрациях, превышающих средние показатели, выявлены в волосах детей Троицко-Печорского (свинец, кадмий), Прилузского (кадмий) районов, они обусловлены высокими фоновыми концентрациями элементов в поверхностных и подземных водах районов, в почве.

Выраженный дисбаланс эссенциальных и токсичных элементов обнаружен в волосах детей Троицко-Печорского района, что согласуется с высоким уровнем экологически обусловленной заболеваемости. Наиболее сбалансированным и приближенным к норме является элементный состав волос детей из Ижемского района, где проживает коренное население Севера – коми-ижемцы, что является следствием адаптационной перестройки корреляционных связей между элементами на фоне повышенного или пониженного их содержания в окружающей среде.

Литература

1. Ларионова Т.К., Симонова Н.И., Гарифуллина Г.Ф. и др. Микроэлементозы человека в условиях крупного промышленного города // Успехи современного естествознания. 2004. № 2. С. 48–51.
2. Кудрин А.В., Скальный А.В., Жаворонков А.А. Иммунофармакология микроэлементов. М.: КМН, 2000. 350 с.
3. Сусликов В.А. Геохимическая экология болезней: Атамовиты. М.: Гелиос АРВ, 2000. Т. 2. 772 с.
4. Горбачев А.Л., Добродеева Л.К., Теддер Ю.Р., Шацова Е.Н. Биогеохимическая характеристика северных регионов. Микроэлементный статус населения Архангельской области и прогноз развития эндемических заболеваний // Экология человека. 2007. № 1. С. 4–11.
5. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Строчкова Л.С. Принципы классификации заболеваний биогеохимической природы // Архив патологии. 1983. № 9. С. 3–14.
6. Панин Л.Е. Изменения обмена витаминов, солей и микроэлементов // Механизмы адаптации человека в условиях высоких широт. Л.: Медицина, 1980. С. 98–108.
7. Вельтищев Ю.Е. Экологически детерминированные нарушения состояния здоровья детей // Российский педиатрический журнал. 1999. №3. С. 7–8.
8. Oyoo-Okoth E., Admiraal W., Osano O., Kraak M.H. Element profiles in hair and nails of children reflect the uptake from food and the environment // Environ. Toxicol. Chem. 2012. № 2. Р. 1461–1467.
9. Зайнуллин В.Г., Боднар И.С. Экологически обусловленная заболеваемость детского населения Республики Коми // Теоретическая и прикладная экология. 2012. № 2. С. 128–134.
10. Гржибовский А.М. Анализ трёх и более независимых групп количественных данных // Экология человека. 2008. № 3. С. 50–58.
11. Гланц С. Медико-биологическая статистика. М.: Практика, 1999. 461 с.
12. Скальный А.В. Референтные значения концентрации химических элементов в волосах, полученные методом ИСП-АЭС (АНО Центр биотической медицины) // Микроэлементы в медицине. 2003. № 4. С. 55–56.
13. Грабкелис А.Р. Половые, возрастные и эколого-географические различия в элементном составе волос у детей 7–14 лет, проживающих в различных регионах России: Автореф. дис. канд. биол. наук. СПб., 2009. 169 с.
14. Атлас почв Республики Коми / Под ред. Г.В. Добровольского, А.И. Таскаева, И.В. Забоевой. Сыктывкар, 2010. 356 с.
15. Оберлис Д., Харланд Б., Скальный А.В. Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека, животных. СПб.: Наука, 2008. 544 с.
16. Голубкина Н.А., Скальный А.В., Соколов Я.А. Селен в медицине и экологии. М.: Изд-во КМК, 2002. 136 с.
17. Паршукова О.И., Бойко Е.Р. Содержание селена в организме человека в условиях Евро-

- пейского Севера // Медико-физиологические проблемы экологии человека: Тез. Всеросс. конф. с междунар. участием. Ульяновск, 2007. С. 194–195.
18. Тайбулатов Н.И., Намазова Л.С. Способы коррекции дефицита кальция у детей // Педиатрическая фармакология. 2007. Т.4. № 4. С. 54–57.
19. Скальный А.В. Химические элементы в физиологии и экологии человека. М.: Издательский дом «ОНИКС 21 век» Мир, 2004. 216 с.
20. Айвазова Е.А., Сычева Л.Н., Добродеева Л.К. Особенности электролитного обмена у жителей Архангельской области // Методические рекомендации для врачей. Архангельск, 1998. 40 с.
21. Добродеева Л.К., Жилина Л.П. Иммунологическая реактивность, состояние здоровья населения Архангельской области. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 229 с.
22. Глушкова Л.И., Маймулов В.Г., Корабельников И.В. Обеспечение эколого-гигиенического благополучия в условиях Крайнего Севера: проблемы и решения. СПб.: СПб ГМА им. И.И. Мечникова, 2002. 298 с.
23. Оберман Н.Г., Шеслер И.Г., Рубцов А.И. Экогеология Республики Коми и восточной части Ненецкого автономного округа. Сыктывкар: Пролог Плюс, 2004. 256 с.
24. Галушка Н.А., Глушкова Л.И., Рымарь А.И. К вопросу о возможности гигиенической оптимизации содержания железа в некоторых водопроводах Республики Коми. Сыктывкар, 2004. 132 с.
25. Anderson R.A. Chromium, Glucose Intolerance and Diabetes // J. am Coll. Nutrition. 1998. Vol. 17. № 6. P. 545–555.
26. Нотова С.В., Мирошников С.А., Болодурина И.П., Дидикина Е.В. Необходимость учета региональных особенностей в моделировании процессов межэлементных взаимодействий в организме человека // Вестник ОГУ. 2006. № 6. С. 59–63.

Статья поступила в редакцию 19.08.2013.

УДК 598.283 – 19:574.91 (470.1)

РАСПРОСТРАНЕНИЕ, МИГРАЦИИ, ЧИСЛЕННОСТЬ, БИОЛОГИЯ РОГАТОГО ЖАВОРОНКА *EREMOPHILA ALPESTRIS* (L., 1758) НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РОССИИ

А.А. ЕСТАФЬЕВ

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

Работа посвящена обычному и многочисленному виду на европейском Северо-Востоке России – рогатому жаворонку. На европейском Севере России антропогенная нагрузка на занимаемые птицами территории значительно возрастает, плотность населения птиц в пределах эксплуатируемых месторождений полезных ископаемых снижается. На основе исследований автора (1965–2013 гг.) и опубликованных материалов представлен обзор состояния популяции с середины XIX в. В естественных местообитаниях численность вида в регионе остается на сравнительно высоком уровне.

Ключевые слова: рогатый жаворонок *Eremophila alpestris* (L., 1758), биология, экология, европейский Северо-Восток России

A.A. ESTAFYEV. SPREADING, MIGRATION, NUMBER AND BIOLOGY OF SHORE LARK *EREMOPHILA ALPESTRIS* (L., 1758) IN THE EUROPEAN NORTHEAST OF RUSSIA

The work is devoted to a usual and numerous species in the European North of Russia - the shore lark *Eremophila alpestris* (L., 1758). The anthropogenous loading considerably increases in the European North of Russia, number of birds within exploited mineral deposits decreases. On the basis of researches (1965–2013) and the published materials the analysis of condition of the population since mid-XIX century is presented. It is shown that in natural habitats number of the species remains at rather high level.

Keywords: shore lark, *Eremophila alpestris* (L., 1758), migration, biology, ecology, European northeast of Russia

Введение

В 1960-х гг. в Финляндии отмечено «катастрофическое и почти полное сокращение численности вида в сезоны миграций», в Карелии – в первую половину 1970-х гг. рогатый жаворонок был обычным на пролете, в 1980-х – становится «очень редким, регистрируется не каждый год». Заметно снизилась численность вида на пролете и гнездовье в тундровой зоне и внутренних горных таежных районах Кольского п-ова. Сокращение численности птиц, возможно, произошло в связи с изменением путей пролета или вследствие ухудшения экологической ситуации [1–4]. В связи с этим особый интерес представляют проведенный анализ опубликованных работ с середины XIX столетия и материалы исследований автора, характеризующие состояние популяции рогатого жаворонка на европейском Северо-Востоке России, где численность вида сохранилась на сравнительно высоком уровне.

Материал и методы

Основной полевой материал по биологии и экологии вида собран во все сезоны 1965–2013 гг. стационарно и на маршрутах. Полевые работы про-

должались свыше 62 мес. с большей продолжительностью в репродуктивный и миграционные периоды. В зоне тайги общая протяженность маршрутов составляла: пеших – 5,2, водных – 1,9 тыс. км; в восточноевропейской тундре наземные учеты проведены на площади около 120 км², на Югорском п-ове – 32 км². Учеты птиц в таежной зоне в период миграции выполнялись в полосе шириной 500 м в утренние и вечерние часы; в зоне тундры численность и гнездовая плотность определялись маршрутным методом по дальности обнаружения и площадным – на 1 км², водным – с полосой охвата побережий озер и рек 60 м (с использованием бинокля с семикратным увеличением).

Районы стационарных исследований (см. рисунок). **Зона тайги:** Северный Урал и западное предгорье, бассейны рек Илыч, Северная Кельтма, Щугор; Приполярный Урал и западное предгорье, бассейны рек Печора, Большая Сыня, Щугор; Тиманский Кряж; бассейн р. Мезень; бассейн р. Вымь; бассейн р. Ижма; бассейн рек Вишера, р. Луза; бассейн оз. Дон-Ты; окр. г. Сыктывкара; бассейн р. Виледь; бассейн р. Курбат; бассейн р. Сотчем-ю. **Зона предтундрового редколесья.** Лесной «остров» в бассейне р. Море-Ю; р. Колва. **Зона тундры.** По-

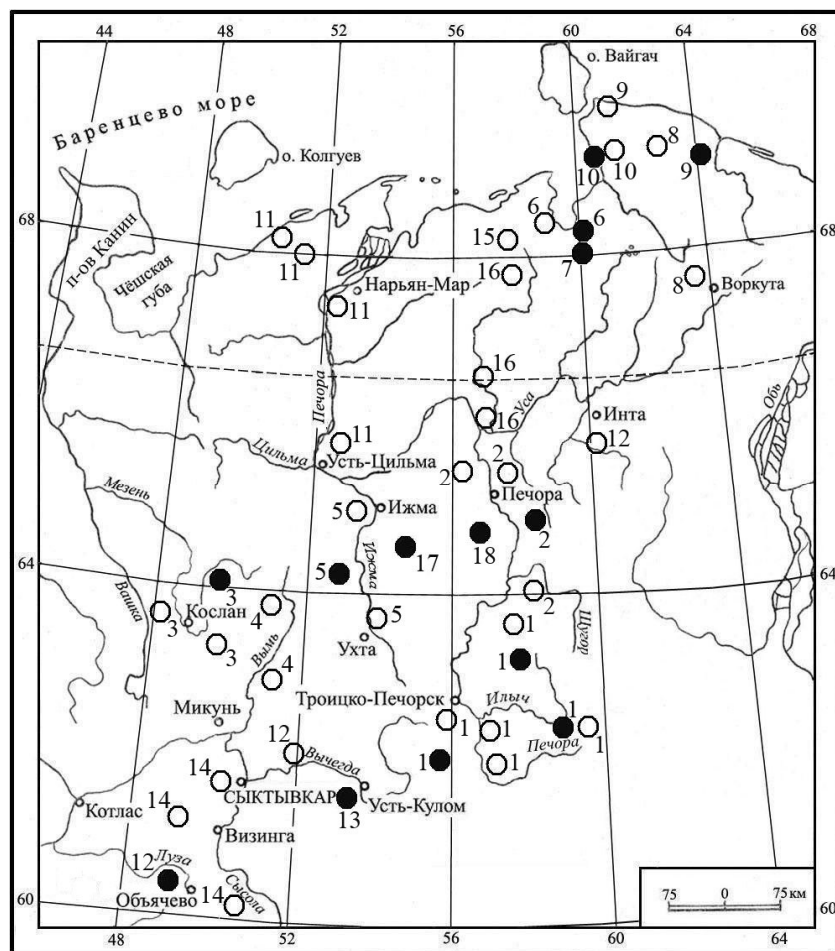


Рис. Районы и годы исследований автора на европейском Северо-Востоке России.
Методы исследования: ● – стационарный, ○ – полустационарный.

Зона тайги. 1. Северный Урал и западное предгорье, бассейны рек Илыч, Северная Кельтма, Щугор – 1965–1967, 1991 гг.; 2. Приполярный Урал и западное предгорье, бассейны рек Печора, Большая Сыня, Щугор – 1968–1974, 1994, 2001, 2003 гг.; Тиманский Кряж; 3. Бассейн р. Мезень – 1972–1974, 1976 гг.; 4. Бассейн р. Вымь – 1972, 1987–1990 гг.; 5. Бассейн р. Ижма – 1971–1972 гг.; 12. Бассейн рек Вишера – 1986 г., р. Луза – 1986–1987 гг.; 13. Бассейн оз. Дон-Ты – 1986–1991, 1996, 1998, 2000, 2002, 2007, 2009, 2013 гг.; 14. Окр. г. Сыктывкара – 1984–1991, 2001–2004, 2007–2013 гг.; бассейн р. Виледь – 1985; 17. Бассейн р. Курбат – 1999–2001 гг.; 18. Бассейн р. Сотчем-ю – 2001–2004, 2007 гг. **Зона предтундрового редколесья.** 7. Лесной «остров» в бассейне р. Море-Ю – 1978–1979 гг.; 16. Река Колва – 1996–1997 гг. **Зона тундры.** 6. Побережье Хайпудырской губы, бассейн р. Море-Ю – 1976–1977, 1980 гг.; Югорский п-ов; 8. бассейн р. Большая Ою – 1981, пром. зона севернее г. Воркута – 1983 гг.; 9. Западное побережье Карской губы – 1982–1984, мыс Чайка – 1997 гг.; 10. Бассейн р. Лымбада-Яга – 1983–1984 гг.; 11. Побережье Сенгейского пролива, бассейн оз. Урдюжское – 1978, 1982, 1984 гг.; 15. Бассейн оз. Серья-ты – 1994 г.; 16. Бассейн р. Колва – 1996 г.

бережье Хайпудырской губы, бассейн р. Море-Ю; Югорский п-ов; бассейн р. Большая Ою; пром. зона севернее г. Воркута; западное побережье Карской губы, мыс Чайка; бассейн оз. Урдюжское; бассейн оз. Серья-ты; бассейн р. Колва; бассейн р. Лымбада-Яга; побережье Сенгейского пролива.

Районы маршрутных исследований. В зоне тайги пешими и водными маршрутами были охвачены долины рек: Печора с притоками Илыч, Подчерем, Щугор, Большая Паток, Большая Сыня, Северная Мылва; Ижма, Кедва, Вымь, Мезень (от верховий до с. Кослан); Вычегда с притоками – Сысола и Локчим, Луза; в зоне предтундровых редколесий: Кол-

ва, низовья Печоры, Сула; в зоне тундры: Море-Ю, Яре-Яха, Пуче-Яха, Вакач-Шар, Колва, Науль-Яха, Лымбадаяга, Большая Ою, Сааяха; озерные системы – Нау-то, Хенде-то, Урдюжские, Сабу-то; окрестности крупных промышленных центров: Сыктывкар, Ухта, Печора, Воркута, Нарьян-Мар.

Для выяснения подвидовой систематики, линьки и степени роста оперения проводился полевой сбор шкурок птиц с последующим анализом в коллекциях Зоологического института РАН, Зоологического музея МГУ, Хельсинкского университета. Систематика, русские и латинские названия вида и подвида приняты по Л.С. Степаняну [5].

Основные результаты и обсуждение

Подвидовая систематика. Рогатый жаворонок *Eremophila alpestris* (L., 1758) – представитель рода *Eremophila* Boie, 1828 – Рогатые жаворонки. Тундры Евразии, о-ва Северного Ледовитого океана и Восточную Сибирь населяет тундряной рогатый жаворонок *Eremophila alpestris flava* Gm., 1788 [6] (рис.). Изменчивость проявляется в степени развития желтой окраски в области горла и черного рисунка на голове и груди, общего тона оперения. Известно около 40 подвидов [5]. Отличается от других подвидов темной верхней стороной тела, желтым или беловато-желтым горлом, но не белым, как у *E. a. brandti* Dress, 1874. Желтизна на голове интенсивно выражена у *E. a. flava* Gm. поздней осенью и зимой.



Рис. Самец (слева) и самка (справа) рогатого жаворонка *Eremophila alpestris flava* Gm. в период размножения.

Статус. В зоне тундры и предтундровом редколесье – гнездящийся, в зоне тайги – пролетный вид. Гнездится в северной части Урала, на юг проникает, возможно, до 65° с.ш.

Размеры и масса. У особей с долин рек Вычегда, Большая Сыня и Море-Ю, западного побережья Карской губы длина крыла самцов (15) 104–113, самок (8) 100–103, в среднем 108.4 и 101.5 мм; длина хвоста самцов 70–75, самок 65–67, в среднем 72.3 и 66.5 мм; цевки самцов 21.5–26.0, самок 21.5–25, в среднем 23.5 и 23.3 мм; длина клюва самцов 9.0–13.0, самок 10.2–11.0, в среднем 11.1 и 10.6 мм. Масса самцов составляет 34.5–40.0, самок 30.1 и 48.0, в среднем 37.4 и 37.3 г.

Линька. В восточноевропейской тундре и на островах Печорского и Карского морей на местах гнездовий взрослые жаворонки начинают линять в разные сроки, что зависит, в основном, от начала наступления весенних явлений и погодных условий в период размножения. На Югорском п-ове смена

контурного оперения у большинства самцов начинается с середины июля, у самок – с середины июля и до середины августа. С начала августа происходит частичная смена рулевых и маховых перьев. Молодые птицы начинают линьку во взрослый наряд с середины июля. Птенцы во взрослом наряде отмечались с конца июля. В Тиманской тундре [7, с. 28]: «27 июня подлеток массой 27.5 г был с недоросшими перьями крыла (74 мм) и рулевыми. Молодая птица (37.9 г) 30 июля была уже во взрослом наряде. Взрослые птицы линяют во второй половине июля и в первой половине августа. 2 июля 1937 г. добыт самец с перелинявшим мелким оперением и с частично недоросшими двумя парами крайних рулевых и первых двух маховых перьев.

По С.С.Фолитареву, 15 августа 1929 г. самец был в той же степени линьки. Следовательно, линька происходит далеко не одновременно».

Распространение. Север Евразии: зона тундры, северная полоса предтундрового редколесья, горные области Восточной Сибири. На европейском Севере: восточноевропейские тундры, Югорский п-ов, п-ов Канин, острова Баренцева и Карского морей: Вайгач, Колгуев, Долгий, Большой Ляховский, Медвежий и ряд других меньших по размерам, южный п-ов архипелага Новая Земля. В Швеции на юг проникает до 63° с.ш., в Скандинавии до 64° с.ш.(?). На европейском Северо-Востоке: на п-ове Канин – до с.Семжа, низовий рек Мезень и Печора (65°30', севернее с. Усть-Цильма). В Предуралье до 65°40', на Урале – 65° с.ш.

(?); в Восточной Сибири – 56° с.ш. [6–48].

В Зоологический музей Академии наук (г.Санкт-Петербург) Быстровым (Нерн Bystrov) была передана шкурка с низовья р. Мезень (из рапорта М. Брандта: М. Brandt [9], 10 декабря 1841г.). По Харви Брауну [12,13], вид отмечен в бассейне р. Печора: у сел Усть-Цильма (65°26') с 15 апреля по 10 июня, Куя (67°45') – 18–19 июня, Алексеевка с 20 июня по 2 августа, Хабариха (65°47') – с 29 апреля по 11 июня, Становая Лахта – 26–28 июня, Двойник (68°28') – 22–30 июля; у населенных пунктов Чувинский (66°33') – 14 июня, Абрамов (66°42') – 15 июня, Виски (67°15') – 16–17 июня, Городок (67°31') – 17–18 июня, Юшина – 25 июня, Голаевская (68°53') – 13–14 июля; р. Ерса (66°13') – 13–14 июня.

На о-ве Вайгач и южном о-ве Новой Земли с конца XIX – начале XX в. был на гнездовые обычен и даже многочислен. На севере о-ва Новой Земли вид не найден [10, с. 116]: "Wie weit sich ihr Verbreitungsbezirk auf der Nordinsel ausdehnt, kann ich nicht

aufgeben" (M.Th. von Heglin an Bord der "Germania", 18 september 1871). Об этом сообщали и другие авторы [11, 20–23, 27–29]. По Х.Т.Л. Шаанингу [28] и А.И. Толмачеву [33, с. 364], исследовавшему в июле-августе 1925 г. северо-восточную, восточную и юго-восточную части о-ва Колгуев, вид был «довольно обычен в тундрах северо-восточной части о-ва, но попадает здесь, как и вообще в пределах острова, в небольшом числе». Гнездящихся и молодых птиц он не нашел, но указывал: «достаточных оснований для сомнения в том, что он гнездится, по крайней мере, в части посещенных мест, нет». Т. Плесске [34], по данным О.Тревоора-Бетти [17], Н.А.Смирнова [25, 56], Пирсона [H.J.Pearson, 19] и Маркхэма [A.N.Markham, 14], указывал о нахождении вида на островах Колгуев, Вайгач и Новая Земля. По Г.П. Горбунову [35], на Новой Земле «обычен как вид», но численность мала, на северном острове он не видел.

Н. Зограф [N.Zograf, 16] привел находки вида на п-ове Канин. В 1913 и 1914 гг. на полуострове работали экспедиции Русского географического общества: с 30 июня по 8 августа 1913 г. от р. Сёмжа – до северной оконечности полуострова, в 1914 г. по 8 августа – на юге полуострова от р.Сёмжа до рек Чёша и Чижы. Вид найден гнездящимся по всему полуострову, включая его «самую южную часть» и д. Сёмжа [37, с. 27].

В Тиманской тундре в 1951 г. был обычен на гнездовье у пос. Щелиха, от низовий р. Индига и р. Вельт – по результатам обработки коллекции Н.А. Гладковым [7] птиц разных видов указывается более 1200 экз.

В Большеземельской тундре, на Югорском п-ове и о-ве Вайгач гнездится «повсеместно от южной границы кустарниковых тундр, многочисленным становится лишь к северу от этой подзоны» [41, 42], в 1958 г. в подзоне кустарниковых тундр в районе р. Сыр-Яха не встречен [49]. В 1960 г. найден обычным на островах Вайгач, Б.Воронов, Шокальского, на крупных Цинковых островах (14 августа) и в северной части Югорского п-ова [43]. В 70-х гг. XX в. нерегулярно наблюдался в районе г. Воркута [47], весной и летом 1976–2012 гг. у города и по берегам р. Воркута [48].

В Большеземельской тундре автором вид отмечен обычным на гнездовье: в 1976–1978 гг. на побережье Хайпудырской губы – в низовьях рек Море-Ю, Ярей-Яха, Вакач-Шар; в июне-июле 1974 г. и в июне-июле 1978–1979 гг. в среднем течении р. Море-Ю – в районе изолированного «лесного острова»; в 1992 г. – в долине оз. Науль-то и в верховье р. Науль-Яха. На Югорском п-ове в 1981 г. – в среднем течении р. Большая Ою; в 1982–1984 гг. на побережье Карской губы около озер Нау-то и Хенде-то, в 1981–1984 гг. на западном побережье в долинах рек Сед-Яга, Лымбада-Яга и в районе мыса Чайка. Группы и одиночные пары с брачным поведением встречаются на побережье Сенгейского пролива южнее о-ва Колгуев в середине мая 1978 г. [46].

В зоне тайги с 1943 по 2013 гг. ежегодно весной и осенью вид регистрировали на пролете в бассейнах рек Северная Двина (и ее притоках – Выче-

гда и Вымь), Печора, Мезень, Луза [36, 44–46, 50–52]; данные автора за 1963–2013 гг.

Сезонные перемещения. Время, число стай и птиц в разные годы на Севере Европы существенно отличались в зависимости от успешности размножения в предыдущем году, погодных условий, сроков начала освобождения территории от снега весной, наступления заморозков и выпадения снега осенью.

Весенняя миграция. В орнитологической коллекции Зоологического института РАН есть экземпляр шкурки жаворонка, добытого (коллектор Роман?) 26 апреля 1935 г. у г. Чердынь (бывш.). Прилет первых стай по 15–20 особей отмечали в Кировской области в конце марта – начале апреля, массовый пролет – 11–13 мая, в Вехнекамском районе – 18 мая. Пролет длится обычно 4–10 дней в стаях по 30–60 особей, а в апреле 1990 г. у д. Исаковцы отмечена стая около 400 птиц [53, 55].

На аэродроме с. Глотова (бассейн р. Мезень) М.П. Венгеров видел 3 мая 1963 г. 15 особей, 25 мая – пролет стай с остановкой на аэродроме по 40–50 птиц.

По данным автора, в южных районах Республики Коми и у г. Сыктывкара встречается в конце апреля, массовый пролет – в первой декаде мая, когда появляются первые небольшие проталины. У д. Подтыбок (бассейн средней Вычегды), на поле, частично свободном от снега, при температуре ночью $-5-6^{\circ}\text{C}$, днем $+4-6^{\circ}\text{C}$, стая из 60 особей отмечена 4 мая 1990 г.; на асфальтированной дороге у пос. Подъельск – 26 апреля 2013 г. (в лесу и на полях высота снежного покрова около 1 м, температура днем $+18^{\circ}\text{C}$, ночью до -6°C). Группы по три и четыре самца питались насекомыми. Это самая ранняя встреча рогатых жаворонков (самцов) в бассейне р.Вычегда. На пашнях у с.Кедва и на прибрежных лугах р. Ижма отмечены 14 мая 1970 г. в стаи по 20–40 особей; в 1972 г. стаи по 100–150 и 150–240 особей наблюдались автором 20–25 мая на обводненных болотах в 5 км от с. Кедва в бассейне р. Ижма (долина р. Пипуель). В это время в лесу снег, на болоте – лед под водой. Свободны от снега были участки болота тундрового типа (где типичны карликовая березка, кустарниковая ива, угнетенные ель, сосна и береза). 22 мая 1972 г. ранним утром отмечены несколько стай, по 100–150 особей, остановившихся на кормежку, на окраине с. Кедва – две стаи по 150 и 200 особей – остановки с кормежкой, 24 мая – две стаи по 40–50 особей – кормились на заливных лугах р. Кедва. На полях у с. Троицко-Печорска первые стаи до 100 особей отмечены автором в 1965 г. с 28 апреля, основную массу по 30–40 и 100–150 особей – 10–15 мая; в долине р. Сойва, притоке р. Северная Мылва – массовый пролет шел 13–19 мая. В районе аэропорта г. Печоры и взлетной полосы первые стаи по 6–30 особей наблюдались с 21 мая (1985 г.), массовый пролет в стаях по 8, 30, 40–80 и более – до 5 июня, в основном в утренние и вечерние часы. Из-за возврата холодов с конца мая направления пролета менялись с северо-восточного на восточный, западный и юго-западный. Средняя дата пролета за 14 лет от-

мечена у пос. Якша в Печоро-Илычском заповеднике 3 мая (22 апреля – 19 мая) большими стаями, продолжительность достигает одного месяца [50]. В 1971 г. в бассейне р. Вымь (Гудырельская площадь, р. Курбат – приток р. Ижмы) весной и летом автором птицы не наблюдались.

В горах Северного и Приполярного Урала вид многочислен на пролете. Основная масса птиц пролетает в стаях по 50–120 особей: в долине р. Б. Сыня – 13–25 мая; 23 мая 1970 г. в устье Кыдзрасью с 4 до 10 час. – шесть стай по 40–50 особей; в верховье р. Большая Сыня весной 1971 г. птиц не встречали [44]. В северном Предуралье на силосных ямах и вдоль зимних дорог, по которым на лошадях вывозят силос, регулярно отмечались многочисленные стаи кормящихся пуночек, лапландских подорожников и рогатых жаворонков.

В Тиманской тундре первых семь особей встретили в долине р. Икчи 4 мая. С 5 мая отмечены пары и отдельные группы, позднее они стали обычными, держались вместе с пуночками до конца мая [7]. На побережье Сенгейского пролива южнее о-ва Колгуев прилет стай по 6–12, реже 18–24 особей и отдельных пар зарегистрирован автором в 1978 г. с 18 мая, когда территория еще была под снегом. С возвратом холодов в конце мая и в начале июня птиц не встречали.

В Большеземельской тундре первые птицы отмечались автором в первой декаде мая, прилет птиц заканчивался в начале июня, во второй половине июня встречались лишь одиночки и пары.

На Югорском п-ове у пос. Амдерма 19 мая (1957 г.) птицы были уже многочисленны, держались стайками и отдельными парами; пролет птиц на восток закончился в первых числах июня [42].

Прилет одиночек, пар и стай по 6–18 особей (от снега в тундре были освобождены лишь небольшие участки склонов) в долину озер Нау-то и Хенде-то, в тундру перед озерной долиной на западном побережье Карской губы автором зарегистрированы с 20 мая по 12 июня; в районе оз. Сабу-то в 1983 г. – до 31 мая, в долине р. Лымбада-Яга – до 3 июня. С освобождением от снега (12–17 июня) и занятием птицами гнездовой территории встречи групп и стай жаворонков здесь были редкими. В районе г. Воркута стайки по шесть–восемь птиц в 1984 г. отмечены 7 июня.

В лесотундру и южную тундру п-ова Ямал рогатые жаворонки прилетают в начале–середине мая, останавливаясь на бесснежных вершинах холмов и берегах рек [54].

На европейском Северо-Востоке основной пролет птиц проходит по открытым местам при наличии даже небольших проталин, в основном, по обширным болотам, полям, лугам и берегам рек, в зоне тайги – в северном и северо-восточном, в восточноевропейских тундрах, на побережьях Печорского и Карского морей – в северо-восточном и восточном направлениях.

Летние кочевки. Сроки начала кочевки и осенней миграции почти полностью зависят от погодных условий и успешности размножения. При неудачном размножении и после вылета из гнезда птенцы и взрослые особи начинают кочевать.

На о-ве Колгуев кочевки небольших групп птиц наблюдались 5–15 июля [19]. В южной части о-ва Вайгач «выводки рогатых жаворонков довольно длительное время кочуют, не объединяясь. Первые небольшие стайки отмечены только 12 августа (1960 г.). В дальнейшем их число возрастало, а отдельные выводки попадались реже» [43, с.323].

По наблюдениям автора, в Большеземельской тундре, в низовье р. Море-Ю, первые кочующие семьи встречены на щебнистых участках ерниковой травянистой тундры 9–11 июля (1978 г.), к концу месяца число кочующих семей сократилось, встречались объединенные группы и стаи по 6–18 особей. Резкое похолодание, выпадение снега приводят к массовым откочевкам или гибели птиц. В долине оз. Серья-ты 18 августа в 1997 г. по этим причинам число взрослых птиц и семей сократилось, группы и стаи птиц не были встречены; в верховье р. Науль-Яхи это произошло еще раньше – в первой декаде июля (1992 г.). В 1982 г. с 20 июля в долине оз. Науль-то и в верховье р. Науль-Яха после выпадения снега и резкого похолодания в ночное время отмечались кочующие одиночные самцы, хотя в некоторых гнездах еще находились птенцы. На Югорском п-ове в долинах р. Большая Ою (1981 г.), озер Хенде-то и Нау-то кочующие одиночки, группы по две–три особи, объединенные выводки по 6–18 птиц встречались с 19 июля до начала августа (1982–1984 гг.), когда еще большое число птенцов находилось в гнездах. В долинах озер Хенде-то и Нау-то, на западном побережье Карской губы 7 июня в 1983 г., когда вся территория покрылась снегом (в результате трехдневной пурги и понижения температуры до -6°C), найдены мертвые жаворонки, тундряные чечетки и другие птицы. Из-за резкого похолодания встречаемость пар и семей жаворонков резко сократилась. В долине р. Лымбада-Яга и в районе оз. Сабу-то 14 августа 1984 г. видели взрослых птиц с плохо летающими птенцами, 20 августа – объединенные семьи по 7–12 птиц.

В южной полосе предтундрового редколесья и в зоне тайги кочующих стай, групп и одиночных рогатых жаворонков летом не встречали.

Осенняя миграция. У пос. Варнек (о-в Вайгач) пролет первых объединенных семей зарегистрирован 26 августа (1960 г.), у пос. Амдерма массовый пролет – со 2 сентября, птицы летели семьями и стаями по 5–50 особей и до 10 сентября пролет «не ослабевал» [43].

В Большеземельской тундре в низовье р. Море-Ю массовый осенний пролет после резкого похолодания и выпадения снега автор наблюдал в 1978 г. – 20–26 августа в стаях по 40–60 особей. Птицы останавливались на кормежку на берегах реки. Пролет шел до 12 сентября. От г. Усинск до низовий р. Печора в 1997 г. в пойме, на обширных болотах с 28 августа по 17 сентября (дневная температура $+8-14^{\circ}\text{C}$) вид не был встречен.

В зоне тайги с конца сентября и до середины ноября (при задержке заморозков и выпадения снега) мигрирующие стаи по 30–120 и более особей концентрируются около хранилищ сена, силосных

ям, на свободных от снега лугах и пашнях, животноводческих ферм вблизи населенных пунктов, где в достатке находят корм.

Осенний пролет птиц в Кировской области отмечался разными авторами с 1968 г. по 2005 г. (при температуре воздуха -9°C) со 2 по 28 октября [55].

Местообитания. Численность.

Период размножения. В восточноевропейских тундрах, на Югорском п-ове, на южном о-ве Новой Земли, о-ве Вайгач и других крупных островах Печорского и Карского морей вид обычен, в ряде мест в периоды миграций и на гнездовые многочислен. Весной занимает проталины на лугах, полях, болотах и других открытых пространствах, встречается на шоссейных дорогах, по краям которых скапливаются семена и фрагменты растений, насекомые. Обычно гнездится на вершинах и склонах бугров в мохово-лишайниковой, редко-ивняковой, ерниковой тундре с каменистыми россыпями, песчаных обнажениях, на крутых берегах рек и неглубоких каменистых оврагах. Летом и в начале осени птицы кочуют по травянистым побережьям рек, озер и низинам в подножиях холмов.

Плотность населения вида в юго-западной части о-ва Вайгач выше у пос. Варнек, ниже – в окрестностях пос. Амдерма и «особенно на севере Вайгача». Число гнездящихся пар на 10 км маршрута: в окр. пос. Амдерма – 53.3, в окр. пос. Варнек – 71.1, в северной части о-ва Вайгач – 11.1. В июле–августе 1968 г. в кустарниковой тундре п-ова Канин послегнездовая численность птиц составляла три особи на 1 км^2 [41–43, 57].

В период размножения численность птиц отличалась в предтундровом редколесье и зоне тундры, в которой она была значительно выше.

Большеземельская тундра (численность представлена в особях на 1 км^2). 1976 г. Низовье р. Море-Ю, Хайпудырская губа. Травянистое побережье – 6.25; 1977 г. – 2.14; 1978 г. район «лесного острова» в среднем течении р. Море-Ю. Тундра: мохово-травянистая – 3.39; мохово-лишайниковая – 2.28. В 1979 г. этот вид здесь был редок и не попал в полосу учета; 1992 г. Зона кустарниковой тундры – долина оз. Науль-то и верховье р. Науль-Яха: ерниковая – 0.95, мохово-лишайниковая – 4.65, холмистая кустарниковая – 2.03; песчаные выдувы – 1.13; 1997 г. Зона кустарниковой тундры – верховье р. Колва: редкоивняковая – 3.0, в других местообитаниях не встречен.

Югорский п-ов: 1981 г. Тундра в среднем течении р. Большая Ою (север полуострова): редкоивняковая осоково-моховая – 16.23 особей, кустарниковая – 11.35, мохово-лишайниковая – 17.10; моховые низкорослые ивняки – 1.9; некомплексные мохово-травянистые болота – 3.64; крутые берега рек и каменистые неглубокие овраги, поросшие осокой и др. – 5.71; 1982 г. Тундра в районе озер Нау-то и Хенде-то (западное побережье Карской губы): редкоивняковая осоково-моховая – 8.38, осоково-моховая – 4.28; разнотравный низкорослый ивняк – 8.73; травянистое побережье озер – 4.65; 1983 г. – редкоивняковая осоково-моховая – 3.8; осоково-моховая – 10.47; 1984 г. Тундра в районе оз.

Сабу-то, в бассейне р. Лымбада-Яга (северо-запад Югорского п-ова): полигональная – 7.4, осоково-моховая – 2.1, каменисто-лишайниковая на вершинах холмов – 11.32, холмистая с травянисто-моховыми побережьями озер – 5.12, каменисто-галечниковая побережья Печорского моря – 3.27 особей.

На побережье Карской губы численность (на объединенный 1 км^2) достигала: в районе озер Нау-то и Хенде-то в 1982 г. – 4.9, в 1983 г. – 2.8; в среднем течении р. Лымбада-Яга и около оз. Сабу-то в 1984 г. – 10.0, в 1985 г. – 14.8 особей [58].

Период миграции. По данным автора (1965–2013 гг.), в зоне тайги и предтундровом редколесье мигрирующие группы и стаи по 12–180 особей останавливаются весной на кормежку и отдых на проталинах обширных болот, полей и пашен, прибрежных лугов, на свободных от снега участках относительно крутых берегах рек; кормятся насекомыми, семенами и частями растений на санных дорогах, по которым весной вывозят с лугов сено, с силосных ям – силос.

Под г. Сыктывкар, в низовье р. Сысола, на лугах и пашнях в полосе учета 500 м, с 16 до 20 час. отмечены (численность в особях):

11 мая 2000 г. – смешанные стаи по 60–120 самцов и самок; 6 мая 2007 г. – смешанные стаи по 20, 26, 39, 58 и около 160; 16 мая 2008 г. – смешанные стаи по 60–80; 15 мая 2009 г. – самцы стаи по 8, 24, смешанные стаи более 60; 4 мая 2010 г. – самцы, группы по 4–8, 12–16 мая – смешанные стаи по 30–60; 12 мая 2011 г. – группы по 3–12 самцов, смешанные стаи по 40–60; 14 мая 2012 г. – смешанные стаи по 40–60, редко более 100; 16 мая 2013 г. – смешанные стаи по 18–30, 40–80.

В районе с. Вильгорт Е.В. Данилова (устное сообщение) видела 16 мая 2009 г. на пойменном лугу четыре особи. 30 апреля – 16 мая 2013 г. около с. Ыб на сельскохозяйственных полях стаи по 7–25, несколько – по 30 и одну – 70 особей.

По данным автора, в бассейне Северной Мылвы, в устье р. Сойва, на приречных лугах стая из 200 особей встречена в 1965 г. – 2 мая, более 150 в стаях по 40, 50, 30, 23 – 13 мая, 24 особи – 17 мая; на берегу р. Печора у с. Троицко-Печорск 150 особей – 23 мая, на поле стаи по 15, 30, 50 и более особей – 25 мая. В верховье р. Илыч (Северный Урал) пролет стай до 30 птиц отмечен в 1967 г. 17–19 мая (задержка весны, местами снег). В верховье р. Большая Сыня (Приполярный Урал, гора Сундук, западные отроги хребта Сабля) 23 мая в 1968 г. (снежный покров, лишь местами проталины) с 4 до 10 час. утра наблюдали шесть стай по 40–50, реже по шесть–восемь особей. Пролет шел интенсивно до 28 мая [44]. В 1972 г. 20 мая с 6 до 10 час. утра на проталинах и лугах на площади $100 \times 150\text{ м}^2$ у пос. Кедва (р. Ижма, 63.5°с.ш.) встречены четыре стаи до 100 птиц, две стаи по 150–200, вечером с 20 до 23 час. на участках заливных лугов, свободных от снега, три стаи по 40–50 особей.

Гнездовый период. В Большеземельской тундре и на Югорском п-ове, по данным автора и опубликованным сведениям, наблюдается сокращение некоторых фаз: откладка яиц начинается в

еще недостроенные гнезда, строительство которых заканчивается уже при полной кладке. В разных районах период откладки яиц длится в течение двух, иногда при задержке весенних явлений до трех недель. Брачные игры продолжаются вплоть до вылупления птенцов. В Тиманской тундре пение птицы начинали только через несколько дней после прилета – 9 мая, гнездовые участки они занимали в конце мая. Однако в это время еще встречались группы птиц «на несвойственных» местах для постройки гнезда [7].

По материалам автора размеры семенников отличались: в период пролета: 13 мая 1965 г. у с. Малая Сойва в бассейне р. Северная Мылва (62° с.ш.) от 3×2 до 5×5 и 6×3 мм, 23 мая 1970 г. в верховье р. Большая Сыня на северных отрогах хребта Сабля (под 65° с.ш.) от 5×5 до 7.5×5 мм; в период размножения на местах гнездования: в среднем течении р. Море-Ю (район «лесного острова») 27 июня 1978 г. в гнезде пять яиц. Семенники были – левый 5×5, правый 4×5 мм; 22 июня 1977 г. в низовье р. Море-Ю (68°20' с.ш.) от 6×3 до 7×4 мм. 18 июня 1984 г. на западном побережье Карской губы (71°15' с.ш.) от 6.5×5.5 до 7.8×5.7 мм, размеры яичников достигали 7×6 мм. Следовательно, физиологическая готовность к размножению достигается ко времени прилета, формирование пар происходит на местах размножения.

Полные кладки на севере Югорского п-ова содержали по четыре–шесть яиц. Размеры яиц (n=15): 22.0–23.9 × 15.25–16.8, в среднем – 22.87 × 16.29 мм. Масса яиц в конце июня (n=5) – 11.0–11.2 г. Цвет скорлупы яиц – бледно-бурый или зеленоватый с бурыми точками и крупными пятнами, венчик также из буроватых пятен.

Гнезда строят чаще в редкоивняковой мохово-лишайниковой и ерниковой кочкарниковой, осоково-моховой тундре на невысоких кочках, реже на щебнисто-галечниковых участках склонов холмов, оврагов, берегов рек под невысокими кустами или травой. В мохово-лишайниковом покрове делают небольшое углубление 4–6 см, диаметром 8–9 см. Гнездовая постройка двухслойная. Материалом для внешней части гнезда служат стебли растений. Второй слой – из сухих тонких травинки. Подстилка – обычно из семян пушицы, оленьей шерсти и редко перьев белой куропатки.

На южном о-ве Новой Земли (мыс Грибиони) 30 июля 1876 г. найдены два гнезда: одно – «с недавно вылупившимися, второе – с птенцами не способными к полету. Гнезда были во мху под кустиком ивы, внутри покрыты пухом пушицы» [11].

В Большеземельской тундре (данные автора), в среднем течении р. Море-Ю (район «лесного острова»), на глинисто-щебнистом участке лишайниково-моховой тундры, на вершине с крупными камнями, 27 июня 1979 г. в гнезде обнаружено пять яиц. Семенники самца составляли: левый – 5×5 мм, правый – 4×5 мм. На западном побережье Югорского п-ова, около оз. Сабутто, на небольших проталинах с 3 июня в 1983 г. неоднократно отмечались одиночные поющие самцы, занявшие гнездовую территорию, пролет одиночных самцов и групп по

четыре–шесть особей шел в северо-восточном направлении еще до 12 июня. На западном побережье Карской губы, в районе озера Нау-то, 29 июня в 1982 г. в одном гнезде было пять слабо насиженных яиц, 8 июля в шести гнездах находилось: в двух по четыре, в одном – пять, в трех – по шесть птенцов; одно гнездо птенцы покинули. 30 июня (холодно, весь день проливной дождь) многие самки плотно сидели в гнездах, некоторые пары отводили. В найденных гнездах находились: 3 июля рядом с гнездом три подлетка; 6 июля в одном – четыре, 8 июля в другом – три птенца, остальные покинули гнездо; 10 июля – в одном четыре птенца и одно яйцо с проклюнувшимся птенцом, в другом – один птенец, остальные покинули гнездо;

В 1982–1985 гг. продолжительность периода между прилетом птиц в тундру и началом гнездования достигает двух–четырех недель, откладка яиц 9 июня – 5 июля, вылупление птенцов 24 июня – 20 июля, оставление птенцами гнезд 1–31 июля. Успешность размножения в разные годы отличалась. В 1982 г. при неблагоприятных погодных условиях (частые штормовые ветры) она составляла около 40%, в 1984 г. из-за гибели кладок и птенцов от хищников, при депрессии мышевидных грызунов не превышала 50%. В 1983 и 1985 гг. достигала 100%. Установлена зависимость успешности инкубации от гнездовой плотности. При низкой численности и дисперсном распределении успешность размножения была выше, но успешность выкармливания птенцов не зависела от гнездовой плотности. Период вождения птенцов на Югорском п-ове непродолжителен – около двух–трех недель [58].

В среднем течении р. Большая Ою на хребте Ямб-Пе, в увлажненной ивняково-моховой тундре (сфагновый мох, осока, ивняк высотой до 20 см, карликовая березка; на склоне оврага – каменистые россыпи, снег участками до 30–50 м²) в 1981 г. 6 июля автор наблюдал пару жаворонков, отводивших от гнезда с шестью яйцами, 5–6 июля нашел четыре гнезда с вылупившимися птенцами; 8 июля – несколько пар птиц с кормом. На подножии хребта, в каменистых россыпях, с моховыми участками 9 июля в гнезде было шесть птенцов с недоросшими рулевыми и маховыми перьями (через четыре–пять дней, возможно, они покинули гнездо).

В 1960 г. «выводки летных птенцов, которых кормили родители, наблюдались в северной и средней частях о-ва Вайгач до 19 августа. В окрестностях пос. Варнек 20 августа – уже вполне самостоятельные молодые рюмы. 17 и 20 июля на 4.5 км отмечено 20 семей с летными птенцами и 12 пар птиц, тревожащихся у гнезд с птенцами, но в одном гнезде было еще три яйца. Вылет птенцов из гнезд у пос. Амдерма произошел до 5 июля, плохо летающие птенцы встречались до 16 июля, хотя 14 июля найдено гнездо с четырьмя яйцами. Столь сильно растянутый период размножения позволяет предположить существование у рюма двух кладок в году, что особенно вероятно для Югорского п-ова и юго-западной части о-ва Вайгач» [43, с. 322–323]. На п-ове Дыроватом последние птенцы покинули гнезда 8 августа (1960 г.). Наши наблюдения за раз-

множением рогатого жаворонка в северной полосе Тиманской и Большеземельской тундры, на юго-западе и севере Югорского п-ова, в некоторой степени, подтверждают предположение ранее приведенных исследователей. Однако, возможно, жаворонки вторую кладку делают после гибели первой или гибели птиц из размножающейся пары. Достоверные данные отсутствуют.

Заключение

С 60-х гг. XX в. в Финляндии, Карелии и на Кольском п-ове численность рогатого жаворонка на гнездовье и в периоды миграции резко сократилась. Достоверные материалы о причинах снижения численности этого вида остаются не выявленными. На европейском Северо-Востоке России антропогенная нагрузка на занимаемые птицами территории значительно возрастает, численность птиц в пределах разведанных и эксплуатируемых месторождений нефти, газа, угля, баритов и других полезных ископаемых снижается. На основе исследований (1965–2013 гг.) и анализа опубликованной литературы впервые представлен обширный материал по распространению, численности, гнездовой биологии и интенсивности миграции вида в регионе. Показаны современное состояние и динамика популяции вида с середины XIX столетия. Численность вида в естественных местообитаниях в гнездовый период остается на сравнительно высоком уровне. В периоды миграции с давних пор птицы концентрируются на сельскохозяйственных угодьях, берегах водоемов, других открытых территориях, не исключая близости населенных пунктов. Показаны важнейшие пути миграции, предпочитаемые местообитания и гнездовая плотность птиц. Итоги многолетних исследований могут послужить основой для оценки и выявления причин снижения численности рогатого жаворонка в Скандинавии и западных районах европейского Севера России, а также для принятия мер по охране вида и его местообитаний.

Литература

1. *Jarvinen O., Koskimies P.* Dynamics of the status of threatened birds breeding in Finland 1935–1985 // *Ibis*, 1990. № 3. P. 84–87.
2. *Зимин В.Б., Сазонов С.В., Лапшин Н.В. и др.* Орнитофауна Карелии. Петрозаводск: Карельский НИЦ РАН, 1993. 220 с.
3. *Михайлов К.Е., Фильчагов А.В.* Особенности распространения и расселения некоторых видов птиц в тундре Кольского полуострова // *Орнитология*, 1984. Вып. 19. С. 22–29.
4. *Семенов-Тянь-Шанский О.И., Гилязов А.С.* Птицы Лапландии. М., 1991. 288 с.
5. *Степанян Л.С.* Конспект орнитологической фауны России и сопредельных территорий (в границах СССР как исторической области). М., 2003. 808 с.
6. *Дементьев Г.П.* Семейство жаворонковые // *Птицы Советского Союза*. М., 1954. Т. 5. С. 512–594.
7. *Гладков Н.А.* Птицы Тиманской тундры // Сб. тр. Зоомузея. М., 1951. Т. VII. С. 15–89.
8. *Gillett G.* Vögel Novaja Zemlja's // *Ibis*, 1870. No. 1(et.2). Einige ornithologische Bemerkungen über diese Inselgruppe theilte ich selbst in Peterman's Geograf. Mitt. 1871. P. 66.
9. *Brandt H.* Verzeichnis von der Herrn Bystrow in Mesen an das Zoologische Museum der Akademie gesandten Säugethier- und Vögelbalge. List of skins of mammals and birds (62 species) sent by Herr Bystrov of Mesen to Zool. Mus. of the Academy // *Bull. Scient. de l'Academic de St. Petersburg*. V. X. 1842 P. 350–352.
10. *Heuglin M.* Die Rosenthalische Expedition nach dem Nordpolarmeer // *J. Ornitol.* 1872. Jahrg. XX. Bd III. S. 113–128.
11. *Theel H.* Note sur les oiseaux de la Nouvelle Zemble // *Ann. Sci. Nat.* 1876. Ser. 6. Zool. T. 4. P. 1–7.
12. *Brown J.A. Harvie.* Sketch of the ornithology of the Lower Pechora // *Proc. Hist. Soc. Glasgow*. 1876. Jan. 25. P. 44–56.
13. *Brown J.A. Harvie.* On the distribution of birds in North Russia // *Mag. Natur. Hist.* 1877. Ser. 4. Vol. 19. № 112. P. 277–290.
14. *Markham A.N.* A polar Reconnaissance being the voyage on the «Isbjorn» to Novaja Zemlja in 1879 // *Appedice. L.* 1881.
15. *Feilden H.W.* Note on the birds collected on the cruise of the «Isbjorn» to Novaja Zemlya in 1879 // *Polar reconnaissance*. 1881. P. 333–339.
16. *Zograf N. (Зорграф Н.Ю.).* Natural history observations made during a journey to the Kanin peninsula // *Büll. Sci. Friends of Nat. Hist.*, Moscow, 1881. Vol. 37. N. 1. P. 79–81. (Естественно-исторические наблюдения во время поездки на Канин полуостров // *Известия Импер. Общ-ва люб. естествознания, антроп. и этногр.* 1881. Т. XXXVII. Вып. 1 (протоколы заседаний)).
17. *Trevor-Betty A.* Ice bound on Kolguev // *Westminster*. 1895. P. 421.
18. *Тревор-Бетти О.* Во льдах и снегах (Путешествие на остров Колгуев). СПб., 1897. 216 с.
19. *Pearson H.J.* Notes on birds observed in Russian Lapland, Kolguev and Novaja Zemlja, in 1895, with introductory remarks by Coll. H. W. Feilden. C M. Z. S. // *Ibis*. 1896. Ser. 7. Vol. 2. P. 199–225.
20. *Pearson H.J.* Notes on the birds observed on Waigath, Novaja Zemlja and Dolgoi Island in 1897 // *Ibis*. 1898. Ser. 7. Vol. 4. P. 185–208.
21. *Pophan H.L.* Notes on birds near to Waigath // *Ibis*. 1898. Vol. 4. P. 458–459.
22. *Collet R., Nansen F.* An account of the birds // *The Norwegian North Polar expedition 1893–1896: Scient. Results* / Ed. Fr. Nansen. L., 1899. Vol. 1. 53 p.
23. *Jackson F.G.* Notes on the birds of Franz-Joseph Land de the Jackson – Harmsworth Polar expedition, 1894 to 1897 // *A thousand days in the Arctic*. L., 1899. P. 397–412.

24. *Seebhom H.* Birds of Siberia. A record of a naturalist visits to the valley of the Petchora and Yenisey. L., 1901. 512 p.
25. *Смирнов Н.А.* Охотничьи и промысловые млекопитающие и птицы Лапландии, Колгуева и Новой Земли // Журн. «Природа и охота». 1902. № 1–6; 1903. № 5–7.
26. *Schalow H.* Fauna des Arctis. // Die Vögel des Arktis. 1904–1905. No.2. P.232.
27. *Бирюля А.А.* Очерки из жизни птиц полярного побережья Сибири // Зап. Акад. наук, физ.-мат. отд. Сер. 8. 1907. Т. 18. № 2. С. 1–157.
28. *Schaanning H.T. L.* Vedrorend trakterne om Varangerfjorden specielt Sydvarangers fauna i aarene 1900-1906 // Ostfinmarkens fuglefauna. Ornithologiske meddelelser. Bergen, 1907. P. 1–98.
29. *Schaanning H.T. L.* Birdrag til Novaja Zemljas Fauna // Dansk Ornith. foreningstidskrift. 1916. Bd 10. S. 145–190.
30. *Молчанов Л.А.* Орнитологические наблюдения летом 1907 г. в Архангельской губернии (На материке и Новой Земле) // Ежегодник Зоол. музея Акад. наук. 1908. Т. 13, № 3. С. 303–323.
31. *Sporer.* Einige Bemerkungen zur Vogelfauna von Nowaja Semlja // J. Ornithol. 1917. 65 Jahrg. Bd 11. S. 334–335.
32. *Jordan A.V.* Ein Beitrag zur Kenntniss der Vogelwelt Nowaja Semljas // J. Ornithol. 1925. Bd 73. H. 3. S. 446–452.
33. *Толмачев А.И.* К авифауне острова Колгуев // Ежегодник Зоол. музея АН СССР. Л., 1927 (1928). Т. XXVIII. Вып. 3. С. 355–365.
34. *Pleske Th.* Birds of the Eurasian Tundra. Boston. 1928. V.6, n.3. P.111- 483+pl.38 (485 p.).
35. *Горбунов Г.П.* Материалы по фауне млекопитающих и птиц Новой Земли // Тр. Ин-та по изучению Севера. М., 1929. Вып. 40. С. 169–239.
36. *Дмоховский А.В.* Птицы Средней и Нижней Печоры // Бюлл. МОИП, отд. биол. 1933. Т. 42. Вып. 2. С. 214–242.
37. *Дементьев Г.П.* Птицы полуострова Канин // Сб. тр. Гос. зоол. музея (при МГУ). М., 1935. Вып. II. С. 23–55.
38. *Дементьев Г.П.* Опыт анализа основных элементов авифауны Восточной Палеарктики // Памяти акад. М.А. Мензбира. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1937. С. 93–128.
39. *Клумов С.К.* Остров Вайгач, его промысловая фауна и промысловые возможности // Советская Арктика. 1935. № 2. (Оттиск).
40. *Антипин В.М.* Фауна позвоночных северо-востока Новой Земли // Проблемы Арктики, 1938. № 2. С. 153–171.
41. *Успенский С.М.* Некоторые виды птиц на Северо-Востоке европейской части СССР // Орнитология. 1958. Вып. 197. С. 35–47.
42. *Успенский С.М.* Птицы востока Большеземельской тундры, Югорского полуострова и острова Вайгач // Экология позвоночных животных Крайнего Севера. Свердловск, 1965. С. 65–102. (Тр. Ин-та биологии Уральского филиала АН СССР, вып. 38).
43. *Карпович В.Н., Коханов В.Д.* Фауна птиц острова Вайгач и северо-востока Югорского полуострова / Тр. Канда拉克шского заповедника. М., 1967. Вып. 5. С. 268–338.
44. *Естафьев А.А.* Птицы западного склона Приполярного Урала / Тр. Коми фил. АН СССР. Сыктывкар, 1977. № 34. С. 44–101.
45. *Естафьев А.А.* Фауна птиц европейского Северо-Востока (современное состояние, формирование и охрана): Дис. ... д.б.н. в форме научн. доклада. СПб.: Зоологич. институт РАН, 1999. 61 с.
46. *Естафьев А.А.* Особенности зонального распространения птиц на европейском Северо-Востоке России // Закономерности зональной организации комплексов животного населения европейского Северо-Востока России. Сыктывкар, 2005. С. 87–131. (Тр. Коми НЦ УрО РАН, № 177).
47. *Лобанов В.А.* Изменение видового состава птиц в окрестностях г. Воркуты. М., 1978. (Деп. в ВИНТИ 15.05.78, № 1599).
48. *Воркута – город на угле*, город в Арктике. Второе дополненное и переработанное издание / Отв. ред. М.В. Гецен. Сыктывкар, 2011. 512 с.
49. *Гладков Н.А.* Материалы по птицам окрестностей Воркуты (восток Большеземельской тундры) // Орнитология. 1962. № 4. С. 15–28.
50. *Теплова Е.Н.* Птицы района Печоро-Ильчского заповедника // Тр. Печоро-Ильчского гос. заповедника. 1957. Вып. 6. С. 5–115.
51. *Деметриадес К.К.* Состав орнитофауны тайги Среднего Тимана // Животный мир европейской части СССР: Сб. науч. статей. Калинин, 1988. С. 15–23.
52. *Нейфельд Н.Д., Теплов В.В.* Птицы юго-восточной части Республики Коми // Материалы к распространению птиц на Урале, в Приуралье и Западной Сибири. Екатеринбург, 2000. С. 132–154.
53. *Плесский П.В.* К орнитофауне бассейна р. Летки // Тр. Вятского педагогического ин-та. 1928. Т. 3. Вып. 1. С. 31–57.
54. *Данилов Н.Н., Рыжановский В.Н., Рябицев В.К.* Птицы Ямала. М., 1984. 332 с.
55. *Сотников В.Н.* Птицы Кировской области и сопредельных территорий. Киров: ООО «Триада плюс», 2006. 448 с. (Т. 2. Воробьинообразные. Часть 2).
56. *Smirnow (Смирнов Н.А.).* Zur Ornithologie des Barentzmeeres. // Ornithol. Jahrbuch, 1901. T.XII. P.202–220.
57. *Зубцовский Н.Е., Рябицев В.К.* К количественной оценке птиц полуострова Канина // Экология. 1973. № 12. С. 101–102.
58. *Кривцов С.К.* К экологии воробьиных птиц Югорского полуострова // Экология животных европейского Северо-Востока СССР. Сыктывкар, 1987. С. 22–26. (Тр. Коми фил. АН СССР, № 86).

Статья поступила в редакцию 02.04.2014.

УДК 57.022:57.042:574.23

ВЛИЯНИЕ КОНДИЦИОННОЙ ПОВСЕМЕСТНОЙ СВЕРХЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ РЕПАРАЦИИ ДНК НА УСТОЙЧИВОСТЬ ОСОБЕЙ *DROSOPHILA MELANOGASTER* К ДЕЙСТВИЮ СТРЕСС-ФАКТОРОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ (ОКСИДАТИВНОМУ СТРЕССУ, ТЕПЛОВОМУ ШОКУ, ГОЛОДАНИЮ)

Л.А. ШИЛОВА, Е.Н. ПЛЮСНИНА*, А.А. МОСКАЛЕВ***

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

*Сыктывкарский государственный университет, г. Сыктывкар

**Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный

Lubov.schilova@yandex.ru

Исследовано влияние кондиционной повсеместной сверхэкспрессии генов репарации ДНК, которые участвуют в распознавании повреждений ДНК (*Hus1*, *mnk*), эксцизионной репарации ДНК (*mei-9*, *mus210*, *Rrp1*) и репарации двуцепочечных разрывов ДНК (*Brca2*, *Ku80*, *spnB*, *WRNexo*) на устойчивость дрозophil к действию стресс-факторов различной природы – оксидативного стресса (20 μ M параквата), теплового шока (35 °C) и голодания. Показано, что в большинстве случаев наличие в геноме дрозophil дополнительных активных копий генов репарации ДНК не стимулировало стрессоустойчивость особей, а, напротив, ухудшало ее. Полученные результаты также демонстрируют важную роль данных генов в обеспечении стрессоустойчивости целого организма.

Ключевые слова: *Drosophila melanogaster*, репарация ДНК, стрессоустойчивость, кондиционная повсеместная сверхэкспрессия

L.A. SHILOVA, E.N. PLYUSNINA, A.A. MOSKALEV. INFLUENCE OF CONDITIONALLY UBIQUITOUS OVEREXPRESSION OF DNA REPAIR GENES ON RESISTANCE OF *DROSOPHILA MELANOGASTER* INDIVIDUALS TO DIFFERENT STRESS FACTORS (OXIDATIVE STRESS, HEAT SHOCK, STARVATION)

The influence of conditioned ubiquitous overexpression of DNA repair genes, which are involved in damage recognition (*Hus1*, *mnk*), excision repair (*mei-9*, *mus210*, *Rrp1*) and double-strand break repair (*Brca2*, *Ku80*, *spnB*, *WRNexo*) on *Drosophila* resistance to different stress factors - oxidative stress (20 μ M paraquat), heat shock (35 °C) and starvation was studied. It is shown that in most cases overexpression of DNA repair genes did not stimulate stress-resistance of *Drosophila* individuals. The results also demonstrate the important role of these genes in provision of stress-resistance of the whole organism.

Keywords: *Drosophila melanogaster*, DNA repair, stress-resistance, conditioning ubiquitous overexpression

Введение

Все живые организмы подвергаются влиянию абиотических и антропогенных стрессоров и их жизнеспособность зависит от эффективности механизмов ответа на эти воздействия. Одним из наиболее важных механизмов ответа на стресс на молекулярно-клеточном уровне является распознавание и репарация повреждений ДНК. Известно, что мутации генов репарации ДНК значительно снижают устойчивость к действию повреждающих агентов [1]. Однако на данный момент имеется лишь небольшое количество сведений по влиянию сверхэкспрессии генов репарации ДНК на продолжительности жизни организмов. Например, введение

в геном дрозophil 1-2 дополнительных копий гена *mei-41* (гомолог *ATR* млекопитающих) приводит к увеличению продолжительности жизни по сравнению с особями дикого типа, однако значительного изменения в эффективности репарации ДНК у таких мух не происходит [2]. Сверхэкспрессия гена O⁶-метилгуанин-ДНК-метилтрансферазы в тканях мышей не приводит к увеличению продолжительности жизни [3]. Вероятно, это связано с тем фактом, что O⁶-метилгуанин не накапливается с возрастом, а потому не играет существенной роли в процессе старения [4].

Ранее нами было показано, что сверхэкспрессия гена ответа на повреждение ДНК *D-GADD45* одновременно с увеличением медианной

и максимальной продолжительности жизни повышает стрессоустойчивость особей *Drosophila melanogaster* [5]. Цель данной работы – исследовать влияние сверхэкспрессии генов ответа на повреждение ДНК (гомологи HUS1, CHK2), генов эксцизионной репарации (гомологи XPF, XPC, AP-эндонуклеазы-1) и генов репарации двуцепочечных разрывов (BRCA2, KU80, WRNexo) на устойчивость особей *Drosophila melanogaster* к действию индуктора свободных радикалов параквата, гипертермии и голодания.

Материалы и методы

Для исследования стрессоустойчивости к различным повреждающим агентам использовали линии дрозофил, в геном которых встроены дополнительные копии исследуемых генов под контролем промотора UAS, индуцируемого драйвером GAL4: w^{1118} , UAS-*Brca2*; w^{1118} , UAS-*Hus1*; w^{1118} , UAS-*mnk* (Любезно предоставлены Dr. Schupbach, Princeton University, Princeton, США), w^{1118} , UAS-*Ku80*; w^{1118} , UAS-*mei-9*; w^{1118} , UAS-*mus210*; w^{1118} , UAS-*Rrp1*; w^{1118} , UAS-*WRNexo* (Созданы с передачей авторских прав под заказ в Genetivision, Хьюстон, США) и линию *P{Act5C(-FRT)GAL4.Switch.PR3/TM6B, Tb¹}* (далее – GS-GAL4) (Bloomington Stock Center, США).

Для сверхактивации генов репарации ДНК использовали RU486-активируемый GeneSwitch [6, 7]. Для получения особей дрозофил с кондиционной (мифепристон-индуцибельной) повсеместной сверхактивацией изучаемых генов, самцов линии GS-GAL4, несущих активатор транскрипции GAL4 от дрожжей, скрещивали с виргинными самками, имеющими дополнительную копию исследуемого гена под контролем промотора UAS. При добавлении в корм потомкам скрещивания этих двух линий агониста прогестерона мифепристона (RU486) (Mifepristone, Sigma) активируется экспрессия GAL4, в результате чего запускается транскрипция генов под контролем промотора UAS. В качестве контроля использовали мух с тем же генотипом, живущих на питательной среде без добавления мифепристона.

Для определения устойчивости к оксидативному стрессу дрозофил рассаживали в банки с фильтровальной бумагой, пропитанной раствором 20 мМ параквата (Methyl Viologen, Sigma) в 5%-ной сахарозе. Для оценки устойчивости к тепловому шоку мух содержали при температуре 35 °С в банках со стандартной агарно-дрожжевой питательной средой. Для определения устойчивости к голоданию дрозофил помещали в банки с фильтровальной бумагой, пропитанной водой, объем выборок составил 110–120 мух на вариант эксперимента. Два раза в день подсчитывали количество умерших особей, после чего анализировали показатели выживаемости. Различия между выборками оценивали с помощью непараметрических критериев Колмогорова-Смирнова, Гехана-Бреслоу-Вилкоксона и критерия Фишера для выборочных долей.

Результаты и обсуждение

Одним из главных повреждающих ДНК агентов являются активные формы кислорода. Их взаимодействие с ДНК приводит к образованию повре-

ждений, включая модификации сахаров, разрывы цепей и аддукты оснований и сахара [8]. В большинстве случаев сверхэкспрессия генов репарации ДНК не приводила к достоверным изменениям, либо снижала среднюю длительность жизни самцов и самок в условиях действия индуктора свободных радикалов параквата на 7–30 % по сравнению с особями без сверхэкспрессии ($p < 0.05$). Анализ других данных выживаемости показал аналогичный результат (таблица). Исключением являются самцы со сверхэкспрессией гена *Mus210* (гомолог XPC) и самки с повышенной активностью гена *Hus1* – их средняя продолжительность жизни в условиях окислительного стресса была выше на 15–36 % ($p < 0.05$).

Основным типом повреждений при тепловом шоке являются повреждения белков, однако под его влиянием в результате увеличения темпов метаболизма и выработки свободных радикалов также происходит повреждение ДНК. Обнаружено, что повышенная транскрипция генов репарации ДНК для многих генов увеличила устойчивость дрозофил к гипертермии. Так, у самцов и самок со сверхэкспрессией генов *Hus1* и *WRNexo*, самцов со сверхактивностью *Brca2* и *Rrp1* (гомолог AP-эндонуклеазы-1), а также самок со сверхэкспрессией *Mnk* (гомолог CHK2) средняя продолжительность жизни при 35 °С была выше на 8–25 % по сравнению с контрольными особями ($p < 0.05$). С другой стороны, увеличение транскрипции таких генов, как *Ku80*, *Mei-9* (гомолог XPF), *Mus210* у самцов и *Ku80*, *Brca2*, *Rrp1* у самок сопровождалось снижением средней длительности жизни на 8–24 % ($p < 0.05$). Оценка других показателей выживаемости показала аналогичный результат (см. таблицу).

Чрезмерное снижение потребления пищи помимо прочих негативных эффектов также вызывает окислительный стресс и дефекты репарации ДНК [9]. Повышенная транскрипционная активность генов *Brca2*, *Hus1*, *Mnk*, *WRNexo* у самцов и гена *Mus210* у самок привела к повышению средней длительности жизни в условиях голодания на 8–45 % ($p < 0.05$). Анализ других показателей соответствовал этим данным. Однако сверхэкспрессия генов репарации ДНК в остальных вариантах эксперимента с воздействием голодания не повлияла на выживаемость, либо вызвала негативный эффект (таблица).

Таким образом, наиболее положительное влияние (повышение устойчивости к большинству исследуемых стресс-факторов) оказала сверхэкспрессия гена *Hus1* у самцов и самок и генов *Brca2* и *WRNexo* у самцов. Белки, кодируемые этими тремя генами, необходимы для инициации и координации различных механизмов репарации одонитевых и двунитевых разрывов ДНК [10–12]. Белок HUS1 является составной частью комплекса 9-1-1, который играет центральную роль в сенсировании повреждений ДНК и инициации задержки клеточного цикла в S-фазе [13, 14]. Продукт гена *Brca2* участвует в распознавании двунитевых повреждений ДНК и их репарации по типу гомологичной рекомбинации [15, 16]. Фермент WRNexo является RecQ-геликазой с эндонуклеазной активностью и участвует в репарации двунитевых разрывов ДНК по типу нехомологичного воссоединения концов [17, 18].

Влияние сверхэкспрессии генов репарации ДНК на устойчивость особей *Drosophila melanogaster* к действию окислительного стресса, гипертермии и голоданию

Вариант эксперимента	Паракват 20 мМ			Гипертермия 35 °С			Голодание		
	М	$\bar{X} \pm \Delta m$	48 ч	М	$\bar{X} \pm \Delta m$	24 ч	М	$\bar{X} \pm \Delta m$	48 ч
♂ <i>UAS-Brca2</i> /GS-GAL4 (-)	54	53.3±1.7*	46	33	36.6±0.9	6	32	36.4±1.0	98
♂ <i>UAS-Brca2</i> /GS-GAL4 + RU486 (+)	46	49.6±3.0	59*	48*	39.6±1.0*	12	48*	44.1±1.5*	81*
♀ <i>UAS-Brca2</i> /GS-GAL4 (-)	31	40.9±2.0	73	48	41.8±0.8	5	48	42.3±1.1	80
♀ <i>UAS-Brca2</i> /GS-GAL4 + RU486 (+)	22*	35.1±2.1*	82	33*	34.5±0.6*	14*	33*	38.8±1.0	96
♂ <i>UAS-Hus1</i> /GS-GAL4 (-)	55	62.4±2.3	28	23	29.8±1.0	9	48	40.6±0.8	86
♂ <i>UAS-Hus1</i> /GS-GAL4 + RU486 (+)	55*	51.6±3.1*	50*	32*	34.6±1.1*	31*	48*	48.9±1.2*	78
♀ <i>UAS-Hus1</i> /GS-GAL4 (-)	46	45.9±2.0	66	32	29.5±0.8	45	48	52.1±1.2	59
♀ <i>UAS-Hus1</i> /GS-GAL4 + RU486 (+)	55*	62.3±2.8*	46*	32*	37.0±0.9*	9*	48	44.6±1.3*	71*
♂ <i>UAS-Ku80</i> /GS-GAL4 (-)	78	80.0±1.5	9	39	32.8±0.8	38	32	38.9±1.0	30
♂ <i>UAS-Ku80</i> /GS-GAL4 + RU486 (+)	70	76.7±2.6	18*	24*	26.3±0.8*	76*	32	34.9±1.1*	99*
♀ <i>UAS-Ku80</i> /GS-GAL4 (-)	46	58.3±2.4	56	39	38.9±0.3	2	48	42.1±1.2	100
♀ <i>UAS-Ku80</i> /GS-GAL4 + RU486 (+)	31	56.1±3.5	58	39	35.8±0.7*	17*	32*	36.6±0.9*	76
♂ <i>UAS-me1-9</i> /GS-GAL4 (-)	78	84.9±3.5	25	39	32.2±0.9	40	48	42.2±2.1	66
♂ <i>UAS-me1-9</i> /GS-GAL4 + RU486 (+)	46*	59.1±2.6*	52*	24*	28.0±0.8*	69*	48	40.3±1.0*	87*
♀ <i>UAS-me1-9</i> /GS-GAL4 (-)	70	69.9±3.5	41	39	36.7±0.7	14	48	53.4±1.8	68
♀ <i>UAS-me1-9</i> /GS-GAL4 + RU486 (+)	70	73.7±4.4	43	39	39.6±0.7*	9	48	48.6±1.6*	65
♂ <i>UAS-mnk</i> /GS-GAL4 (-)	54	54.3±2.2	26	31	33.8±0.9	23	33	37.9±0.8	93
♂ <i>UAS-mnk</i> /GS-GAL4 + RU486 (+)	31*	38.3±1.6*	66*	31	32.5±0.8	20	48	40.9±1.4*	73*
♀ <i>UAS-mnk</i> /GS-GAL4 (-)	55	51.4±1.8	46	31	36.1±0.6	4	48	43.2±1.1	84
♀ <i>UAS-mnk</i> /GS-GAL4 + RU486 (+)	48	50.9±2.1	60*	48*	40.1±0.8*	5	48*	39.3±1.1	94
♂ <i>UAS-mus210</i> /GS-GAL4 (-)	55	60.4±2.3	32	32	27.4±0.5	49	48	43.1±1.1	88
♂ <i>UAS-mus210</i> /GS-GAL4 + RU486 (+)	70*	69.5±2.4	30	23*	23.7±0.4*	85*	48	38.1±1.1	99*
♀ <i>UAS-mus210</i> /GS-GAL4 (-)	46	49.1±2.3	67	39	39.4±0.3	2	48	41.4±1.0	93
♀ <i>UAS-mus210</i> /GS-GAL4 + RU486 (+)	30*	42.6±2.1	81*	39	32.6±0.8*	34*	48	44.7±1.3*	69*
♂ <i>UAS-Rrp1</i> /GS-GAL4 (-)	72	63.2±1.9	31	24	27.5±0.8	67	56	60.1±1.4	29
♂ <i>UAS-Rrp1</i> /GS-GAL4 + RU486 (+)	72	62.3±2.2	33	39*	34.4±0.7*	26*	47*	50.7±1.3*	62*
♀ <i>UAS-Rrp1</i> /GS-GAL4 (-)	72	68.0±2.7	38	39	38.6±0.5	7	47	55.0±1.1	55
♀ <i>UAS-Rrp1</i> /GS-GAL4 + RU486 (+)	47*	48.2±2.0*	73*	24*	29.3±0.9*	57*	47	49.8±1.6*	51
♂ <i>UAS-WRNexo</i> /GS-GAL4 (-)	80	81.6±3.0	26	32	29.4±0.6	42	31	32.2±1.1	98
♂ <i>UAS-WRNexo</i> /GS-GAL4 + RU486 (+)	80	64.9±3.3*	37	32	30.4±0.5	26*	48*	46.8±1.0*	75*
♀ <i>UAS-WRNexo</i> /GS-GAL4 (-)	95	91.1±4.0	28	32	29.8±0.5	37	48	44.4±0.8	93
♀ <i>UAS-WRNexo</i> /GS-GAL4 + RU486 (+)	72*	77.9±3.5*	36*	32	33.6±0.8	21*	48	43.0±0.9	91

Обозначения: ♂ – самцы; ♀ – самки; (-) – без сверхэкспрессии; (+) – сверхэкспрессия; М – медианная продолжительность жизни (сут); $\bar{X} \pm \Delta m$ – средняя продолжительность жизни (сут); 48 ч и 24 ч – процент умерших особей через 48 ч и 24 ч после начала воздействия; * – $p < 0.05$ (M – критерий Гехана-Бреслоу-Вилкоксона; $\bar{X} \pm \Delta m$ – критерий Колмогорова-Смирнова, 48 ч и 24 ч – ϕ -критерий Фишера). Объем выборок 110–120 мух на вариант эксперимента.

Мутация в гене данного белка у человека приводит к развитию тяжелого заболевания с симптомами преждевременного старения – синдрома Вернера [19]. Полученные результаты демонстрируют важную роль этих генов в обеспечении стрессоустойчивости целого организма.

Однако в большинстве случаев наличие в геноме дрозофил дополнительных активных копий генов репарации ДНК не стимулировало стрессоустойчивость особей, а, напротив, ухудшало ее. Отсутствие или слабая выраженность стимулирования стрессоустойчивости может быть связана с недостаточной эпигенетической регуляцией процесса репарации ДНК. Например, показано, что в фибробластах человека повышенная активность генов репарации ДНК замедляет клеточное старение только на фоне одновременной сверхэкспрессии гена деацетилазы гистонов SIRT6 [20]. Другой причиной снижения продолжительности жизни могут быть нарушение баланса между различными внутриклеточными путями и энергетическое истощение. Поскольку репарации ДНК – это процесс, требующий больших энергетических затрат [21], следовательно, сверхактивация изучаемых генов могла привести к чрезмерному расходу энергии в ущерб другим жизненно важным процессам.

Работа поддержана грантом РФФИ № 14-04-01596, грантом Президента РФ МД-1090.2014.4 «Сравнение механизмов ответа *Drosophila melanogaster* на оксидативный, тепловой, холодовой и генотоксический стрессы с использованием полногеномного анализа транскриптомов», грантом Президиума РАН № 12-П-4-1005 «Экологическая генетика продолжительности жизни модельных животных (*Drosophila melanogaster*, *Mus musculus*)» и молодежного гранта УрО РАН № 14-4-НП-103 «Изучение влияния активации генов стресс-ответа и циркадных ритмов на старение и стрессоустойчивость *Drosophila melanogaster*».

Литература

1. 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.
2. Symphorien S., Woodruff R. C. Effect of DNA repair on aging of transgenic *Drosophila melanogaster*: I. mei-41 locus // J. of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences. 2003. Vol. 58. № 9. P. 782–787.
3. Walter C. A., Zhou Z. Q., Manguino D., et al. Health span and life span in transgenic mice with modulated DNA repair // Annals of the New York Academy of Sciences. 2001. Vol. 928. P. 132–140.
4. Mizoguchi M., Naito H., Kurata Y. et al. Influence of aging on multi-organ carcinogenesis in rats induced by N-methyl-N-nitrosourea // Jpn. J. Cancer Res. 1993. Vol. 84. № 2. P. 139–146.
5. Moskalev A., Plyusnina E., Shaposhnikov M. et al. The role of D-GADD45 in oxidative, thermal and genotoxic stress resistance // Cell Cycle. 2012. Vol. 11. № 22. P. 4222–4241.
6. Osterwalder T. A., Yoon K. S., White B. H., Keshishian H. Conditional tissue-specific transgene expression system using inducible GAL4 // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2001. Vol. 98. №22. P. 12596–12601.
7. Roman G., Endo K., Zong L., Davis R. L. P[Switch], a system for spatial and temporal control of gene expression in *Drosophila melanogaster* // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2001. Vol. 98. №22. P. 12602–12607.
8. Souza-Pinto N. C., Croteau D. L., Hudson E. K. et al. Age-associated increase in 8-oxo-deoxyguanosine glycosylase/AP lyase activity in rat mitochondria // Nucleic acids research. 1999. Vol. 27. № 8. P. 1935–1942.
9. Heininger K. Ageing is a deprivation syndrome driven by a germ-soma conflict // Ageing research reviews. 2002. Vol. 1. № 3. P. 481–536.
10. Xu M., Bai L., Gong Y., Xie W. et al. Structure and functional implications of the human rad9-hus1-rad1 cell cycle checkpoint complex // J. Biol. Chem., 2009. Vol. 284. № 31. P. 20457–20461.
11. Roy R., Chun J., Powell S.N. BRCA1 and BRCA2: different roles in a common pathway of genome protection // Nat. Rev. Cancer., 2011. Vol. 12. № 1. P. 68–78.
12. Kuper J., Kisker C. DNA Helicases in NER, BER, and MMR // Adv. Exp. Med. Biol., 2013. Vol. 767. P. 203–224.
13. Abdu U., Klovstad M., Butin-Israeli V., et al. An essential role for *Drosophila* hus1 in somatic and meiotic DNA damage responses // J. Cell Sci. 2007. Vol. 120. № Pt 6. P. 1042–1049.
14. Kadir R., Bakhrat A., Tokarsky R., et al. Localization of the *Drosophila* Rad9 protein to the nuclear membrane is regulated by the C-terminal region and is affected in the meiotic checkpoint // PLoS One. 2012. Vol. 7. № 5. P. E38010.
15. Brough R., Wei D., Leulier S., et al. Functional analysis of *Drosophila melanogaster* BRCA2 in DNA repair // DNA Repair (Amst). 2008. Vol. 7. № 1. P. 10–19.
16. Klovstad M., Abdu U., Schöpbach T. *Drosophila* brca2 is required for mitotic and meiotic DNA repair and efficient activation of the meiotic recombination checkpoint // PLoS Genet. 2008. Vol. 4. № 2. P. E31.
17. Boubriak I., Mason P. A., Clancy D. J., et al. DmWRNexo is a 3'-5' exonuclease: phenotypic and biochemical characterization of mutants of the *Drosophila* orthologue of human WRN exonuclease // Biogerontology. 2009. Vol. 10. № 3. P. 267–277.
18. Saunders R. D., Boubriak I., Clancy D. J., et al. Identification and characterization of a *Drosophila* ortholog of WRN exonuclease that is required to maintain genome integrity // Aging Cell. 2008. Vol. 7. № 3. P. 418–425.

19. *Opresko P. L., Cheng W. H., von Kobbe C., et al.* Werner syndrome and the function of the Werner protein; what they can teach us about the molecular aging process // *Carcinogenesis*. 2003. Vol. 24. № 5. P. 791–802.
20. *Mao Z., Tian X., Van Meter M., et al.* Sirtuin 6 (SIRT6) rescues the decline of homologous recombination repair during replicative senescence // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2012. Vol. 109. № 29. P. 11800–11805.
21. *Halmosi R., Berente Z., Osz E., et al.* Effect of poly(ADP-ribose) polymerase inhibitors on the ischemia-reperfusion-induced oxidative cell damage and mitochondrial metabolism in Langendorff heart perfusion system // *Mol. Pharmacol.* 2001. Vol. 59. № 6. P. 1497–1505.

Статья поступила в редакцию 07.05.2014.

УДК 612.176.2

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ СЕРДЦА В ПЕРИОД ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ ЖЕЛУДОЧКОВ У КРЫС ЛИНИИ НИСАГ С РАЗНОЙ СТЕПЕНЬЮ АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИИ

Ю.В. ШОРОХОВ, И.М. РОЩЕВСКАЯ

Лаборатория сравнительной кардиологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

compcard@mail.ru, shorokhovv@gmail.com

Исследованы пространственные характеристики электрического поля сердца на поверхности тела крыс с артериальной гипертензией линии НИСАГ с разным уровнем систолического артериального давления. У животных с тяжелой и умеренной артериальной гипертензией в динамике электрического поля сердца на поверхности тела выявлены существенные отличия траекторий смещения положительного и отрицательного экстремумов в соответствии со степенью повышения систолического давления, при однотипном изменении начального желудочкового комплекса на ЭКГ в отведениях от конечностей.

Ключевые слова: кардиоэлектрическое поле, гипертрофия миокарда, артериальная гипертензия

Y.V. SHOROKHOV, I.M. ROSHCHEVSKAYA. CARDIAC ELECTRIC FIELD DURING VENTRICULAR DEPOLARIZATION OF ISIAH RATS WITH VARIOUS DEGREES OF ARTERIAL HYPERTENSION

The spatial characteristics of cardiac electric field on the body surface of rats with arterial hypertension (ISIAH line) with different levels of systolic blood pressure were investigated. Significant differences of displacement trajectories of positive and negative extrema were revealed in accordance with the degree of increase of systolic blood pressure at the same changes of the initial ventricular complex in ECG in limb leads in animals with severe and moderate arterial hypertension in the dynamics of cardiac electric field on the body surface.

Keywords: cardioelectric field, myocardial hypertrophy, arterial hypertension

Артериальная гипертензия (АГ) широко распространена и играет ведущую роль в развитии сердечно-сосудистых осложнений у людей (гипертрофии миокарда, инфаркта миокарда, почечной недостаточности), смертности, утраты трудоспособности и ухудшения качества жизни [1]. Большое значение имеют электрокардиографические диагностические признаки гипертрофии желудочков сердца, но чувствительность большинства из них не достигает 50% [2]. Кардиоэлектротопография является важным неинвазивным и высокоинформативным методом анализа электрической активности сердца [3], используется для распознавания гипертрофии миокарда [4]. Выявлены изменения электрического поля сердца (ЭПС) на поверхности тела крыс при моделировании гипертензий: реноваскулярной – модель Голдблатта [5], наследственной – линия SHR [6,7].

Крысы линии НИСАГ являются адекватной экспериментальной моделью наследственно обусловленной стресс чувствительной артериальной гипертензии, позволяющей воспроизвести признаки и симптомы, свойственные гипертонической болез-

ни человека, и характеризуются повышенным артериальным давлением (190 мм.рт.ст.) [8].

Цель работы – выявить пространственные характеристики кардиоэлектрического поля на поверхности тела крыс линии НИСАГ с артериальной гипертензией в период деполяризации желудочков сердца в зависимости от уровня артериального давления.

Материалы и методы

Исследовано ЭПС на поверхности тела 3–4-х месячных самцов крыс линии НИСАГ (n=90) весом 290 ± 52 г. под уретановым наркозом (1,5 г/кг, внутривенно), находящихся в положении лежа на спине. Униполярные кардиоэлектрические потенциалы на поверхности грудной клетки измеряли от 64 подкожных игольчатых электродов, расположенных на поверхности тела от основания ушей до последнего ребра, синхронно с биполярными ЭКГ в отведениях от конечностей, при помощи системы для кардиоэлектротопографических исследований [9]. ЭПС анализировали по эквипотенциальным моментным картам. Время приведено относительно пика зубца R

на ЭКГ во II отведении от конечностей: до пика зубца R_{II} со знаком «-», после – без знака. Цифровые значения представлены в работе в виде среднего $\pm$ стандартного отклонения. Достоверность различий оценивали по критерию Стьюдента. Данные считали достоверными при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты исследований

У крыс линии НИСАГ во время эксперимента ЧСС составляла 281 ± 48 уд/мин., систолическое давление в хвостовой артерии 193 ± 27 мм. рт. ст. На ЭКГ в отведениях от конечностей у крыс линии НИСАГ отсутствует зубец Q, начальный желудочковый комплекс имеет форму rS во II и III отведениях, rSr в I отведении.

В начальные моменты деполяризации желудочков сердца, до начального желудочкового комплекса на ЭКГ в отведениях от конечностей (от - 5 до - 2 мс), на ЭПС на поверхности грудной клетки у всех крыс (рис. А, Б) формируется область электропозитивности на вентральной и дорсальной сторонах каудально, с экстремумом на левой парастернальной линии около мечевидного отростка грудины; область электронегативности – краниально, с экстремумом по правой паравerteбральной или правой лопаточной линии краниально.

В период восходящей части, на пике и в начале нисходящей части зубца r_{II} (от - 2 до 1 мс) зоны электропозитивности, электронегативности и положительный экстремум не меняют своего расположения на ЭПС, отрицательный экстремум сме-

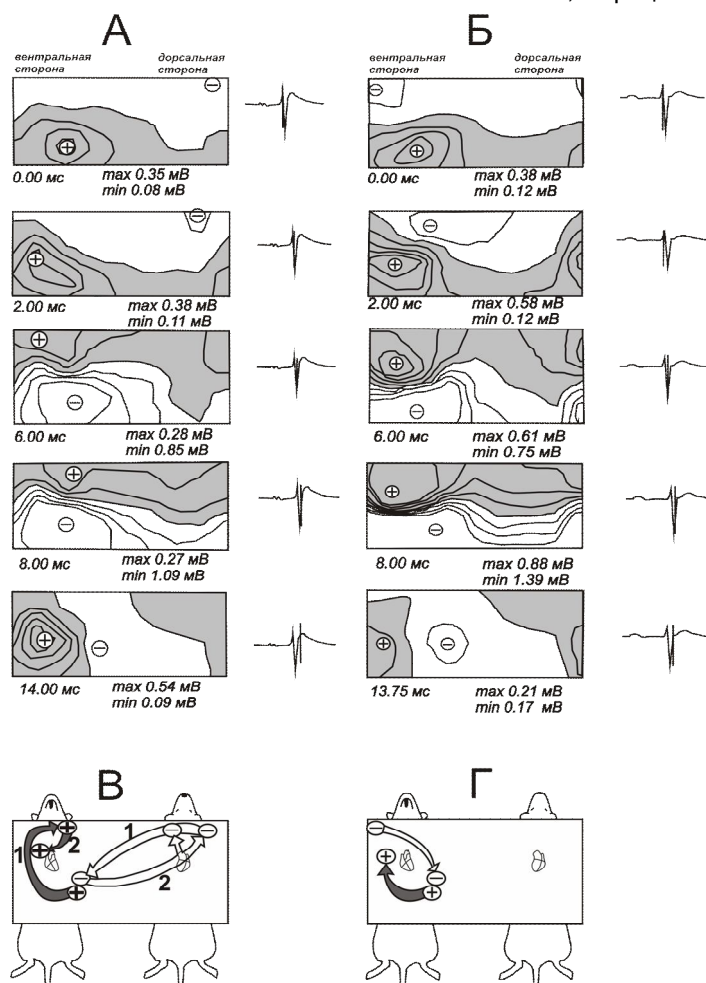


Рис. Экипотенциальные моментные карты (А – при тяжелой артериальной гипертензии, крыса №1; Б – при умеренной артериальной гипертензии, крыса №23) и схемы смещения экстремумов (В – при тяжелой артериальной гипертензии; Г – при умеренной артериальной гипертензии) на поверхности тела крыс линии НИСАГ в период деполяризации желудочков сердца.

Условные обозначения:

- на экипотенциальных моментных картах (А, Б) – область положительного кардиоэлектрического потенциала закрашена; отрицательного не закрашена; знаки $\oplus$, $\ominus$ на каждой карте обозначают положение максимума и минимума соответственно; амплитуды экстремумов (max, min) приведены под каждой картой, шаг изолиний 0.10 мВ; ЭКГ во втором отведении от конечностей с маркером времени приведена справа от каждой карты;

- на схемах смещения экстремумов (В, Г): $\oplus$, $\ominus$ обозначают положение максимума и минимума соответственно; закрашены траектории смещения положительного экстремума, не окрашены – отрицательного; на схеме смещения экстремумов (В): 1 – в период восходящей и нисходящей r_{II} , нисходящей S_{II} ; 2 – в период восходящей S_{II} .

щается по поверхности правого плеча с вентральной поверхности на дорзальную, и обратно.

В период нисходящей части зубца r_{II} (1–7 мс) происходит взаимная инверсия расположения зон электроотрицательности и электропозитивности на ЭПС: положительная область смещается краниально по правой латеральной поверхности; отрицательная – каудально по левой латеральной. Во время восходящей фазы S_{II} зубца (7–12 мс) зоны электроотрицательности и электропозитивности не меняют своего расположения (рис. А, Б).

У 85 % ($n=77$) животных (рис. А) с систолическим артериальным давлением 203 ± 21 мм. рт. ст. (тяжелая АГ), на ЭПС отрицательный экстремум в нисходящую фазу r_{II} смещается от правого плеча по правой латеральной поверхности к правой лопатке, затем по дорсальной стороне каудально и леволатерально, по левой латеральной поверхности на вентральную, к пику S_{II} (на 7 мс) располагается в области мечевидного отростка грудины по левой парастернальной линии. Положительный экстремум в нисходящую фазу r_{II} (1–7 мс) перемещается по вентральной поверхности грудной клетки по часовой стрелке от левой парастернальной линии слева от мечевидного отростка и поднимается краниально по правой парастернальной линии к рукоятке грудины, огибает ее, к пику S_{II} располагается слева от рукоятки грудины по парастернальной линии. Во время восходящей фазы S_{II} зубца (7–12 мс) экстремумы смещаются на ЭПС вокруг грудины против часовой стрелки. Положительный экстремум из области рукоятки грудины справа перемещается против часовой стрелки в область мечевидного отростка грудины по левой парастернальной линии. Отрицательный экстремум смещается от области мечевидного отростка слева по левой латеральной поверхности на дорзальную поверхность, далее краниально к правой или левой окологрудной линии (рис. В.).

У 15 % ($n=13$) крыс с достоверно ($p < 0,05$) отличающимся систолическим давлением 161 ± 12 мм. рт. ст. (умеренная АГ) на ЭПС отрицательный экстремум в нисходящую фазу r_{II} (1–7 мс) от области правого плеча перемещается по вентральной поверхности к рукоятке грудины слева, к левой ключице, к пику S_{II} смещается по левой среднеключичной линии к мечевидному отростку грудины слева. Положительный экстремум в нисходящую фазу r_{II} двигается по вентральной поверхности грудной клетки по часовой стрелке от левой парастернальной линии, огибает мечевидный отросток и смещается краниально справа от грудины, к пику S_{II} зубца располагается около тела грудины по правой парастернальной линии (рис. Б). Во время восходящей фазы S_{II} зубца (7–12 мс) положительный экстремум по ЭПС из области тела грудины по правой парастернальной линии смещается каудально, к мечевидному отростку справа. Отрицательный экстремум из области мечевидного отростка грудины слева, по парастернальной или среднеключичной линии перемещается краниально и к окончанию процесса деполяризации желудочков сердца распола-

гается слева на уровне середины тела грудины (рис. Г).

Обсуждение результатов

Артериальное давление у крыс линии НИСАГ повышено [10], что ведет к развитию гипертрофии миокарда желудочков. Длительная устойчивая гипертрофия желудочков приводит к декомпенсационному ремоделированию, изменению структурных, функциональных и электрофизиологических свойств миокарда [11]. Наследственная стресс-индуцированная артериальная гипертензия у крыс линии НИСАГ вызывает адаптивно-компенсаторные структурные изменения желудочков – концентрическую гипертрофию левого и правого желудочков и патологические – существенное увеличение доли соединительной ткани в сочетании с уменьшением численной плотности кардиомиоцитов [12]. Для клеток гипертрофированного миокарда крыс линии НИСАГ характерны деструктивно-дегенеративные изменения, приводящие к уширению комплекса QRS на ЭКГ в отведениях от конечностей [13]. Длительность $QRST$ остается неизменным, что объясняется хорошей адаптацией сердца крыс линии НИСАГ к повышенному давлению [8]. Наряду с гипертрофией миокарда у крыс линии НИСАГ в процессе формирования гипертензии развивается недостаточность коронарного кровообращения увеличенной массы миокарда, что на ЭКГ в отведениях от конечностей отражается дискордантностью комплекса QRS во II, aVL и aVF отведениях [13]. Увеличение длительности комплекса QRS и интервала PQ , широкий зубец S на ЭКГ в отведениях от конечностей у крыс линии НИСАГ связывают с замедлением хода возбуждения в миокарде [14]. Для нормотензивных крыс линии Вистар характерен начальный желудочковый комплекс типа R_s [3]. Гипертрофия желудочков сердца у крыс линии НИСАГ с тяжелой и умеренной АГ приводит к однотипному изменению начального желудочкового комплекса на ЭКГ в отведениях от конечностей – форме rS или rSr [8]. Для крыс с реноваскулярной гипертензией характерен начальный желудочковый комплекс типа R_s , RS [5], SHR – типа R_s [7].

Траектории смещения зон и экстремумов ЭПС на поверхности тела гипертензивных крыс линии НИСАГ существенно отличаются от таковых у нормотензивных животных линии Вистар [3], близки к характерным для гипертензивных крыс линии SHR [7] и при экспериментальной реноваскулярной гипертензии [5].

По динамике ЭПС на поверхности тела у крыс линии НИСАГ в период нисходящей rS_{II} были выявлены два варианта движения положительного и отрицательного экстремума в соответствии со степенью повышения систолического давления, при однотипности расположения экстремумов на начальных и конечных этапах деполяризации желудочков сердца. Траектории смещения экстремумов ЭПС на поверхности тела у крыс с умеренной АГ являются промежуточными между характерными для животных с тяжелой АГ (203 мм.рт.ст.) и нор-

мотензивными линии Вистар [3] и отражают переходный процесс формирования устойчивой адаптации к высокому артериальному давлению. При тяжелой АГ морфологические изменения гипертрофированного миокарда в сочетании с ремоделированием приводят к существенным изменениям траекторий движения экстремумов.

Высокое системное давление в ответ на избыточную нагрузку вызывает развитие гипертрофии миокарда левого желудочка с увеличением толщины его стенки в зависимости от уровня давления [15]. Гипертрофия желудочков сердца приводит к изменению пространственного расположения сердца в грудной клетке у крыс линии НИСАГ [8], что оказывает влияние на кардиоэлектрическое поле на поверхности тела.

Таким образом, длительная артериальная гипертензия, приводящая к адаптивно-компенсаторным и патологическим процессам в миокарде крыс линии НИСАГ, вызывает однотипные изменения формы начального желудочкового комплекса на ЭКГ в отведениях от конечностей. Анализ кардиоэлектрического поля на поверхности тела крыс линии НИСАГ в период деполяризации желудочков позволил выявить существенные изменения пространственных характеристик и траекторий смещения экстремумов электрического поля сердца. У гипертензивных крыс линии НИСАГ с разным уровнем повышения системного артериального давления в период деполяризации желудочков выявлены различия в динамике электрического поля сердца на поверхности тела, позволяющие дифференцированно оценить состояние гипертрофированного миокарда при артериальной гипертензии различной степени.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы совместных исследований УрО РАН и СО РАН, проект № 12-С-4-1037 "Исследование генетико-физиологических механизмов формирования артериальной гипертензии", проекта ориентированных фундаментальных исследований 13-4-034-КНЦ "Разработка физиологических основ кардиоэлектротопографической диагностики ремоделированного миокарда при вазоренальной и надпочечниковой формах систематической артериальной гипертензии".

Литература

1. Бокерия Л.А., Самородская И.В., Ключников И.В. Организационные вопросы реперфузионного лечения пациентов с острым коронарным синдромом // Бюл. НЦССХ им. А.Н.Бакулева РАМН. 2011. Т. 5. №5. С. 22–27.
2. Molloy T.J., Okin P.M., Devereux R.B., Kligfield P. Electrocardiographic detection of left ventricular hypertrophy by the simple QRS voltage-duration product // J. Am. Coll. Cardiol. 1992. Vol. 20. № 5 P.1180–1186.
3. Роцевская И.М. Кардиоэлектрическое поле теплокровных животных и человека. СПб.: Наука, 2008. 250 с.
4. Bacharova L. Mateasik F., Krause R. et al. The effect of reduced intercellular coupling on electrocardiographic signs of left ventricular hypertrophy // J. of Electrocardiology. 2011. № 44. P. 571–576.
5. Грандычева В.В., Харин С.Н., Шмаков Д.Н., Роцевская И.М. Кардиоэлектрическое поле на поверхности тела крыс с гипертрофией левого желудочка сердца при экспериментальной реноваскулярной гипертензии // Росс. физиол. журн. им. И.М.Сеченова. 2005. Т.91. №10. С.1168–1175.
6. Бахарова Л., Кыслович Я., Климас Я., Радман А. Уменьшение удельного электрического потенциала миокарда на ранней стадии экспериментальной гипертензии // Вестник аритмологии. 2000. № 16. С. 62–67.
7. Роцевский М.П. Барабанова В.В., Гагиев Н.Г. и др. Электрическое поле сердца крыс со спонтанной гипертензией // Физиол. ж. СССР им. И.М. Сеченова. 1988. № 8. С. 1140–1148.
8. Якобсон Г.С. Сахаров Д.Г., Маркель А.Л. Характеристика функции сердца у гипертензивных крыс линии НИСАГ (ЭКГ-исследования) // Бюлл. эксперим. биологии и медицины. 1994. № 7. С. 17 – 18.
9. Система «КАРДИОИНФОРМ» для визуализации и анализа кардиоэлектрического поля / М.П.Роцевский, Н.В.Артеева, Н.Л.Коломеец, Н.А.Антонова, М.Ю.Камбалов, Д.Н.Шмаков, И.М.Роцевская // Мед. акад. журн. 2005. Т. 5. № 3. С. 74–79.
10. Рязанова М.А. Экспрессия генов альфа1А- и альфа2А-адренорецепторов в миокарде и ткани почки у гипертензивных крыс линии НИСАГ (ISIAN) // Бюл. СО РАМН. 2012. Т.32. № 1. С.43–47.
11. Кобалава Ж.Д., Котовская Ю.Д., Вагманова Н.Х. и др. Гипертонические кризы в кардиологии: место урапидила // Кардиология. 2012. №1. С. 86–90.
12. Шмерлинг М.Д., Филюшина Е.Е., Коростышевская И.М. и др. Влияние хронического стресса в раннем постнатальном онтогенезе на структурные характеристики миокарда и клубочкового аппарата почек крыс линии НИСАГ // Бюл. эксперим. биологии и медицины. 2003. Т. 136. № 7. С. 27–31.
13. Махнова Н.А., Антонов А.Р., Маркель А.Л., Якобсон Г.С. Онтогенетическая динамика артериального давления и характеристик ЭКГ у крыс линии НИСАГ с наследственной артериальной гипертензией // Бюл. эксперим. биологии и медицины. 1997. Т. 123. № 6. С. 709 – 713.
14. Антонов Е.В., Маркель А.Л., Якобсон Г.С. Альдостерон и стресс-зависимая артериальная гипертензия // Бюл. эксперим. биол. и мед. 2011. №8. С. 145 – 151.
15. Профилактика, диагностика и лечение первичной артериальной гипертензии в Российской Федерации. Первый доклад экспертов Научного общества по изучению артериальной гипертензии, Всероссийского научного общества кардиологов и Межведомственного совета по сердечно-сосудистым заболеваниям (ДАГ 1) // Русский медицинский журнал. 2000. № 8. С. 318–346.

Статья поступила в редакцию 24.03.2014.

УДК 612.12+612.22.225

ФУНКЦИЯ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ У ЮНОШЕЙ И ДЕВУШЕК В ТЕПЛЕ И НА ХОЛОДЕ

Н.Г. ВАРЛАМОВА, О.В. РОГАЧЕВСКАЯ, Е.Р. БОЙКО

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

Выявлено, что изменения функции внешнего дыхания у юношей и девушек на холоде свидетельствуют о включении изоляционных и рестриктивных реакций дыхательных путей, позволяющих сохранить наиболее оптимальные условия кондиционирования низкотемпературного воздуха. Дыхание холодным воздухом уменьшает у юношей и девушек жизненную емкость легких, увеличивает индекс Тиффно. У юношей на холоде уменьшаются объем форсированного выдоха за первую секунду, пиковая объемная скорость выдоха и скорости прохождения воздуха по бронхам крупного калибра. При дыхании на холоде у здорового человека наиболее часто изменяются динамические характеристики функции внешнего дыхания, тогда как объемные показатели меняются в меньшей степени.

Ключевые слова: внешнее дыхание, температура, юноши и девушки

N.G. VARLAMOVA, O.V. ROGACHEVSKAYA, E.R. BOJKO. EXTERNAL RESPIRATORY FUNCTION IN YOUTH AND GIRLS IN HEAT AND COLD

It is revealed that changes in external respiration function in youth and girls in cold indicate the inclusion of isolation and restrictive reactions of respiratory tracts, allowing to keep the optimal conditions of low-temperature air-conditioning. In youth and girls breathing by cold air reduces lung capacity, increases Tiffno index. In youth in cold the forced expiratory volume for the first second is reduced, the peak expiratory rate and the velocity of air flow in bronchial tubes of large caliber decreases. In healthy man when breathing in cold the dynamic characteristics of external respiratory function most often change, whereas volume indicators change to a lesser degree.

Keywords: external respiration, temperature, youth and girls

Дыхательная система человека играет значимую роль в адаптивных реакциях к условиям Севера и наиболее открыта для воздействия окружающей среды. Одним из основных не избегаемых климато-географических факторов европейского Севера является температурный. При длительном пребывании на Севере, особенно при работе на открытом воздухе, у человека развивается комплекс характерных адаптационных изменений органов дыхания. Клинически он проявляется нарастающей одышкой и повышенной утомляемостью [1]. В зависимости от условий охлаждения сигнал-предвестник опасности переохлаждения может исходить в первую очередь из дыхательного тракта, конечностей, лица или внутренних органов [2]. Подавляющее большинство исследований функции внешнего дыхания (ФВД) выполнено в тепле, что позволяет оценить лишь следовые реакции респираторной системы в ответ на воздействие холодного воздуха. У жителей европейского Севера динамика вентиляции легких при дыхании воздухом отрицательной температуры до настоящего времени практически не изучена, особенно у женщин, имеются лишь единичные работы в этом на-

правлении [3]. Поэтому целью нашего исследования было изучение ФВД у юношей и девушек в тепле и на холоде.

Объекты и методы

Обследованы практически здоровые юноши 11 класса и юноши и девушки, обучающиеся на 1-3 курсах ВУЗа (Сыктывкар, 62°с.ш.). ФВД изучена у 25 юношей и 20 девушек в декабре, январе и феврале. Юноши были выше ростом (175.1 ± 5.5 см) и тяжелее (69.5 ± 8.0 кг), чем девушки (164.0 ± 6.0 см и 57.9 ± 10.6 кг) ($P < 0.001$), их возраст не имел статистических различий (соответственно, 20.5 ± 2.5 года и 21.1 ± 4.7 года). При обследовании юношей температура воздуха на улице была $-17.2 \pm 6.4^\circ\text{C}$, при обследовании девушек $-13.5 \pm 8.0^\circ\text{C}$. В климатической камере температуры составляли соответственно, $-6.2 \pm 3.3^\circ\text{C}$ и $-4.7 \pm 7.8^\circ\text{C}$ и в момент обследования как юношей, так и девушек статистически не различались. Диапазон температур при дыхании холодным воздухом колебался от 0 до -14°C . ФВД изучена на микропроцессорном спирографе СПМ-01-«Р-Д» в помещении при комнатной температуре и в климатической камере, после 15 мин нахождения в

ней в привычной уличной одежде. С помощью теста минутного объема дыхания определяли дыхательный объем (ДО), частоту дыхания за минуту (ЧД), минутный объем дыхания (МОД). В тестах жизненной (ЖЕЛ) и форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ) были измерены объем форсированного выдоха за первую секунду (ОФВ1), пиковая объемная скорость (максимальная скорость потока воздуха, достигаемая в процессе форсированного выдоха) (ПОС), мгновенные объемные скорости в момент выдоха 25, 50 и 75% ФЖЕЛ (МОС25, МОС50 и МОС75), вычислен индекс Тиффно. Программный пакет спирографа СПМ-01-«Р-Д» обеспечивал определение должных величин с учетом пола, возраста, роста и массы тела [4].

Результаты обработаны статистически с расчетом средних значений, стандартных отклонений, ошибки, эксцесса, скоса и критерия Стьюдента [5] с помощью прикладного пакета программ Microsoft Office Excel 2003 и «Биостат» (версия 4.03).

Результаты исследований

Результаты исследований представлены в таблицах 1–3 и на рисунках 1–4.

При дыхании холодным воздухом, по сравнению с дыханием воздухом комнатной температуры, у юношей и девушек не выявлено статистических различий в величинах ДО, ЧД и МОД (табл. 1).

Таблица 1

Дыхательный объем, частота дыхания и минутный объем дыхания у юношей и девушек в тепле и на холоде ($\bar{X} \pm \delta$, п)

Условия	ДО, л	ЧД, в мин	МОД, л/мин
Юноши			
Тепло	0.926±0.333, 25	15.1±3.7, 24	13.59±5.14, 24
Холод	0.844±0.369, 23	15.5±4.7, 22	12.68±6.17, 22
Девушки			
Тепло	0.695±0.220, 18	12.9±3.5, 18	9.55±3.28, 18
Холод	0.785±0.359, 20	14.7±4.4, 18	11.26±4.94, 18

У юношей ЖЕЛ и ОФВ1 (табл. 2) на холоде были меньше, соответственно на 16.9 % ($P < 0.001$) и 11.6 % ($P < 0.01$), а индекс Тиффно (ОФВ1/ЖЕЛ) больше на 14.3% ($P < 0.001$). Как у юношей, так и у девушек ФЖЕЛ (табл. 2) не имела достоверных различий при дыхании воздухом разной температуры, однако на холоде она была меньше на 9.2 и 7.7% соответственно. У девушек на холоде достоверно ($P < 0.01$) уменьшилась только ЖЕЛ на 14.1%, уменьшение ОФВ1 на 6.9% произошло в виде тенденции.

При вдыхании холодного воздуха у юношей и девушек произошло уменьшение МОС50 на 20.8 и 13.8%, МОС75 на 21.9 и 25.4% ($P < 0.05-0.001$). Только у юношей при дыхании холодным воздухом статистически значимо ($P < 0.01$) уменьшились ПОС на 10.0 и МОС25 на 15.7%. У девушек в виде тенденции выявлено уменьшение на холоде ПОС на 4.1 и МОС25 на 3.7% (табл. 3).

Таблица 2

Жизненная и форсированная жизненная емкости легких, объем форсированного выдоха за первую секунду, индекс Тиффно у юношей и девушек в тепле и на холоде ($\bar{X} \pm \delta$, п)

Условия	ЖЕЛ, л	ФЖЕЛ, л	ОФВ1, л/с	Индекс Тиффно, %
Юноши				
Тепло	5.852±0.681, 25***	5.332±0.906, 25	4.457±0.522, 24**	77.5±8.7, 24***
Холод	4.865±0.726, 23***	4.841±0.830, 19	3.938±0.638, 18**	88.6±8.4, 20***
Девушки				
Тепло	4.007±0.549, 20**	3.545±0.532, 19	3.169±0.431, 20	79.3±10.7, 20
Холод	3.443±0.514, 20**	3.273±0.458, 19	2.949±0.415, 20	77.4±13.1, 14

Примечание: *** $P < 0.001$, ** $P < 0.01$.

Таблица 3

Пиковая и мгновенные объемные скорости у юношей и девушек в тепле и на холоде ($\bar{X} \pm \delta$, п)

Условия	ПОС, л/с	МОС25, л/с	МОС50, л/с	МОС75, л/с
Юноши				
Тепло	9.822±1.182, 25**	8.613±1.209, 24**	5.960±1.519, 24**	3.368±1.287, 24*
Холод	8.838±1.214, 20**	7.264±1.538, 18**	4.718±1.153, 18**	2.629±0.965, 18*
Девушки				
Тепло	6.749±1.215, 20	6.307±1.116, 20	4.892±0.966, 20*	2.855±1.058, 20**
Холод	6.469±1.035, 20	6.072±1.163, 20	4.218±0.838, 20*	2.129±0.590, 20**

Примечание: *** $P < 0.001$, ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$.

Обсуждение результатов

При дыхании холодным воздухом от системы внешнего дыхания требуется выполнение противоположно направленных функциональных изменений: с одной стороны, увеличение легочного газообмена для обеспечения повышенных энергозатрат, а с другой – уменьшение контакта легких с низкотемпературным воздухом для защиты респираторных отделов легких от возможного холодового поражения. Обеспечение энергетического запроса «требуется» игнорировать защитные стимулы, что угрожает проникновению охлажденных воздушных масс в респираторные отделы, ухудшает условия массопереноса кислорода через аэрогематический барьер и может оказывать прямое повреждающее действие на респираторные отделы легких [3]. При очень низкой или очень высокой интенсивности вентиляции холодный воздух может проникать глубоко в легкие. Современные данные показывают, что ингаляция холодного воздуха может провоци-

ровать воспалительные реакции в слизистой оболочке [6].

Объемные характеристики ФВД и частота дыхания. По данным I.Holmer [6], принято различать три уровня напряжения при различных температурах: легкое, умеренное и сильное. Наши исследования выполнены при температуре воздуха от 0 до -14°C , что соответствует легкому и умеренному напряжению. При исследовании ФВД у мужчин и женщин аналогичного возраста, роста и массы тела в диапазоне температур от -6 до -12°C и экспозиции 30 мин выявлено увеличение ДО у мужчин на 21.8 и женщин – на 23.8% [3]. В нашем исследовании меньше половины контингента (44.4 женщин и 26.1% мужчин) отреагировали увеличением ДО при дыхании холодным воздухом (рис. 1).

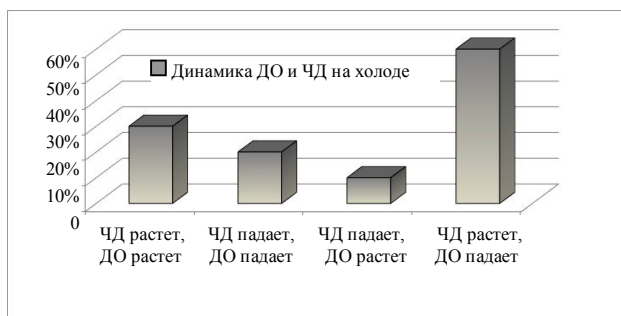


Рис. 1. Варианты динамики дыхательного объема и частоты дыхания у юношей и девушек на холоде.

У одного мужчины (4.3%) ДО в тепле и на холоде был одинаковым. Большая часть девушек (55.6%) и юношей (69.6%) в условиях холода уменьшили ДО. По-видимому, меньшее нахождение в условиях холода в наших исследованиях (15 мин), а также довольно значительный процент разнонаправленных индивидуальных реакций не привели к статистически значимому изменению этого показателя.

Выявленная нами тенденция к увеличению ЧД на холоде, согласуется с данными литературы [3]. Определены индивидуальные варианты реакции: у 66.7 – девушек и 50.0% юношей дыхание на холоде стало более частым, у 16.6 – девушек и 27.3% юношей – не изменилось, у остальных (16.7% девушек и 22.7% юношей) ЧД на холоде уменьшилось (рис. 1).

Величина МОД у мужчин при дыхании холодным воздухом достоверно увеличилась на 16.2, у женщин – на 21.7% [3], что согласуется с полученными нами данными для женщин, тенденции к приросту МОД на 17.9% и противоречит результатам, полученным для мужчин, – уменьшение МОД на холоде на 6.7%. В наших исследованиях увеличение МОД на холоде произошло у 61.1% девушек и 27.3% юношей (рис. 2). На холоде МОД уменьшился у 38.9% девушек и 72.7% юношей. В работе [7] показано, что у 15 мужчин в возрасте 22–40 лет, некоренных жителей Севера, работающих 3–6 час. в день на холоде на п-ове Таймыр, в покое при дыхании воздухом комнатной температуры ($22 \pm 1^{\circ}\text{C}$) и наружным воздухом с температурой $-19 \pm 5^{\circ}\text{C}$ МОД на холоде достоверно ($P < 0.05$) увеличился с 8.5 ± 0.3

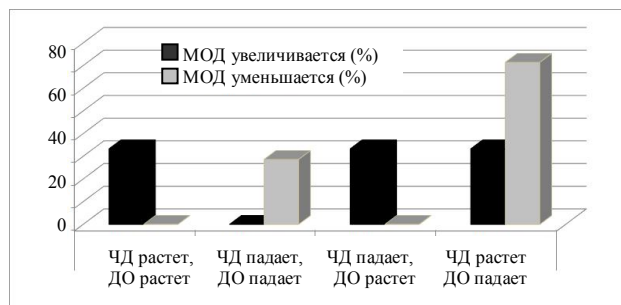


Рис. 2. Варианты динамики минутного объема дыхания у юношей и девушек на холоде.

до 10.1 ± 0.2 л/мин (на 11.9%), что согласуется с нашими данными для девушек, но находится в противоречии с результатами, полученными у юношей. Известна роль терморецепторов верхних дыхательных путей, холодовая стимуляция которых приводит к снижению легочной вентиляции [7].

По данным литературы [3], увеличение МОД на холоде у мужчин происходит за счет возрастания ДО, у женщин – ДО и ЧД. Наши результаты свидетельствуют о тенденциях к уменьшению у юношей ДО и повышению ЧД. Как и в работе [3], у девушек на холоде увеличиваются и ДО и ЧД. Можно предполагать, что увеличение легочной вентиляции направлено на повышение газообмена в респираторной зоне легких [3]. Гипервентиляция приводит к респираторному алкалозу, который вызывает сдвиг кривой диссоциации кислорода влево. Этот сдвиг способствует связыванию кислорода в легких, но мешает его выделению в тканях [8].

Динамика ЖЕЛ на холоде была статистически достоверной ($P < 0.01-0.001$) и однонаправленной как у мужчин, так и у женщин. Уменьшение ЖЕЛ на холоде у мужчин на 16.9% и у женщин на 14.1% ($P < 0.001$) было сравнимо с приведенными в литературе значениями 11.6 – у мужчин и 14.6% – у женщин [3]. На холоде ЖЕЛ в наших исследованиях уменьшилась у 85.0% девушек и 91.3% юношей (рис. 3), осталась неизменной у 5.0% девушек и увеличилась у 10.0% девушек и 8.7% юношей. ФЖЕЛ имела похожую динамику в виде тенденции: она уменьшилась на холоде у юношей на 9.2% и девушек – на 7.7%. Испытуемые (21.4%) из-за бронхоспастических реакций на холоде не смогли

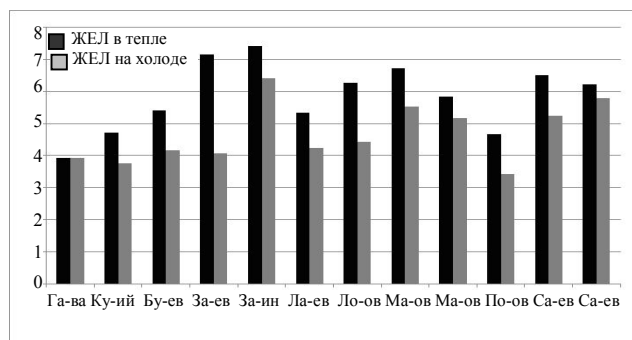


Рис. 3. Жизненная емкость легких у юношей и девушек в тепле и на холоде, л.

выполнить тест ФЖЕЛ. Достоверное уменьшение величины ЖЕЛ при дыхании холодным воздухом, вероятно, является выражением физиологической реакции защиты респираторной ткани, направленной на предупреждение переохлаждения. Можно предположить, что происходит выключение из вентиляции наиболее охлаждаемых респираторных микроструктур. В основе этой защитной реакции, видимо, лежит гладкомышечное сокращение бронхиол в транзитной зоне легких, функциональный смысл которого заключается в ограничении поступления недостаточно согретого и увлажненного воздуха к дыхательной респираторной зоне [3].

Существуют три типа рецепторов легких: легочные рецепторы растяжения, ирритативные рецепторы и J-рецепторы [9]. Ирритативные рецепторы реагируют на действие едких газов, дыма, пыли и холодного воздуха. Полагают [9], что они располагаются между эпителиальными клетками дыхательных путей. Импульсы от этих рецепторов идут по миелиновым волокнам блуждающих нервов, а рефлекторный ответ заключается в сужении бронхов и гиперпноэ. Некоторые физиологи называют эти рецепторы «быстро адаптирующимися» [9]. К прочим рецепторам, связанным с дыханием, относятся и рецепторы носовой полости и верхних дыхательных путей. Их можно отнести к ирритативному типу. Раздражение их рефлекторно вызывает чихание, кашель и сужение бронхов [9]. Импульсы от рецепторов, реагирующих на действие холодного воздуха, идут по миелиновым волокнам блуждающих нервов, а рефлекторный ответ заключается в сужении респираторных бронхиол I, II и III порядков, что и лежит в основе реакции сокращения респираторной поверхности [3].

При дыхании холодным воздухом уменьшение ОФВ1 у юношей и девушек согласуется с данными литературы [3] и указывает на снижение проходимости в крупных и средних бронхах, вероятно, из-за их спазма. В наших исследованиях уменьшение ОФВ1 на холоде получено у 80.0% девушек и 88.2% юношей. У 5.9% юношей ОФВ1 на холоде и в тепле не различался, а у 20.0% девушек и 5.9% юношей ОФВ1 на холоде увеличился, что, по-видимому, связано с индивидуальными особенностями выполнения форсированного теста в этой группе.

По данным литературы [3], вдыхание холодного воздуха в реальных климатических условиях европейского Севера вызывает более выраженные изменения легочных объемов у женщин, по сравнению с мужчинами, что, по мнению авторов, связано с меньшей силой дыхательных мышц у женщин. С полученными нами данными согласуется только увеличение ДО у женщин. У мужчин ЖЕЛ больше, чем у женщин отреагировала на холод, может быть в связи с тем, что температура вдыхаемого воздуха была несколько ниже у мужчин (на 1.5°C). Достоверное увеличение индекса Тифно на холоде у юношей, видимо, связано с тем, что у большинства из них на холоде вырос ОФВ1 и уменьшилась ЖЕЛ.

Динамические характеристики ФВД. Проба с форсированным выдохом является интегральным выражением механических свойств легких, в ней наиболее отчетливо проявляется динамика взаимосвязи объема легких, сопротивления дыхательных путей и внутригрудного давления [3]. Установлено [3], что дыхание воздухом отрицательной температуры привело у мужчин и женщин к значительным изменениям проходимости воздухоносных путей, что вполне согласуется с полученными нами данными. В наших исследованиях ПОС уменьшилась на холоде у 60.0% девушек и 85.0% юношей и увеличилась, соответственно, у 40.0 и 15.0%.

В работе [3] определено, что у мужчин и женщин при дыхании холодным воздухом происходит расширение крупных бронхов и уменьшение проходимости средних и мелких бронхов. В нашем исследовании выявлена одинаковая реакция у юношей и девушек при дыхании холодным воздухом – снижение скорости прохождения воздуха по бронхам крупного, среднего и мелкого калибра (снижение МОС25, 50 и 75). Причем МОС 25 уменьшилась у 60.0% девушек и 88.9% юношей, МОС50 стала меньше у 80.0% девушек и 100.0% юношей, МОС75 на холоде уменьшилась у 80.0% девушек и 83.3% юношей (рис. 4). Снижение скорости прохождения воздуха по бронхам разного калибра свидетельствует о защитной спастической реакции, функциональный смысл которой заключается в ограничении поступления недостаточно прогретого и увлажненного воздуха в респираторные отделы легких.

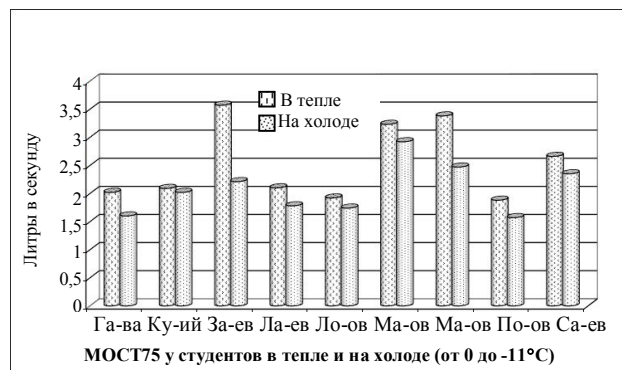


Рис. 4. Мгновенная объемная скорость воздушного потока на уровне мелких бронхов у юношей и девушек в тепле и на холоде.

Снижение проходимости мелких бронхов, с одной стороны, имеет положительное физиологическое значение, так как уменьшается объем вдыхаемого воздуха, а, следовательно, и альвеолярная порция воздуха, что способствует его лучшему согреванию. С другой стороны, нарушение бронхиальной проходимости имеет относительную полезность с позиций общих энергетических затрат, так как сужение дыхательных путей увеличивает их сопротивление, повышает внутригрудное давление и в значительной степени форсирует работу орга-

нов дыхания, вызывая их дополнительное напряжение [3]. Холодовые экспозиции вызывают увеличение легочного сосудистого сопротивления. Хронические воздействия низких температур приводят к морфологическим изменениям: увеличению числа бокаловидных клеток и слизистых желез, повышению тонуса стенок артерий и артериол, гипертрофии миокарда. Последние два фактора могут играть роль в возникновении симптомов хронической обструктивной болезни легких, бронхита, легочной гипертензии, отека и гипертрофии правых отделов сердца [10]. Адаптация к возникающей гипоксии заключается в увеличении альвеолярной поверхности легких в среднем на 24%, объема легочных капилляров на 39%, а также в повышении систолического давления в легочной артерии выше 30 мм рт.ст. [1]. У многих людей холодное воздействие вызывает гипертрофированную реакцию в системе терморегуляции. Следствием этого является интенсивное сужение сосудов и бронхов при более высокой температуре окружающей среды, чем у людей с нормальной реакцией [2].

Выводы

Изменения функции внешнего дыхания у юношей и девушек на холоде свидетельствуют о включении изоляционных и рестриктивных реакций дыхательных путей, позволяющих сохранить наиболее оптимальные условия кондиционирования низкотемпературного воздуха.

Дыхание холодным воздухом уменьшает у юношей и девушек жизненную емкость легких, увеличивает индекс Тиффно. У юношей на холоде снижаются также объем форсированного выдоха за первую секунду, пиковая объемная скорость выдоха и скорости прохождения воздуха по бронхам крупного калибра.

При дыхании на холоде у здорового человека наиболее часто меняются динамические характеристики функции внешнего дыхания, тогда как объемные показатели остаются более стабильными в меньшей степени.

Литература

1. *Величковский Б.Т.* Причины и механизмы снижения коэффициента использования кислорода в легких человека на Крайнем Севере // Биосфера. 2009. №2. С. 213–217.
2. *Хасси Ю.* Холод: традиционные и новые факторы профессионального риска в современной трудовой жизни // Barents. 1998. N3. (76). Hassi J. Cold environment – a traditional and new occupational risk in the modern work life // Barents. 1998. No 3. (75).
3. *Гудков А.Б., Попова О.Н.* Внешнее дыхание человека на европейском Севере. Архангельск: Изд-во Северного государственного медицинского университета, 2012. 252 с.
4. *Спирограф микропроцессорный СПМ-01-«Р-Д».* Руководство по эксплуатации. МТЦ.70.00. 100 РЭ. СПб. 2002. 51 с.
5. *Гланц С.* Медико-биологическая статистика / Пер. с англ. М.: Практика, 1999. 459 с.
6. *Холмер И.* Прогнозная оценка риска в холодных условиях // Barents. 1998. N3. (93-96). Holmer I. Risk assessment in cold environment // Barents. 1998. No 3. (77–79).
7. *Гришин О.В., Симонова Т.Г.* Легочная вентиляция и газообмен при дыхании воздухом разных температур // Физиология человека. 1998. Т. 24. №5. С. 44–47.
8. *Ульмер Г.* Энергетический баланс // Физиология человека. Пер. с англ. М.: Мир, 1986. С. 5–17.
9. *Уэст Д.* Физиология дыхания / Пер. с англ. М.: Мир, 1988. 200 с.
10. *Giesbrecht G.G.* The respiratory system in a cold environment // Aviat Space Environ Med. 1995. Vol. 66. No 9. P. 890–902.

Статья поступила в редакцию 30.05.2013.

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ МЕЖРЕГИОНАЛЬНОЙ КОРРЕЛЯЦИИ СРЕДНЕНЕОПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ ЛЕДНИКОВЫХ ГОРИЗОНТОВ В ЦЕНТРЕ И НА СЕВЕРЕ РУССКОЙ РАВНИНЫ

Л.Н. АНДРЕЙЧЕВА*, Н.Г. СУДАКОВА**

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

***Московский государственный университет, географический факультет, г. Москва*

andreicheva@geo.komisc.ru, ng.sudakova@mail.ru

Проведен сравнительный анализ ледниковой стратиграфии Центрального и Северного регионов Русской равнины. По совокупности литологических признаков днепровский ледниковый горизонт Центрального региона уверенно сопоставляется с печорским тиллом Северного региона, а московский – с вычегодским. Комплекс биостратиграфических, литостратиграфических и геохронологических данных однозначно свидетельствует о самостоятельности этих среднеледниково-неоплейстоценовых оледенений и позволяет достаточно уверенно коррелировать днепровский и московский тиллы в пределах обширной территории – от верхней Волги и Оки до Большеземельской тундры.

Ключевые слова: стратиграфия, средний неоплейстоцен, ледниковые и межледниковые горизонты, литология, биостратиграфия, корреляция

**L.N. ANDREICHEVA, N.G. SUDAKOVA. RELIABILITY EVALUATION OF
INTERREGIONAL CORRELATION OF THE MIDDLE NEOPLEISTOCENE
GLACIAL HORIZONS IN THE CENTER AND NORTH OF THE RUSSIAN
PLAIN**

A comparative analysis of the glacial stratigraphy has been made for two regions of the Russian Plain: Central and Northern. Using the combination of lithological characteristics, the Dnieper glacial horizon of the Central region is confidently correlated with the Pechora till of the Northern region, and the Moscow glacial horizon – with the Vychegda glacial horizon accordingly. An assemblage of biostratigraphic, lithostratigraphic and geochronological data clearly demonstrates the independence of the Middle Neopleistocene glaciations and allows to correlate the Dnieper and Moscow tills within a vast territory – from the Volga and the Oka to Bolshezemelskaya tundra with certainty.

Keywords: stratigraphy, Middle Neopleistocene, glacial and interglacial horizons, lithology, biostratigraphy, correlation

Введение

Проблема надежной диагностики разновозрастных ледниковых горизонтов и их корректной межрегиональной корреляции – актуальная задача, требующая системного подхода и комплексного решения. Сложная палеогеографическая обусловленность ледникового литогенеза под влиянием системообразующих факторов (генетических, провинциально-геологических, зонально-географических) отражается в особенностях строения и состава тиллов разного возраста. Их вещественный состав отличается наибольшей по сравнению с другими генетическими типами отложений преемственностью от состава питающих провинций и содержит

ценную информацию для палеогляциологических реконструкций структуры и динамики ледниковых покровов: центров оледенений, направления движения потоков, характера ледниковой ритмики и последующих стратиграфических построений. Неслучайно поэтому многоплановая «ледниковая проблема» и связанные с ней стратиграфические построения вызывают у исследователей, наряду с повышенным интересом, массу вопросов и противоречивых мнений [1–7]. Неоднозначная трактовка стратиграфической позиции и ранга ледниковых маркирующих горизонтов и нестыковка предлагаемых региональных стратиграфических схем [8–11] затрудняют выполнение актуальной задачи – межрегиональных стратиграфических и палеогеографических

ческих сопоставлений. В этой связи оправданное недоверие вызывают видоизменяющиеся региональные стратиграфические схемы, в которых, к сожалению, недостаточно объективно учитываются, а порой игнорируются или искажаются согласующиеся между собой данные комплексного исследования, в частности, касающиеся самостоятельности днепровского (печорского) и московского (вычегодского) оледенений в среднем неоплейстоцене.

Очевидно, что достоверность дальней стратиграфической корреляции зависит от целого ряда неперенных условий: а) наличия хорошо изученного регионального стратотипа данного горизонта; б) полноты геологической летописи сопоставляемых опорных разрезов; в) комплексного системного изучения строения разреза и состава отложений с обязательным участием как биостратиграфических и геохронологических методов, так и литостратиграфических; г) использования только репрезентативных аналитических материалов и статистически надежных количественных параметров состава отложений. Выполнение поставленных условий, которые служат критерием оценки надежности корреляционных построений, нацелено на определенную стандартизацию программы межрегиональной корреляции маркирующих горизонтов. При этом важен региональный подход к решению проблемы, учитывающий местные особенности палеогеографического развития каждого региона.

Материал и методы

Проведенный сравнительный анализ ледниковой стратиграфии двух регионов – Центрального и Северного – отвечает выдвинутым требованиям. Полученные материалы многолетних целенаправленных комплексных исследований и обобщение данных лабораторных анализов, выполненных по единой методике [12–15], позволяют ставить и решать на обширной территории ответственную задачу межрегиональной корреляции маркирующих ледниковых горизонтов неоплейстоцена. По каждому региону приложены схемы расположения избранных ключевых опорных разрезов с краткой их характеристикой в тексте. В этой связи следует отметить, что в целях межрегиональной корреляции неслучайно выбраны ледниковые горизонты, имеющие важные преимущественно при осуществлении пространственных сопоставлений. В отличие от межледниковых горизонтов они обладают ареальным стратотипом вещественного состава, что позволяет коррелировать их на значительных расстояниях (с учетом закономерностей пространственной изменчивости литологических показателей).

В методологическом плане принято конструктивное решение проблемы межрегиональной литологической корреляции ледниковых горизонтов на основе предварительного литолого-палеогеографического районирования древнеледниковой области Русской равнины [13, 16], проведенного по специально разработанной методике. Оно предусматривает выделение территорий, характеризующихся однородным геолого-геоморфологичес-

ким строением с однотипным литологическим питанием (из удаленных, транзитных и местных питающих провинций) и сходной историей палеогеографического развития. Карта-схема литорайонов четвертичного покрова систематизирует сложные взаимосвязи между компонентами удаленных, транзитных и местных питающих провинций через структуру и динамику ледникового покрова в результате взаимодействия ледника и ложа. При разграничении литорайонов необходимо принимать во внимание кардинальные перестройки питающих и минералогических провинций под воздействием экзарационно-аккумулятивной деятельности разновозрастных ледниковых покровов.

Прогнозная карта литорайонов с однотипным ледниковым питанием программирует тенденции пространственной изменчивости руководящих представителей удаленных, транзитных и местных питающих провинций и регламентирует объективные возможности и ограничения (и соответствующие правила) проведения субширотной и субмеридиональной корреляции ледниковых горизонтов с учетом закономерностей пространственной изменчивости состава тиллов. Литолого-минералогическое районирование древнеледниковой области служит научным обоснованием правомерности межрегиональной литологической корреляции ледниковых комплексов и создает условия для прогнозирования рациональной стратегии исследования.

Результаты и обсуждение

В Центральном регионе Русской равнины сосредоточены представительные разрезы плейстоценовых отложений (рис. 1). Детально исследованные сопряженным методом, они служат надежной базой для достоверных стратиграфических построений и обоснованных реконструкций палеогеографической ритмики неоплейстоцена.

Однако, несмотря на всестороннюю изученность многочисленных опорных и стратотипических разрезов с применением геоморфологических, литостратиграфических и биостратиграфических методов под контролем палеомагнитных и геохронологических, остаются нерешенными дискуссионные вопросы, в том числе касающиеся возрастного объема, ранга и границ распространения окского, днепровского, московского и калининского оледенений [2, 3, 7, 10, 14, 17]. До сих пор не достигнуто единого мнения о самостоятельности днепровского (печорского) и московского (вычегодского) оледенений.

В основу обобщений и сопоставлений положен сравнительный анализ результатов комплексного исследования многих опорных разрезов с использованием большого числа разнообразных лабораторных анализов. Наиболее представительные разрезы региона – хорошо известный Чекалинский разрез, отличающийся полнотой геологической летописи и являющийся одновременно стратотипом для окского и лихвинского горизонтов, а также удачно дополняющий его Сатинский стратотип среднерусского надгоризонта, признанный в качестве регионального эталона.

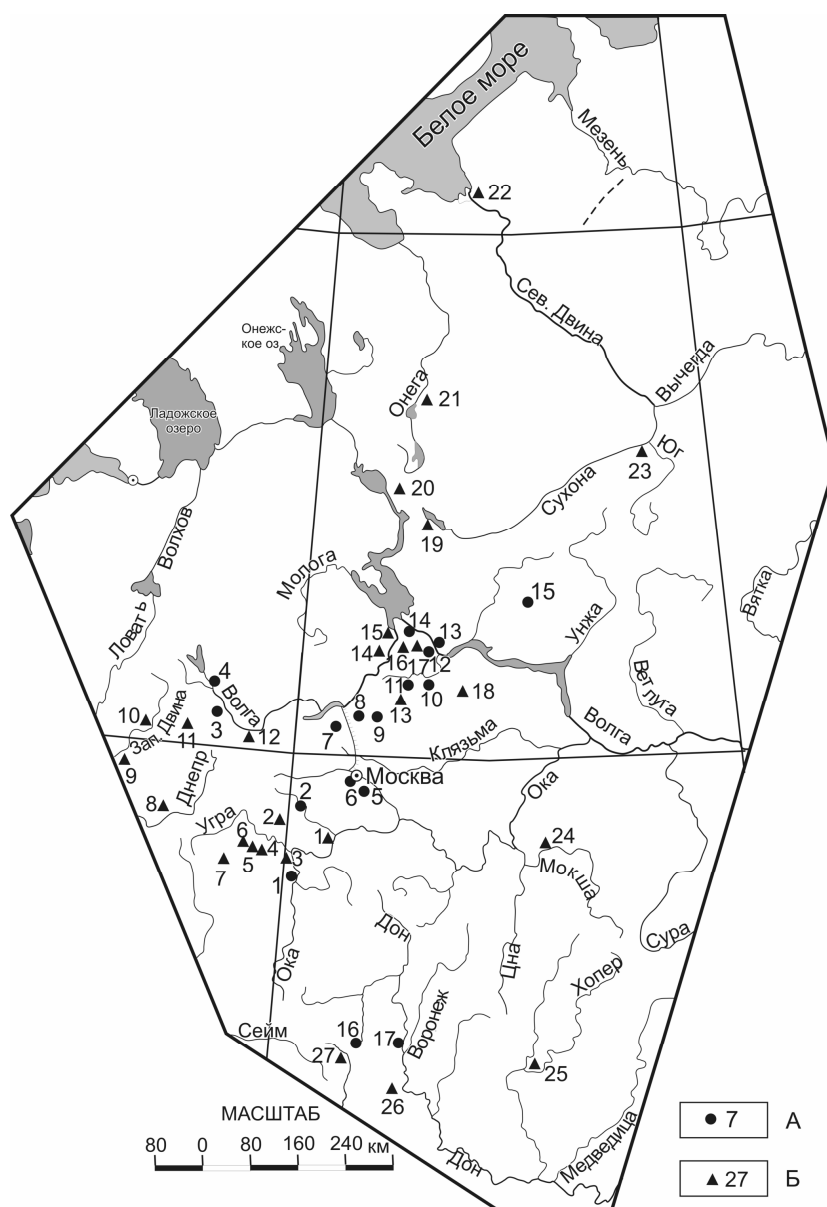


Рис. 1. Схема расположения опорных разрезов неоплейстоцена в Центральном регионе Восточно-Европейской равнины.

А – опорные районы и группы разрезов: 1 – Чекалин, 2 – Боровск-Сатино, 3 – Молодой Туд, 4 – Манухино, 5 – Москва, 6 – Строгино, 7 – Спас-Каменский, 8 – Дмитров, 9 – Кунья, 10 – Ростов-Неро, 11 – Черемошник-Шурскол, 12 – Ярославль, 13 – Тутаев-Долгополка, 14 – Рыбинск-Черменино, 15 – Галич-Горки, 16 – Стойлинский карьер, 17 – Стрелицкий карьер.

Б – опорные разрезы: 1 – Таруса, 2 – Мятлево, 3 – Бряньково, 4 – Мещевск, 5 – Мосальск, 6 – Рессета, 7 – Спас-Деменск, 8 – Ярцево, 9 – Каспля, 10 – Смоленский Брод, 11 – Козлово-Берега, 12 – Вазуза-Зубцов, 13 – Плещеево озеро, 14 – Алтыново, 15 – Шестихино, 16 – Большое Село, 17 – Печегда, 18 – Бибирево, 19 – Молочное, 20 – Ферапонтово, 21 – Каргополь, 22 – Онега, 23 – Великий Устюг, 24 – Нароватово, 25 – Новохоперск, 26 – Урыв, 27 – Лебединский.

В Чекалинском разрезе в полном объеме представлен лихвинский стратотип (стратиграфически выше окской морены, залегающей поверх нижнеоплейстоценового аллювия). Лихвинские отложения перекрыты сложно построенной пачкой речных, озерных, водно-ледниковых осадков, вмещающих впервые выделенные калужский и чека-

линский горизонты [16, 18]. В днепровской части стратиграфической колонки острую полемику вызывает стратиграфическая позиция и палеогеографическая представительность калужского интервала. По поводу неоднозначной трактовки калужских слоев в Чекалинском разрезе следует еще раз подчеркнуть решительное возражение необоснованной подмене (в некоторых стратиграфических схемах) днепровского ледникового горизонта (МИС 8) калужскими слоями, которые заведомо его древнее и не соизмеримы по хронологическому объему (330–320 тыс.л.н.) и масштабности изменения палеогеографической обстановки. Что касается стратиграфической позиции верхней чекалинской морены, залегающей непосредственно на перигляциальных отложениях с лемминговой фауной среднего неоплейстоцена, изученной А.К.Агаджаняном [12], то установленный диагностический комплекс минералого-петрографических показателей позволяет уверенно сопоставлять её с днепровской мореной по собственным данному ареальному стратотипу особенностям состава.

На днепровском тилле залегает погребенная аллювиальная свита с ископаемой почвой в бортах долины. Эта полигенетическая толща венчается покровным комплексом лёссовидных суглинков с двумя ископаемыми почвами – мезинским педокомплексом и брянской почвой [10, 12, 19].

В связи с дискуссионностью вопросов стратиграфии среднего неоплейстоцена особого внимания заслуживают комплексные исследования опорных и стратотипических разрезов, включающих днепровский и московский горизонты, для которых Центральный регион служит ареальным стратотипом. Среднеоплейстоценовый возраст днепровско-московского ледникового комплекса надежно установлен в ряде ключевых разрезов (Сатино, Таруса, Строгино-Очаковка (Москва), Кунья, Рыбинск и др.) по согласующимся литостратиграфическим и биостратиграфическим дан-

Отн.отм., м

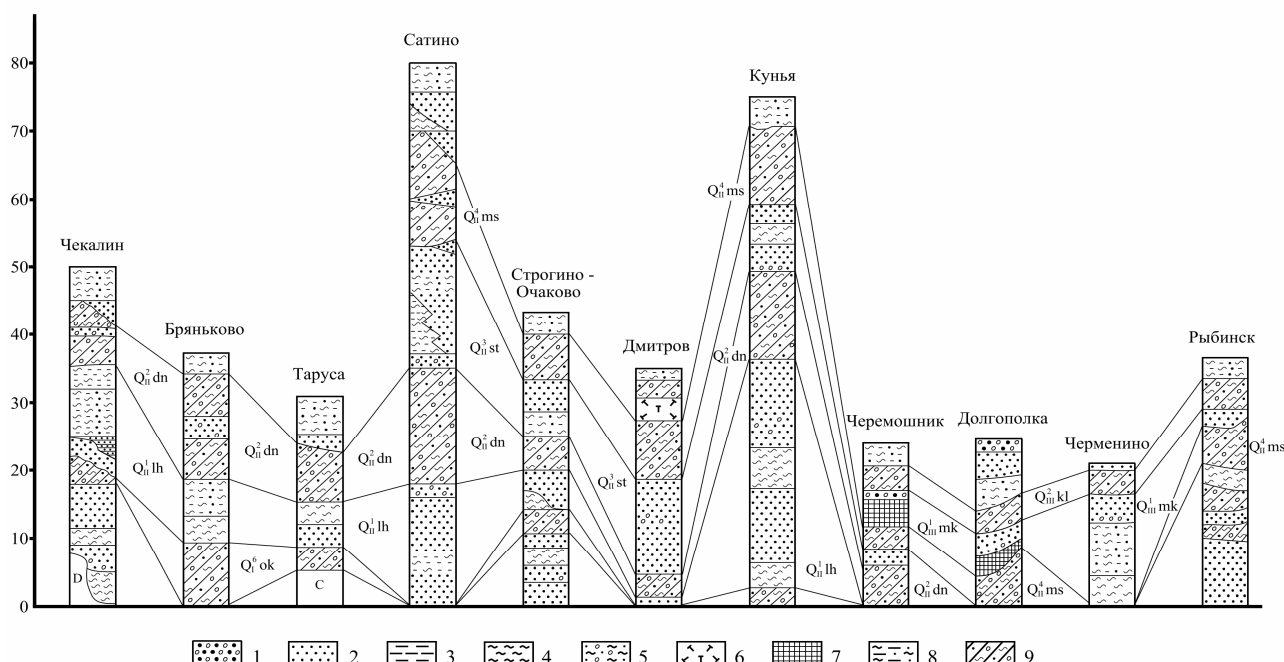


Рис. 2. Сопоставление ледниковых горизонтов в опорных разрезах Центра Русской равнины по линии Верхняя Ока – Ярославское Поволжье.

1 – гравий, галька, 2 – песок, 3 – алеврит, 4 – глина, 5 – суглинок, 6 – торф, 7 – гиттия, 8 – суглинок покровный безвалунный, 9 – суглинок валунный (морена).

ным под контролем геохронологии (рис. 2). Одна из приоритетных задач – поиск и детальное изучение разделяющего днепровскую и московскую морены межледникового горизонта, в связи с проблемой признания самостоятельности соответствующих среднеплейстоценовых оледенений. Ранее отмечалось [20], что на Сатинском полигоне Е.М. Малаевой впервые получены прямые палинологические доказательства существования межледниковых ландшафтно-климатических условий при накоплении озерно-аллювиальной толщи, разделяющей днепровский и московский ледниковые горизонты, когда господствовала растительность смешанных лесов со значительной (до 16–20%) примесью широколиственных пород в оптимуме потепления. Значительная мощность вмещающих аллювиальных и озерных отложений при их широком площадном распространении в бассейне р. Протвы [21] дает основание для признания регионального значения этого термохрона, названного сатинским [6].

В представительном разрезе в бассейне р. Кунья (Загорская ГАЭС), вскрывающем сложно построенную 50-метровую толщу, включая три ледниковых горизонта, получены биостратиграфические доказательства среднеплейстоценового возраста двух верхних тиллов (московского и днепровского), залегающих на лихвинских осадках [22, 23].

Минералого-петрографические критерии расчленения и корреляции отложений ледникового комплекса разработаны на основе установленных закономерностей пространственной изменчивости показателей и обобщения массового аналитического материала [12, 16]. Количественные параметры этих показателей уточнены в результате получен-

ной новой дополнительной информации [10, 24]. Широко распространенные в Центральном регионе маркирующие горизонты днепровской и московской морен имеют контрастные литологические характеристики, что обусловлено кардинальной перестройкой палеогеографических условий, господствующего направления движения потоков, питающих провинций и режима ледникового литогенеза. Это предопределяет различия разновозрастных минералого-петрографических спектров, а именно возрастание в московском тилле эрратического материала из Фенноскандинавии (табл. 1).

По сумме геологических, геоморфологических, литологических и биостратиграфических данных под контролем палеомагнитных и геохронологических в Центральном регионе надежно обосновано двукратное оледенение в среднем неоплейстоцене. В среднерусском надгоризонте уверенно выделяются два ледниковых горизонта – днепровский (310–270 тыс.л.н. – МИС 8) и московский (220–150 тыс.л.н. – МИС 6), отвечающих самостоятельным оледенениям. Они разделяются сатинским межледниковым горизонтом [25]. О самостоятельности днепровского и московского оледенений свидетельствуют также: значительный временной интервал двух ледниковых этапов и разделяющей их межледниковой эпохи и выявленная кардинальная перестройка гляциальной обстановки этих оледенений с различным господствующим направлением потоков.

Изучение краевых образований московского оледенения позволило обосновать выделение морены раннемосковской стадии, среднемосковских межстадиальных озерных слоев и верхнемосков-

Таблица 1

**Сравнительная характеристика диагностических и корреляционных показателей
среднеплейстоценовых морен в центральном округе Русской равнины**

Стратиграфические подразделения ледниковых горизонтов		Диагностические признаки								Намагниченность	ТЛ и РТЛ даты, тыс.л.н.	Возрастные рубежи ледниковых горизонтов, тыс.л.н.	МИС
		Гранулометрические		Минералогические		Петрографические		Объемный вес, г/см ³	Магнитная восприимчивость, X·10 ⁶ (СГС)				
		d, мм	S ₀	Основная Формула, %	K _n	Ориентировка обломков	Экзотические породы, %						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Московский Q _{II} ⁴ ms	А	0,95	0,14	P ₂₀ Г ₁₉ И ₁₀ Э ₇	1,4	СЗ-ЮВ ССЗ-ЮЮВ	20-36	1,85	10-15 15-25		157-196 168-221 180-220	150	6
	Б	0,6	0,13	P ₂₇ Э ₁₇ Г ₁₄ И ₁₀	1,3	ССЗ-ЮЮВ	30,5	1,91	20-26	+ n=130		220 270	
Днепровский Q _{II} ² dn	А	0,7	0,16	Г ₂₂ P ₂₀ И ₁₅ Э ₅ + Си, Су, Гл	1,0	СВ-ЮЗ	2-10 до 24		5-15		275-310		8
	Б	0,5	0,15	Э ₁₅ P ₁₂ Г ₁₁ И ₁₀	0,9	СВ-ЮЗ	24,5	1,99	10-20	- n=102	260-308	310	

Примечания.

Среднестатистические показатели вещественного состава и свойств морен рассчитаны по данным: Н.Н. Кузьминой, Л.Ф. Окишевой (1, 2); Н.Г. Судаковой (3, 4); С.С. Карпухина, С.П. Евдокимова (5, 6); А.И. Введенской (7); С.С. Фаустова, В.А. Большакова (8); В.И. Трухина (9); В.К. Власова, Л.Т. Восковской, В.А. Ильичева, О.А. Куликова (10, 11) – более 60 дат.

Принятые сокращения и прочие обозначения: А – западные и центральные районы в Ладожском секторе оледенений, Б – восточные районы в Онежском и Беломорском секторах оледенений; d, мм – средневзвешенный диаметр, S₀ – коэффициент сортировки; в основной формуле руководящих минералов: Р – роговая обманка, Г – гранат, Э – эпидот, И – ильменит, Си – сидерит, Су – сульфиды, Гл – глауконит, K_n – коэффициент питающих провинций; намагниченность: + – прямая и – – обратная, n – объем выборки; даты, тыс.л.н. – тысяч лет назад; МИС – изотопно-кислородные стадии.

ской морены, отвечающей более поздней подвижке ледникового покрова [10]. При этом краевые образования ранней калужской стадии (с ТЛ датировками 221–213 тыс.л.н.) коррелируются с Петровской грядой Ярославского Поволжья, а краевой комплекс боровской стадии (с ТЛ датировками 170–168 тыс.л.н.) соответствует икшинской стадии центрального сектора.

В Северном регионе проведено комплексное изучение отложений среднего неоплейстоцена в береговых обнажениях и скважинах Тимано-Печоро-Вычегодского региона и северо-запада европейской России на юге Архангельской и севере Вологодской областей (рис. 3).

На большей части территории региона чирвинский (лихвинский) межледниковый горизонт вскрыт скважинами, где представлен континентальными (аллювиальными и озерными) отложениями, приуроченными к погребенным долинам и заполняющими эрозионные врезы в помусовских (окских) и более древних осадках. Мощности их существенно меняются – от 10 до 64 м, достигая максимальных значений в бассейне Лаи и на крайнем северо-востоке региона – до 90 м. Незначительные мощности (до 14 м) чирвинские отложения имеют на Пай-Хое, минимальные – фиксируются на нижней Печоре в скв. 301-Кушшор (11 м) и на междуречье Пинеги и Илеша (10 м). В бассейне р. Шапкиной чирвинский горизонт сложен прибрежно-морскими осадками мощностью 40,2 м, залегающими в пределах абс. отметок плюс 10 – минус 30 м.

Крайне редко чирвинские отложения вскрываются в береговых обнажениях, где их мощность не превышает 1–4,6 м. При отсутствии в них остатков мелких млекопитающих принадлежность отложений к чирвинскому горизонту определяется по характерным палинологическим спектрам лихвинского (чирвинского) типа, а также на основании согласного залегания на них печорского (днепровского) тилла. В единичных случаях, например, в обн. 248 в районе с. Усть-Цильма, чирвинский возраст горизонта установлен положением его под печорским тиллом, датированным костными остатками мелких млекопитающих. Кроме того, в торфяниках, подстилающих печорский горизонт, содержатся эндокарпии рдеста красноватого, характерного для лихвинских (чирвинских) флор [26].

Спорово-пыльцевые комплексы чирвинского типа выделены и изучены в межледниковых осадках, лежащих в основании среднеплейстоценового комплекса, в разрезах нижней Печоры, Сев. Двины, Вычегды [27], Колвы [28], на побережье Хайпудырской губы [29], на Пай-Хое [30].

Печорский ледниковый горизонт датирован по стратиграфическому положению – залеганию между чирвинскими и родионовскими отложениями, охарактеризованными соответствующими спорово-пыльцевыми спектрами, и по остаткам копытных леммингов, содержащихся в верхних перигляциальных осадках на Вычегде, где их эволюционный уровень развития отвечает позднепечорским популяциям [31].

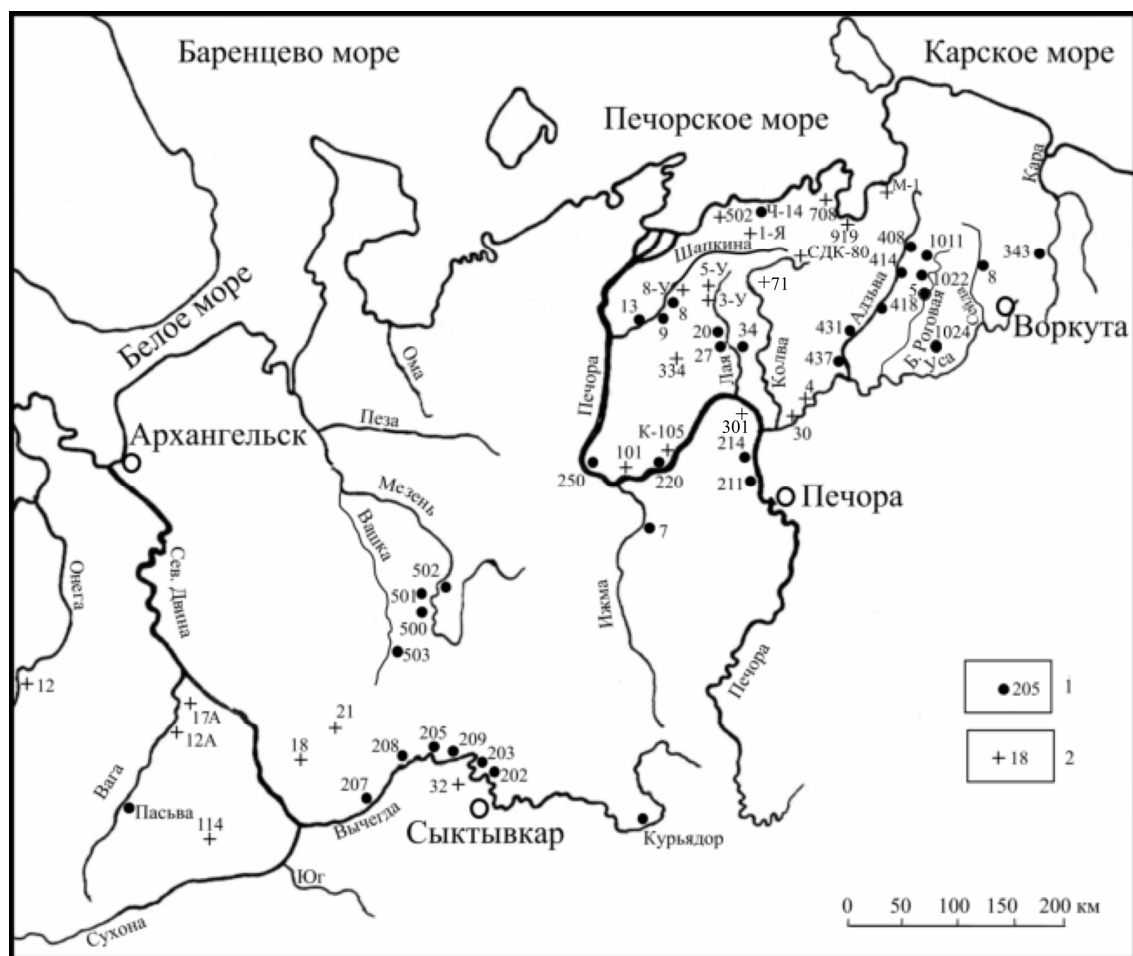


Рис. 3. Схема расположения обнажений и скважин в Северном регионе Восточно-Европейской равнины. 1 – обнажения, 2 – скважины.

Печорский тилл и генетически связанные с ним отложения вскрыты многочисленными скважинами на нижней Печоре, в бассейнах Лаи и Колвы. Отложения печорского возраста также выступают в цоколях береговых разрезов Лаи, Сейды, Печоры, Ижмы, Вычегды. На крайнем севере региона, в бассейнах рек Черной, Шапкиной, Адзвы, Б.Роговой печорский горизонт лишь иногда вскрывается в разрезах береговых обнажений, обычно он залегает ниже уезов рек. Видимая мощность печорского тилла в регионе не превышает 5–6 м. К югу она увеличивается и на широтном отрезке р. Печоры составляет 10–20 м, в отдельных случаях достигает 40 м. В скважинах подошва печорского горизонта находится на абс. отметках плюс 15 – минус 60 м, а мощность варьирует от 10 до 75 м.

Наиболее полно литология печорского тилла изучена в береговых обнажениях и скважинах рек Черной, Шапкиной, Лаи, Адзвы, Сейды, Печоры и в бассейне Сев. Двины на юге Архангельской области. Результаты изучения литологического состава печорского тилла приведены в табл. 2. Для мелкозема печорского тилла характерны низкая степень сортированности ($S_c=0,13-0,19$) и изменчивость гранулометрического состава ($d_{cp}=0,12-0,70$ мм), связанная с грансоставом подстилающих пород. Состав тяжелых минералов печорского лед-

никового горизонта отражает особенности минерального состава пород питающих провинций: удаленных, транзитных и местных. Особенность печорского тилла состоит в постоянном присутствии в составе тяжелой фракции пирита и сидерита, а в легкой – глауконита, характерных для образований триаса, юры и мела, подстилающих отложения квартера практически на всей территории исследований. Суммарные концентрации этих минералов различны, но наблюдается их устойчивое соотношение: во всех разрезах сохраняется тенденция доминирующей роли сидерита над пиритом (табл. 2).

В петрографическом спектре обломков пород из печорского тилла весьма существенно содержание местных подстилающих терригенных пород. На севере и в западной части региона на меловые и юрские песчаники и алевролиты приходится 30–46% всех обломков, а в восточной (в долинах Адзвы, Б. Роговой, Сейды и на средней Печоре) обломки пород доледникового ложа песчаников – гравелиты и алевролиты перми и триаса – составляют 35–40%. Количество известняков и доломитов иногда достигает половины всех обломков. Характерной же особенностью печорского тилла является преобладание осадочных и метаморфических образований полярноуральско-пайхойского происхождения и постоянное присутствие единичных об-

Таблица 2

Литологические критерии расчленения и корреляции среднеоплейстоценовых тиллов на европейском Севере России

Район	Индекс горизонта	Петрографический состав, %						Руководящие валуны, другие характерные породы	Ориентировка обломков	Характерные минеральные ассоциации и минералы, %	Средний диаметр $d_{ср.}$, мм	Кэфф. сортировки S_r
		Группы пород										
		I	II	III	IV	V	VI					
В	$Q_{II}^4 v\check{s}$	15	25	22	15	12	11	Изверженные породы Фенноскандинавии, тиманские базальты с агатами, опоки, мергели, оранжевые песчаники перми	ЗСЗ-ВЮВ	$\mathcal{E}_{25} A_{16} \Gamma_{16} C_{12} П_8 И_6$	0,017	0,17
	$Q_{II}^2 p\check{s}$	20	20	33	12	5	9	Розовые криноидно-мшанковые известняки с Новой Земли. Преобладают темноокрашенные известняки и местные породы	ССВ-ЮЮЗ	$\mathcal{E}_{28} C_{16} \Gamma_{15} A_{11} П_9 И_6$	0,012	0,19
Г	$Q_{II}^4 v\check{s}$	14	14	26	20	14	12	Породы Полярного и Приполярного Урала: амфиболиты, пироксениты, перидотиты, кварциты и кварцитопесчаники девона и ордовика	ВСВ-ЗЮЗ	$\mathcal{E}_{31} C_{12} И_{10} \Gamma_{10} П_9 A_8$	0,021	0,12
	$Q_{II}^2 p\check{s}$	11	29	23	17	7	13	Новоземельские розовые криноидно-мшанковые известняки. Доминируют местные светлоокрашенные известняки карбона	СВ-ЮЗ	$\mathcal{E}_{25} C_{17} П_{16} И_8 \Gamma_9 A_8$	0,026	0,13
Д	$Q_{II}^4 v\check{s}$	15	13	19	22	15	18	Породы Полярного и Приполярного Урала: амфиболиты, пироксениты, перидотиты, кварциты и кварцитопесчаники девона и ордовика	ВСВ-ЗЮЗ	$\mathcal{E}_{36} A_{17} \Gamma_{12} C_7 П_4 И_4$	0,030	0,11
	$Q_{II}^2 p\check{s}$	19	18	27	11	10	15	Новоземельские розовые криноидно-мшанковые известняки	ССВ-ЮЮЗ	$\mathcal{E}_{37} C_{19} \Gamma_{13} И_8 A_6 П_5$	0,039	0,15
Е	$Q_{II}^4 v\check{s}$	14	20	37	14	4	11	Доминируют светлоокрашенные карбонатные породы	ЗСЗ-ВЮВ	$\Gamma_{25} \mathcal{E}_{21} A_{21} И_9$	0,031	0,17
	$Q_{II}^2 p\check{s}$	24	9	37	15	4	11	Преобладают темноокрашенные известняки и доломиты	ССВ-ЮЮЗ	$\Gamma_{21} \mathcal{E}_{21} A_{15} C_9 И_9 П_6$	0,019	0,19

Таблица 2 (окончание)

Район	Индекс горизонта	Петрографический состав, %						Руководящие валуны, другие характерные породы	Ориентировка обломков	Характерные минеральные ассоциации и минералы, %	Средний диаметр $d_{ср.}$, мм	Кэфф. сортировки S_s
		Группы пород										
		I	II	III	IV	V	VI					
Ж	$Q_{II}^4 v\check{c}$	6	50	8	17	4	15	Преобладают светлоокрашенные известняки	ЗСЗ-ВЮВ	$\Gamma_{17} A_{16} \Xi_{14} \Pi_{13} C_{11} I_8$	0,035	0,14
	$Q_{II}^2 p\check{c}$	4	17	43	9	9	19	Доминируют местные пермские мергели, опоки, полимиктовые песчаники, кремнистые породы	ССВ-ЮЮЗ	$C_{24} \Gamma_{13} \Xi_{11} \Pi_{11} A_7 I_6$	0,070	0,19
З	$Q_{II}^4 v\check{c}$	12	35	19	12	14	6	Кристаллические породы Фенноскандинавии. Тиманские базальты с агатами	ЗСЗ-ВЮВ	$A_{40} \Gamma_{20} \Xi_{19} I_3 \Pi_3 C_2$	0,027	0,11
	$Q_{II}^2 p\check{c}$	23	11	32	12	9	13	Новоземельские розовые криноидно-мшанковые известняки	ССВ-ЮЮЗ	$\Xi_{22} C_{17} \Gamma_{15} A_{13} \Pi_9 I_6$	0,031	0,13
И	$Q_{II}^4 ms (v\check{c})$							В шлифах: лейкократовые сростки кварца и полевого шпата из гранитов и гнейсов, обломки андезитов, метадиабазов, измененных метаморфических пород		$A_{31} \Gamma_{23} \Xi_{14} I_{10} \Pi_6$	0,033	0,14
	$Q_{II}^2 dn (p\check{c})$							В шлифах: обломки магматических и метаморфических пород, сростки кварца и полевого шпата из гранитов и гранитогнейсов		$\Gamma_{22} A_{19} \Xi_{17} \Pi_{15} I_{14}$	0,030	0,1621

В – Черная, нижняя Печора; Шапкина, Колва; Г – Адзъя, Сейда, Б. Роговая; Д – средняя Печора; Е – Ижма; Ж – Удора (междуречье Мезени и Вашки); З – Вычегда+скв. 21; И – Архангельская и Вологодская области.

I – палеозойские темно-серые и черные известняки и доломиты, II – палеозойские светло-серые и белые известняки, III – корские и нижнемеловые терригенные породы (местные), IV – терригенные породы перми и триаса (транзитные), V – магматические и метаморфические породы (дальнеприносные), VI – кварциты и кварцитопесчаники (дальнеприносные).

ломков розовых мраморовидных криноидно-мшанковых известняков ордовик-раннесилурийского возраста – руководящих новоземельских пород. В качестве еще одной особенности печорского тилла необходимо отметить выдержанную ориентировку длинных осей обломков с северо-северо-востока на юго-юго-запад ($340-60^\circ$) на большей части изученной территории. В восточной части Тимано-Печоро-Вычегодского региона обломки пород ориентированы в секторе $20-60^\circ$.

Таким образом, вещественный состав, петрографические особенности обломочного материала, наличие руководящих новоземельских известняков, а также ориентировка обломочного материала в печорском ледниковом горизонте свидетельствуют о поступлении терригенного материала в печорское время со стороны Пай-Хоя–Новой Земли.

Родионовские межледниковые отложения изучены наиболее детально. Залегание их между датированными по остаткам мелких млекопитающих верхнепечорскими и нижневычегодскими отложениями, а также весьма характерные спорово-пыльцевые спектры позволяют отнести время их формирования к родионовскому межледниковью. Мощность родионовских межледниковых отложений составляет до 30 м, а в ряде скважин, где они представлены комплексом морских осадков, имеют мощность около 70 м [32]. Морские отложения родионовского возраста также вскрыты на междуречье рек Лаи и Серчейю на абс.отметках 45–55 м и в береговых обнажениях р. Шапкиной. Подошва родионовских пресноводных осадков в пределах Печорской низменности лежит на абс.отметках 40–85 м, морских – на отметках до минус 50 м.

По палинологическим данным, родионовские межледниковые отложения выделены в 14 разрезах. Кроме обн. 211-Родионово на нижней Печоре, являющегося стратотипом родионовских слоев, они установлены в скв. 341 на междуречье рек Лаи и Юрьяхи в центре Большеземельской тундры [33], на правобережье Лаи в ее среднем течении (обн. 20), на р.Адзьве близ ее устья (обн. 437), на нижней Вычегде в обн. 205-Усть-Пожег [27], в обн. 21 в среднем течении р. Шапкиной [34], в северо-западном Притиманье в скв. 502 и 3 [35], в скв. 21 на междуречье Пинеги и Илеши [36], в скв. 611 в бассейне р. Колвы [28], в обн. 8 на р. Сейде [37], а также в скважинах 114, 12А-1, 17А-3 на северо-западе европейской России [38].

В верховьях Вычегды у с. Деревянск аллювиальные отложения, вскрытые скважинами между печорским и вычегодским тиллами, палинологически изучены Л.Д. Никифоровой. Характер спорово-пыльцевых спектров межледниковых осадков отражает два потепления, разделенные отчетливо выраженным похолоданием [39]. Эти потепления, вероятно, соответствуют двум климатическим оптимумам родионовского (шкловского) межледниковья.

С экзарационным контактом вычегодский ледниковый горизонт, представленный тиллом и генетически связанными с ним образованиями, залегает на родионовских межледниковых отложениях, а иногда непосредственно на печорском ледни-

ковом горизонте. Вычегодский тилл развит существенно шире печорского: он плащеобразно покрывает долины рек и междуречья, часто является рельефообразующим, слагает средние и верхние части разрезов береговых обнажений и вскрыт многочисленными скважинами. Мощность вычегодских отложений в береговых обнажениях колеблется от нескольких до 35 м, а в скважинах до 50 и более.

В ряде разрезов вычегодский тилл лежит между перигляциально-аллювиальными отложениями, датированными по коренным зубам копытных леммингов, что достаточно надежно свидетельствует о формировании тилла в вычегодское время (рис. 4). Ранневычегодский возраст перигляциальных отложений определен микротериологическим методом на нижней Печоре в обнажениях Кипиево и Чулей, в обн. Шапкина-IV на р. Шапкиной, в обнажениях Лая-III, Лая-IV и Серчейю-I на реках Лае и Серчейю [40]. Верхневычегодские перигляциально-аллювиальные отложения, перекрывающие тилл, установлены на р. Черной [41] и на нижней Печоре [42–44]. Геологическая позиция его между родионовским и сулинским горизонтами с соответствующими палинологическими спектрами также подтверждает вычегодский возраст тилла, чему не противоречат и термолуминесцентные датировки, полученные в процессе совместных работ по российско-норвежскому проекту “ПЕЧОРА”. В обн. 1107 на р. Шапкиной возраст подстилающих тилл морских песков составляет 230 ± 20 тыс. лет, а перекрывающих его озерных песков и алевроитов, – 130 ± 12 тыс. лет. Залегание тилла между этими датированными толщами вполне однозначно указывает на его вычегодский возраст.

Принадлежность тилла к вычегодскому горизонту подтверждается также результатами комплексного литологического исследования: проанализировано огромное количество проб из береговых обнажений и скважин в Тимано-Печорском регионе, на юге Архангельской и севере Вологодской областей [45–48]. Гранулометрический состав вычегодских ледниковых отложений определяется относительным постоянством, о чем свидетельствуют незначительные вариации среднего диаметра: d_{cp} меняется от 0,027 до 0,035 мм, и низкой степенью сортированности мелкозема ($S_c=0,11-0,17$).

В минеральном составе тяжелой фракции вычегодского тилла средние содержания амфибола и граната в большинстве районов несколько повышены по сравнению с печорским. Пирит и сидерит присутствуют в ничтожных количествах, их соотношения изменчивы. Глауконит представлен более мелкими зернами, чем в печорском тилле, и содержится его в несколько раз меньше: до 15-20 зерен на стандартный петрографический шлиф. Однако различия по составу тяжелых минералов не позволяют проводить достоверное расчленение и надежную корреляцию среднеледниковых ледниковых горизонтов. На территории исследования широко развиты однообразные по минералогии мезозойские породы, ассимилируя которые мореносодержащий лед утратил черты своей индивидуальности, приобретенные в начале движения из

Отн. отм., м

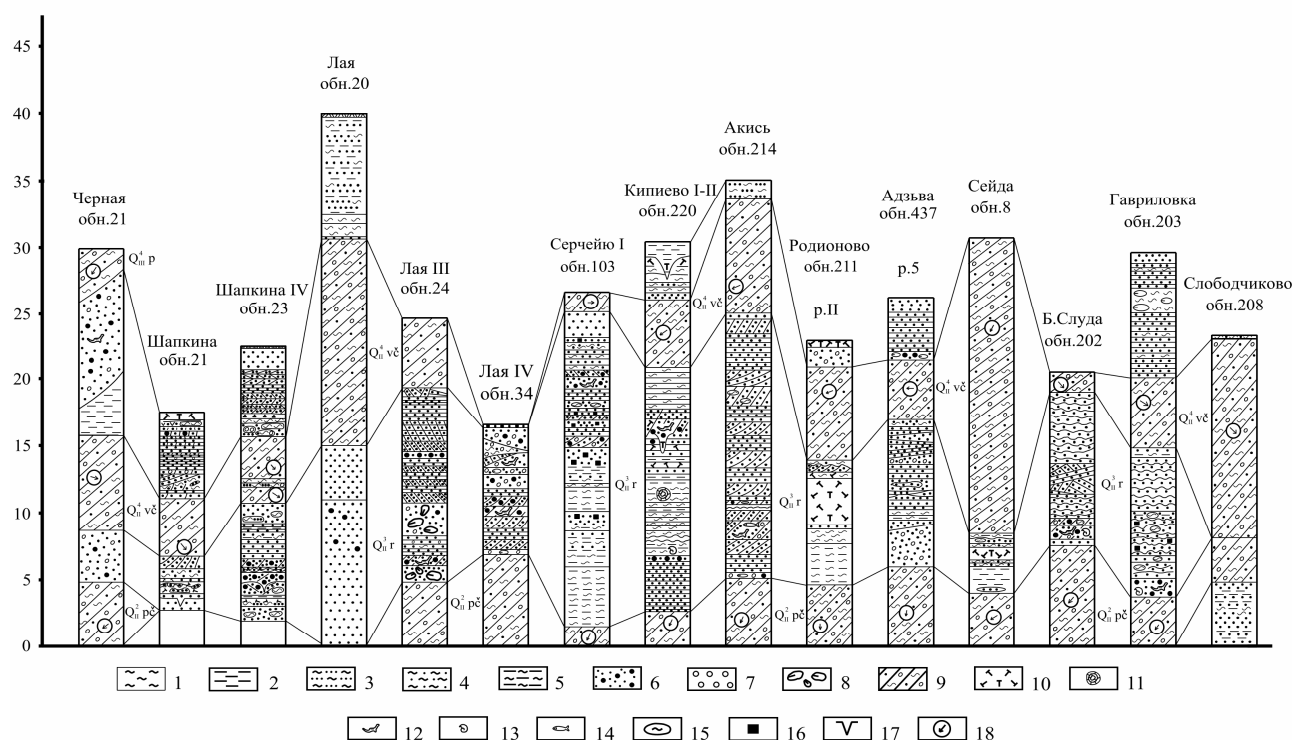


Рис. 4. Корреляция ледниковых горизонтов в опорных разрезах среднего неоплейстоцена на Севере Русской равнины.

1 – песок с гравием, 2 – галька 3 – валуны, 4 – алевроит, 5 – глина, 6 – супесь, 7 – суглинок, 8 – алевроит глинистый, 9 – тилл, 10 – торф, 11 – остатки древесины, 12 – фауна мелких млекопитающих, 13 – раковины моллюсков и фораминифер, 14 – кости рыб, 15 – окатыши глин, 16 – обломки каменного угля, 17 – псевдоморфозы по морозобойным клиньям, 18 – ориентировка обломков пород.

центров оледенения. Но в южных районах Тимано-Печоро-Вычегодского региона и на северо-западе европейской России печорский и вычегодский тиллы резко отличаются один от другого по составу тяжелых минералов. И поскольку различия эти выдержаны в пределах значительных по площади участков, минеральный состав тяжелой фракции тиллов приобретает здесь важное стратиграфическое и палеогеографическое значение (табл. 2).

На севере и в центральной части Тимано-Печорского региона вычегодский тилл содержит в целом больше крупнообломочного материала, и он крупнее, чем в тилле печорского возраста. Содержание обломков карбонатных пород в вычегодском горизонте больше (40–45%), чем в печорском, где они составляют 30–34%. В вычегодском тилле повсеместно отмечаются обломки кристаллических пород фенноскандинавского происхождения, на долю которых приходится до 20%. Представлены они гнейсами, гранитогнейсами, гранитами, амфиболитами, габброидами и их метаморфическими разновидностями. Отмечаются также нефелиновые сиениты и агатсодержащие базальты с Северного Тимана, которые можно рассматривать в качестве руководящих. Удлиненные обломки ориентированы с запада-северо-запада на восток-юго-восток, что в комплексе с петрографическим составом пород свидетельствует о поступлении терригенного материала из Фенноскандинавии и Северного Тимана. Таким образом, оба тилла существенно различают-

ся по петрографическому составу обломков пород и их ориентировке, что однозначно указывает на формирование каждого из них за счет различных питающих провинций.

Восточная часть района исследований, включающая крайний северо-восток европейской России (долины рек Адзвы, Б. Роговой и Сейды) и бассейн средней Печоры, в вычегодское время была ареной развития ледника, располагавшегося в районе Полярного и Приполярного Урала [45, 48, 49]. Ориентировка удлиненных обломков, направленная с востока на запад (80–105°), подтверждает участие Урала в формировании вычегодского тилла.

Заключение

В методическом плане особого внимания заслуживает перспективность реализации программы межрегиональной литологической корреляции ледниковых горизонтов на основе прогнозного литолого-палеогеографического районирования древнеледниковой области с учетом установленных закономерностей формирования состава морен (зональной, посекторной и провинциальной изменчивости) при условии соблюдения соответствующих правил субширотной и субмеридиональной корреляции маркирующих горизонтов. Корректное использование показателей состава морен для установления закономерностей его изменчивости в зависимости от смены обстановки литогенеза может служить обоснованием правомерности фациально-

генетической, провинциально-геологической и ландшафтно-климатической их интерпретации и палеогеографических реконструкций.

Выполненная межрегиональная корреляция ледниковых событий среднего плейстоцена, основанная на сравнительном анализе тщательно выверенных комплексных характеристик маркирующих горизонтов, подтверждает единое для двух регионов исследования закономерное проявление ледниковой ритмики (табл. 3). В результате проведенного исследования обосновано выделение двух самостоятельных среднеледниковых оледенений со стадиями.

днепровский (печорский) и московский (вычегодский) тиллы на обширной территории от верховий Волги и Оки до Большеземельской тундры.

Аргументированные выше выводы по расчленению и корреляции маркирующих горизонтов, получившие комплексное обоснование, могут служить основанием для внесения уточнений в стратиграфическую шкалу среднего неоплейстоцена и соответствующей корректировки региональных стратиграфических схем. В составе среднерусского надгоризонта предлагается выделение днепровского – печорского (МИС-6) и московского – вычегодского (МИС-8) ледниковых горизонтов, разделенных са-

Таблица 3

Сопоставление стратиграфических подразделений среднего неоплейстоцена центра и севера Русской равнины

Шкала абсолютного возраста (тысячи лет назад)	Звено неоплейстоцена	Центр				Север				
		Надгоризонт	Горизонт		Времен- ные рубе- жи (тысячи лет назад)	Изотопно- кислородные стадии	Надгоризонт	Горизонт	Изотопно- кислородные стадии	
150— 200— 250— 300— 350— 400— 450—	Верхнее		Микулинский		—150 —180 —200 —220 —270 —310 —320 —340 Лихвинский —460	5е		Сулинский	5е	
	Среднее	Среднерусский	Московский	Верхний		6	Тимано-Уральский	Вычегодский	6	
				Средний					7	
				Нижний				8		
				Сатинский				9	Печорский	8
			Днепровский					10		
			Чекалинский					11	Чирвинский	11
			Калужский							
			Лихвинский							
			Нижнее	Окский				12	Коми-пермский	Помусовский

По совокупности диагностических признаков днепровский ледниковый горизонт Центрального региона уверенно сопоставляется с печорским горизонтом Северного региона, а московский – с вычегодским [10, 15]. Сопоставляющиеся между собой биостратиграфические, литостратиграфические и геохронологические данные однозначно свидетельствуют о самостоятельности этих среднеледниковых оледенений. Установленный выдержанный диагностический комплекс показателей состава, свойственный ареальным стратотипам, позволяет достаточно уверенно коррелировать

тинским – родионовским – горкинским (МИС-7) межледниковым горизонтом, надежно подтверждающим самостоятельность соответствующих среднеледниковых оледенений.

Литература

1. Алексеев М.Н., Габлина С.С., Горецкий К.В. и др. Стратиграфия и геологические события среднего и позднего плейстоцена Подмосковья // Четвертичная геология и палеогеография России. М.: ГЕОС, 1997. С. 15–24.

2. Величко А.А., Писарева В.В., Фаустова М.А. Современное состояние концепции покровных оледенений // Проблемы палеогеографии и стратиграфии плейстоцена. М., 2011. Вып. 3. С. 21–33.
3. Заррина Е.П. Четвертичные отложения северо-западных и центральных районов Европейской части СССР. Л.: Недра, 1991. 187 с.
4. Марков К.К. Опорные разрезы новейших отложений. Методология, проблемы, выводы // Константин Константинович Марков. Москва-Смоленск: Изд-во Маджента, 2005. С. 249–264.
5. Москвитин А.И. Опорные разрезы плейстоцена Русской равнины. М.: Наука, 1976. 240 с.
6. Рычагов Г.И., Судакова Н.Г., Антонов С.И. Ледниковая ритмика среднего плейстоцена Центра Русской равнины (по материалам Сатинского страторайона) // Вестник Моск. ун-та, серия 5. География. 2007. № 4. С. 15–22.
7. Шик С.М. О границах распространения ледников в центральной части Европейской России // Бюлл. Комиссии по изуч. четверт. периода. М.: ГЕОС. 2010. № 70. С. 100–107.
8. Решение 2-го Межведомственного стратиграфического совещания по четвертичной системе Восточно-Европейской платформы. Л., 1986. 155 с.
9. Борисов Б.А. Об изменении уровня нижней границы четвертичной системы и уточнении возраста ее основных подразделений // Региональная геология и металлогения. СПб., 2010. № 41. С. 26–31.
10. Реконструкция палеогеографических событий среднего неоплейстоцена Центра Русской равнины. М.: МГУ, 2008. 167 с.
11. Шик С.М., Борисов Б.А., Заррина Е.П. Проект межрегиональной стратиграфической схемы неоплейстоцена Европейской России // Бюлл. Комиссии по изуч. четверт. периода. М.: ГЕОС. 2004. № 65. С. 102–114.
12. Разрезы отложений ледниковых районов Центра Русской равнины / Под ред. акад. К.К. Маркова. М.: Изд-во МГУ, 1977. 198 с.
13. Андреичева Л.Н., Немцова Г.М., Судакова Н.Г. Среднеплейстоценовые морены Севера и Центра Русской равнины. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. 83 с.
14. Проблемы стратиграфии четвертичных отложений и палеогеографии Ярославского Поволжья / Отв. ред. Ю.А. Лаврушин и И.А. Чистякова. М.: ГЕОС, 2001. 158 с.
15. Andreicheva L.N., Sudakova N.G. Problems of correlation of the Middle Pleistocene events in the northeastern and central Russian Plain as related to modernization of the regional stratigraphic schemes // The materials of International Workshop "Correlation of Pleistocene Events in the Russian North". SPb, 2006. P. 6.
16. Судакова Н.Г. Палеогеографические закономерности ледникового литогенеза. М.: Изд-во МГУ, 1990. 159 с.
17. Шик С.М. О проекте уточненной стратиграфической шкалы неоплейстоцена и голоцена центра Европейской России // Материалы VII Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода "Квартер во всем его многообразии". Апатиты, 2011. С. 317–320.
18. Судакова Н.Г. Новое о лихвинском стратотипе // ДАН СССР. 1975. Т. 221. №1. С. 168–171.
19. Судакова Н.Г., Писарева В.В., Маркова А.К. Климато-стратиграфические подразделения окско-днепровского этапа в Центре и на Юге Восточно-Европейской равнины на основе сравнительного анализа литостратиграфических, палинологических и палеотериологических данных // Фундаментальные проблемы квартера: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований. М.: ГЕОС, 2007. С. 400–404.
20. Антонов С.И., Малаева Е.М., Рычагов Г.И., Судакова Н.Г. Климато-стратиграфические подразделения московского горизонта юго-западного Подмоскovie // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2000. Т. 8. № 3. С. 100–112.
21. Комплексный анализ среднечетвертичных отложений Сатинского учебного полигона / Под ред. Г.И. Рычагова и С.И. Антонова. М.: Изд-во МГУ, 1992. 128 с.
22. Лазуков Г.И., Судакова Н.Г., Фаустов С.С. Анализ ледниковых отложений Клиноско-Дмитровской возвышенности в связи с проблемами стратиграфии и палеогеографии // Новейшая тектоника, новейшие отложения, человек. М.: Изд-во МГУ, 1982. С. 86–101.
23. Боярская Т.Д., Немцова Г.М., Судакова Н.Г. К стратиграфии и палеогеографии плейстоцена Клиноско-Дмитровской возвышенности (разрез на р. Кунье) // Природа-население-хозяйство. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 1983. С. 61–64.
24. Судакова Н.Г. Актуальные вопросы межрегиональной корреляции ледниковых горизонтов. Литологическая концепция // Бюлл. Комиссии по изуч. четверт. периода. М.: ГЕОС, 2008. № 68. С. 50–58.
25. Судакова Н.Г., Рычагов Г.И., Антонов С.И. Актуальные проблемы стратиграфии и палеогеографии среднего неоплейстоцена Центра Русской равнины // Геологические события неогена и квартера России. М.: ГЕОС, 2007. С. 86–90.
26. Гуслицер Б.И., Лосева Э.И. Верхний кайнозой Печорской низменности. Сыктывкар, 1979. 44 с. (Сер. препринтов "Науч. докл." / АН СССР, Коми фил. Вып. 43).
27. Дурагина Д.А., Коноваленко Л.А. Палинология плейстоцена северо-востока европейской части России. СПб.: Наука, 1993. 124 с.
28. Лосева Э.И., Дурагина Д.А., Андреичева Л.Н. Средний плейстоцен центральной части Большеземельской тундры // Фанерозой европейского Севера России. Сыктывкар, 1992. С. 113–123. (Тр. Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН; Вып. 75).
29. Лосева Э.И., Дурагина Д.А. Расчленение четвертичной толщи в районе Хайпудырской

- губы по данным спорово-пыльцевого и диатомового анализов // Стратиграфия и палеоэкология палеозоя и кайнозоя Северо-Востока европейской части СССР. Сыктывкар, 1987. С. 4–16. (Тр. Ин-та геологии Коми НЦ УрО АН СССР; Вып. 62).
30. *Дулягина Д.А.* Климат и растительность чирвинского (лихвинского) межледниковья крайнего Северо-Востока европейской части СССР // Палинологические таксоны в биостратиграфии: Тез. докл. V Всесоюз. палинол. конф. Ч.1. М., 1985. С. 71–73.
 31. *Кочев В.А.* Определение возраста четвертичных отложений по ископаемым остаткам копытных леммингов. Сыктывкар, 1984. 16 с. (Сер. препринтов “Новые науч. методики” / АН СССР. Коми фил.; Вып. 12).
 32. *Лосева Э.И.* Атлас морских плейстоценовых диатомей европейского Северо-Востока СССР. СПб.: Наука, 1992. 272 с.
 33. *Лосева Э.И., Дулягина Д.А.* Плейстоценовые отложения юга Большеземельской тундры (междуречье Лаи и Юрьяхи) // Фанерозой Севера европейской части СССР. Сыктывкар, 1980. С. 96–117. (Тр. Ин-та геологии Коми фил. АН СССР; Вып. 33).
 34. *Гуслицер Б.И., Дулягина Д.А., Кочев В.А.* Возраст рельефообразующих морен в бассейне нижней Печоры и граница распространения последнего покровного ледника // Расчленение и корреляция фанерозойских отложений европейского Севера СССР. Сыктывкар, 1985. С. 97–107. (Тр. Ин-та геологии Коми фил. АН СССР; Вып. 54).
 35. *Лосева Э.И., Дулягина Д.А.* Расчленение четвертичной толщи в северо-западном Притиманье // Биостратиграфия фанерозоя Тимано-Печорской провинции. Сыктывкар, 1989. С. 62–74. (Тр. Ин-та геологии Коми НЦ УрО АН СССР; Вып. 73).
 36. *Андреичева Л.Н., Коноваленко Л.А.* Строение и условия формирования плейстоценовых отложений в юго-западном Притиманье // Биостратиграфия фанерозоя Тимано-Печорской провинции. Сыктывкар, 1989. С. 75–84. (Тр. Ин-та геологии Коми НЦ УрО АН СССР; Вып. 73).
 37. *Андреичева Л.Н., Дулягина Д.А.* Новые данные по стратиграфии среднего плейстоцена Печорской низменности // Геология и минеральные ресурсы европейского Северо-Востока России: новые результаты и новые перспективы: Материалы XIII геол. съезда Республики Коми. Т. II. Сыктывкар, 1999. С. 184–187.
 38. *Андреичева Л.Н., Марченко-Вагапова Т.И.* Развитие природной среды и климата в антропогене на северо-западе России. Сыктывкар: Геопринт, 2004. 42 с.
 39. *Московский ледниковый покров* Восточной Европы. М.: Наука, 1982. 238 с.
 40. *Кочев В.А.* Плейстоценовые грызуны Северо-Востока Европейской части России и их стратиграфическое значение. СПб.: Наука, 1993. 112 с.
 41. *Андреичева Л.Н., Кочев В.А., Дулягина Д.А.* Стратиграфическое расчленение плейстоцена севера Большеземельской тундры // Рациональное комплексирование литологических исследований ледниковых формаций. Сыктывкар, 1991. С. 6.
 42. *Исайчев К.И.* Ископаемые грызуны из галечников над верхней мореной в бассейне нижней Печоры // Геология и полезные ископаемые Северо-Востока европейской части СССР: (Ежегодник-1974). Сыктывкар, 1975. С. 93–98.
 43. *Гуслицер Б.И.* Возраст валунных суглинков и межморенных отложений в районе с. Кипиево (нижняя Печора) по данным изучения костей грызунов // Геология и полезные ископаемые Северо-Востока европейской части СССР: Ежегодник-1972. Сыктывкар, 1973. С. 71–77.
 44. *Агаджанян А.К., Исайчев К.И.* Лемминг среднего плейстоцена в разрезе у с. Кипиево (Коми АССР) // Проблемы общей физической географии и палеогеографии. М.: Изд-во МГУ, 1976. С. 278–299.
 45. *Андреичева Л.Н.* Основные морены европейского Северо-Востока России и их литостратиграфическое значение. СПб.: Наука, 1992. 125 с.
 46. *Андреичева Л.Н.* Плейстоцен европейского Северо-Востока. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 323 с.
 47. *Андреичева Л.Н.* Литологическая характеристика разновозрастных горизонтов тиллов на северо-западе России // Материалы VI Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода “Фундаментальные проблемы квартера: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований”. Новосибирск, 2009. С. 35–37.
 48. *Андреичева Л.Н.* Литология верхне-среднеплейстоценовых тиллов на крайнем северо-востоке Европейской России // Литология и полезные ископаемые. 2012. № 3. С. 285–296.
 49. *Кузнецова Л.А.* Плейстоцен Печорского Приуралья. Казань, 1971. 122 с.

Статья поступила в редакцию 29.07.2013.

УДК 552.4:552.1(234.851)

ПЕТРОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД ПОЛИМЕТАМОРФИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ СЕВЕРА УРАЛА

Т.А. ПОНОМАРЕВА, А.М. ПЫСТИН

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

Изучены и проанализированы физические свойства полиметаморфических образований севера Урала. Выявлены закономерности распределения плотности и магнитной восприимчивости в разрезах однотипных полиметаморфических комплексов. По результатам петрофизических исследований, проведенных с целью установления дополнительных диагностических признаков в породах полиметаморфических комплексов севера Урала, установлено три различных – сильно-, средне- и слабодифференцированных петрофизических разрезов, отличающихся друг от друга как латеральной изменчивостью, так и вертикальной дифференциацией физических свойств.

Ключевые слова: петрофизическая характеристика, физические свойства, плотность, магнитная восприимчивость, полиметаморфические комплексы

T.A. PONOMAREVA, A.M. PYSTIN. PETROPHYSICAL CHARACTERISTIC OF ROCKS OF POLYMETAMORPHIC ASSEMBLAGES IN THE NORTH OF THE URALS

Physical properties of polymetamorphic rocks in the north of the Urals were studied and analyzed. Certain regularities of distribution of density and magnetic susceptibility of rocks in the sections of similar polymetamorphic assemblages were revealed. As a result of petrophysical investigations, aimed to find additional diagnostic characters in the polymetamorphic rocks in the north of the Urals, three different types of petrophysical sections were revealed – strongly, medium and weakly differentiated. These types of sections differ from each other vertically and laterally by the petrophysical properties of rocks.

Keywords: petrophysical characteristic, physical properties, density, magnetic susceptibility, polymetamorphic assemblages

Введение

Геологическая интерпретация геофизических полей с целью изучения глубинного строения территории невозможна без широкого использования различных геологических и петрофизических данных о составе и физических свойствах пород, слагающих тот или иной район исследований. Любые изменения в физических характеристиках пород, связанные с особенностями геологического строения региона исследований, как следствие, неизбежно находят свое отражение в характерных особенностях физических полей. Ставя перед собой задачу выполнения качественной и количественной интерпретации грави- и магнитометрических данных с целью установления особенностей глубинного строения Приполярного и Полярного Урала, нами видится необходимость изучения, прежде всего, плотностных и магнитных свойств глубинных образований коры, одними из которых являются породы полиметаморфических комплексов.

Методика определения физических свойств горных пород

Данные о физических свойствах горных пород севера Урала получены при исследовании образцов, отобранных авторами в процессе полевых наблюдений; часть из них любезно предоставлена научными сотрудниками Института геологии Коми НЦ УрО РАН, а также использована из фондовых работ и научных публикаций [1–5]. Изучение плотностных и магнитных свойств горных пород проводилось нами в лабораторных условиях. Плотность пород определялась путем взвешивания образцов в воздухе и воде и далее рассчитывалась по формуле:

$$\sigma = \frac{m}{m - m_1} \text{ г/см}^3,$$

где m – масса образца в воздухе, численно равна его весу, m_1 – то же – в воде.

Исследования магнитных свойств пород проводились индукционным методом измерения маг-

нитной восприимчивости горных пород с помощью прибора KAPPABRIGE KLY-2 с высокой точностью (погрешность составляет 0.2–1%). Измеряемая величина, связанная с изменением потока магнитной индукции, пропорциональна кажущейся магнитной восприимчивости пород (α). Магнитная восприимчивость измеряется в диапазоне от 0.02 до $200 \cdot 10^{-6}$ СГС.

Петрофизические особенности пород полиметаморфических комплексов севера Урала

Полиметаморфические комплексы Урала и северной половины Урала, в частности, различаются по вещественному составу, структурам и особенностям метаморфизма пород. На севере Урала выделяются гнейсо-мигматитовые, эклогитсодержащие (эклогит-гнейсовые и эклогит-сланцевые) и гранулит-метабазитовые комплексы [6]. Все они относятся к образованиям нижнедокембрийского структурного этажа и интерпретируются как тектонически перемещенные фрагменты древнего кристаллического основания приуральской части Восточно-Европейского кратона, вовлеченные в структуру уралита [5, 7].

При этом упомянутые выше фрагменты кристаллического основания (полиметаморфические комплексы), по-видимому, не испытывали существенных латеральных перемещений в процессе экзугмации. Во всяком случае, их современное пространственное размещение хорошо согласуется со структурами дорифейского фундамента прилегающей с запада платформенной областью (рис. 1).

Плотностные и магнитные свойства пород перечисленных выше типов полиметаморфических комплексов приведены в таблице и на рис. 2.

Гнейсо-мигматитовые комплексы характеризуются преобладанием в разрезе гнейсов и кристаллических сланцев субаркозового состава при подчиненном значении амфиболитов, амфиболсодержащих сланцев, а также мраморов и кварцитов. Им свойственен брахиформный стиль складчатости и умеренно-барический тип метаморфизма пород, ранние этапы которого достигали условий амфиболитовой и, возможно, гранулитовой фаций.

На Приполярном Урале к подобным образованиям относится **няртинский комплекс**, составляющий ядро Хобеинской антиклинали в северной части Ляпинского антиклинория, в пределах Кожимского поперечного поднятия. Комплекс представлен двумя толщами: нижней – амфиболито-гнейсовой (мощность 500 м) и верхней – плагиогнейсово-сланцевой (мощность 700 м).

Нижняя толща сложена светло-серыми и зеленовато-серыми гнейсами и кристаллическими сланцами, переслаивающимися с амфиболитами и амфибол-слюдистыми кристаллическими сланцами. Плотность пород нижней толщи имеет следующие значения (рис. 2, т. 1–3): $2.68\text{--}3.26$ г/см³ при $\sigma_{\text{ср}}$, равной 2.92 г/см³ у амфиболитов; $2.64\text{--}3.15$ г/см³ при $\sigma_{\text{ср}}$, равной 2.87 г/см³ у амфиболовых гнейсов;

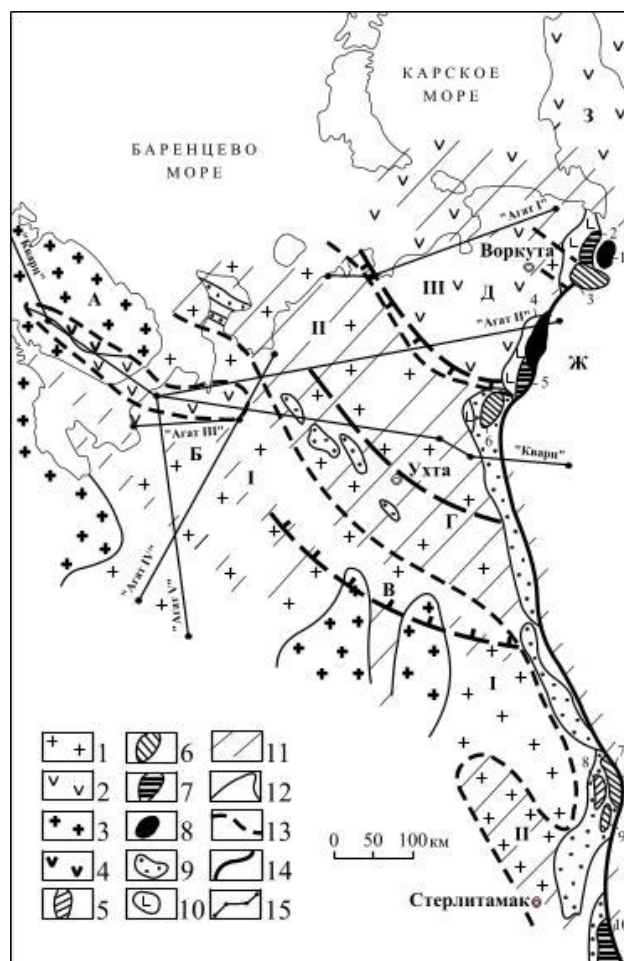


Рис.1. Схема строения дофанерозойской литосферы европейского Северо-Востока (Запорожцева, Пыстин, 1994).

1, 2 – области распространения дорифейского кристаллического основания: 1 – нормального профиля, 2 – меланократового профиля (сокращенная мощность или отсутствие гранито-гнейсового подкомплекса; 3 – гранито-гнейсовые; 4 – существенно метабазитовые; 5–8 – дорифейские полиметаморфические комплексы западного склона Урала: 5 – гнейсо-гранулитовые, 6 – гнейсо-мигматитовые, 7 – эклогит-амфиболит-гнейсовые и эклогит-сланцевые, 8 – гранулит-метабазитовые; 9, 10 – рифейские комплексы Тимана и западного склона Урала: 9 – существенно терригенные, 10 – вулканогенно-осадочные и интрузивные; 11 – участки с повышенной мощностью рифейских отложений; 12 – 14 – границы: 12 – блоков фундамента, выступающих на дневную поверхность или залегающих вблизи от нее, 13 – блоков фундамента, различающихся по мощности или составу дофанерозойских образований, 14 – западная граница Восточно-Уральского геоблока – Главный уральский разлом; 15 – линии профилей ГСЗ-МОВЗ; А – Ж – наименования геоблоков: А – Кольский, Б – Мезенский, В – Волго-Уральский, Г – Ижма-Баренцевский, Д – Печорский, Е – Северо-Баренцевский, Ж – Восточно-Уральский. Раннедокембрийские метаморфические комплексы (цифры на схеме): 1 – малькский, 2 – марункеуский, 3 – харбейский, 4 – хордьюсский, 5 – неркаюский, 6 – няртинский, 7а – восточно-уфалейский, 8 – тараташский, 9 – александровский, 10 – максютовский.

Физические свойства пород

№	Породы	Кол-во образцов	Плотность	Кол-во образцов	Магнитная восприимчивость
			Средние значения σ , г/см ³		Средние значения α , $\text{н} \times 10^{-6}$ СГСМ
Няртинский гнейсомигматитовый комплекс					
1	Амфиболиты	69	2.92	69	7
2	Амфибол-слюдистые сланцы	12	2.82	—	—
3	Амфиболовые гнейсы	20	2.87	109	45
4	Двуслюдяные гнейсы	6	2.64	6	180
5	Гранат-биотитовые гнейсы	11	2.69	—	—
6	Кварциты, слюдисто-кварцевые сланцы	14	2.79	14	392
Харбейский гнейсомигматитовый комплекс					
7	Амфиболиты	10	2.97	10	33
8	Амфиболиты рассланцованные	26	3.10	-	-
9	Гнейсы	53	2.68	53	24
10	Гнейсы рассланцованные	17	2.83	-	-
11	Гранитогнейсы	39	2.61	39	100
Неркаюский эклогит-сланцевый комплекс					
12	Амфиболовые, эпидот-глаукофановые, альбит-эпидот-хлорит-актинолитовые сланцы	22	2.94	22	796
13	Эпидот-гранатовые амфиболиты	18	2.99	18	450
14	Эклогиты	20	3.32	20	107
15	Гранат-слюдяные кристаллические сланцы	44	2.73	44	107
16	Хлорит-мусковит-альбит-кварцевые сланцы	23	2.72	23	320
Марункеуский эклогит-гнейсовый					
17	Эклогиты	3	3.14	3	2476
18	Амфиболиты	23	3.03	23	43
19	Очковые гнейсы	11	2.68	-	-
20	Амфиболитовые гнейсы	10	2.65	10	3
21	Мигматиты	46	2.85	46	5
22	Кварциты	5	2.7	5	16
Хордъюсский гранулит-метабазитовый комплекс					
23	Гранулиты основного состава	5	2.97	5	50
24	Гранат-глаукофановые сланцы	6	2.87	6	28
25	Эпидот-глаукофановые сланцы	8	2.94	8	27
25 ^a	Эпидот-альбит-хлорит-актинолитовые сланцы	5	2.94	5	26
26	Амфиболиты	17	3.0	17	31
Малыкский гранулит-метабазитовый комплекс					
27	Двупироксеновые кристаллосланцы (гранулиты основного состава)	70	2.97	146	3556
28	Амфиболиты	135	3.0	115	402
29	Амфиболитизированные гранулиты основного состава	162	3.12	151	36

Примечание. Таблица составлена Т.А.Пономаревой с использованием собственных и опубликованных данных, а также материалов Комигеолфонда: 1-6 – Цымбалюк и др., 1979; Пыстин и др., 1986; 7-9 – Берлянд и др., 1976; Афанасьев и др., 1984; Ананьева и др., 1983; 15-19 – Лакс и др., 1969; Афанасьев и др., 1984; Лыжорова, 1997; 10-14 – Пыстин и др., 1981; Лыжорова, 1997; 15-19 – Берлянд, 1976; Афанасьев и др., 1984; Лыжорова, 1997; 20-24 – Пыстин и др., 1982; Пыстин, 1994; 25-27 – Уколова и др., 1991; Иванов, 1997.

2.67–2.90 г/см³ при $\sigma_{\text{ср}}$ равной 2.82 г/см³ у амфибол-слюдистых кристаллических сланцев.

Верхняя толща представлена светло-серыми гранат-слюдистыми гнейсами и кристаллическими сланцами с маломощными прослоями амфиболитов, амфиболсодержащих кристаллических сланцев, а также кварцитов и мраморов. Плотность пород верхней толщи: 2.62–2.68 г/см³ при $\sigma_{\text{ср}}$, равной 2.64 г/см³ у двуслюдяных гнейсов; 2.62–2.81 г/см³ при $\sigma_{\text{ср}}$, равной 2.69 г/см³ у гранатсодержащих биотитовых гнейсов; 2.61–2.79 г/см³ у кварцитов и слюдисто-кварцевых сланцев при средней плотности 2.7 г/см³ (рис.2, т. 4–6).

Таким образом, породы нижней толщи няртинского комплекса характеризуются более высокими значениями плотности – 2.82–2.92 г/см³ – по сравнению с верхней, где этот показатель варьиру-

ет в пределах 2.64–2.79 г/см³. Дефицит плотности между верхней и нижней толщами няртинского комплекса составляет 0.13–0.18 г/см³.

Повышенная плотность разреза нижней толщи определяется тем, что, во-первых, здесь в сравнении с верхней толщей выше доля амфиболитов и, во-вторых, породы в меньшей степени (опять же из-за существенной роли пород основного состава) подвержены процессам гранитизации.

Магнитная восприимчивость амфиболитов и гнейсов варьирует в пределах от 7 до 180 $\times 10^{-6}$ СГС. Повышенными магнитными свойствами отличаются кварциты и слюдисто-кварцевые сланцы, у которых $\alpha_{\text{ср}}$ равна 392 $\times 10^{-6}$ СГС (см. таблицу). Магнитная восприимчивость в однотипных породах не меняется по разрезу, но учитывая, что существенно кварцевые породы приурочены к верхней части наблю-

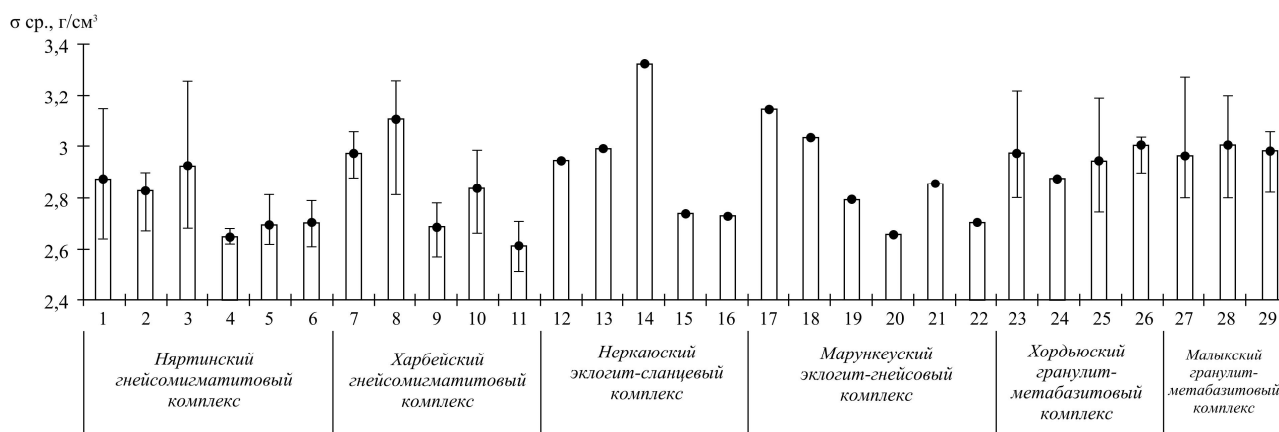


Рис.2. Гистограммы распределения плотности пород полиметаморфических комплексов севера Урала. Условные обозначения: 1 – амфиболиты, 2 – амфибол-слюдистые сланцы, 3 – амфиболитовые гнейсы, 4 – двуслюдяные гнейсы, 5 – гранатсодержащие биотитовые гнейсы, 6 – кварциты и слюдисто-кварцевые сланцы, 7 – амфиболиты, 8 – рассланцованные амфиболиты, 9 – гнейсы, 10 – рассланцованные гнейсы, 11 – гранито-гнейсы, 12 – амфиболовые, эпидот-глаукофановые и альбит-эпидот-хлорит-актинолитовые сланцы, 13 – эпидот-гранатовые амфиболиты, 14 – эклогиты, 15 – мезократовые и лейкократовые гранат-слюдяные кристаллические сланцы, 16 – хлорит-мусковит-альбит-кварцевые сланцы, 17 – эклогиты, 18 – амфиболиты, 19 – очковые гнейсы, 20 – амфиболитовые гнейсы, 21 – мигматиты, 22 – кварциты, 23 – клинопироксенитовые и двупироксенитовые кристаллосланцы (гранулиты основного состава), 24 – гранат-глаукофановые сланцы, 25 – эпидот-глаукофановые сланцы, 25^a – эпидот-альбит-хлорит-актинолитовые сланцы, 26 – амфиболиты, 27 – двупироксенитовые кристаллосланцы, 28 – амфиболиты, 29 – амфиболитизированные гранулиты основного состава. На гистограммах черточками обозначены min и max значениями плотности (1–11, 27–29), а черными кружочками – средние значения.

даемого разреза, среднее значение $\bar{\sigma}$ выше в породах верхней толщи.

На Полярном Урале в пределах Собского поперечного поднятия выделяется *харбейский гнейсо-мigmatитовый комплекс*. Он расположен в южной части Харбейского антиклинория и составляет одноименный тектонический блок. В разрезе харбейского комплекса снизу вверх выделяют три свиты [8]: 1) лаптаюганская свита (1300 м), сложенная равномерно-зернистыми биотитовыми и гранатовыми амфиболитами, амфибол-биотитовыми, слюдяными и амфиболовыми гнейсами; 2) ханмейхойская свита (2200 м), представленная альбитовыми и гранатсодержащими амфиболитами, двуслюдяными, гранат-слюдяными гнейсами с линзами слюдистых и железистых кварцитов; 3) париквасьшорская свита (1500 м), состоящая из слюдяных, двуслюдяных, амфибол-слюдяных гранатсодержащих высокоглиноземистых кристаллических сланцев и дистен-ставролит-гранатовых сланцев.

Плотность пород, слагающих нижнюю часть харбейского комплекса (лаптаюганская и ханмейхойская свиты), имеет следующие значения: 2.88–3.06 г/см³ при $\sigma_{\text{ср}}$ равной 2.97 г/см³ у амфиболитов; 2.81–3.26 г/см³ при $\sigma_{\text{ср}}$, равной 3.1 г/см³ у измененных (рассланцованных) амфиболитов (рис. 2, т. 7, 8); 2.57–2.78 г/см³ при $\sigma_{\text{ср}}$, равной 2.68 г/см³ у гнейсов; 2.66–2.99 г/см³ при $\sigma_{\text{ср}}$, равной 2.83 г/см³ у измененных (рассланцованных) гнейсов (рис.2, т.9,10); 2.51–2.71 г/см³ при $\sigma_{\text{ср}}$, равной 2.61 г/см³ у гранито-гнейсов (рис. 2, т. 11). Средние плотностные характеристики сланцев разного состава сильно варьируют: у углеродсодержащих сланцев $\sigma_{\text{ср}}$ равна 2.59 г/см³, хлорит-

серицитовых – 2.71 г/см², актинолитовых – 2.88 г/см³ и глаукофановых – 3.06 г/см³. Граница между лаптаюганской (со средней плотностью по разрезу 2.97 г/см³) и ханмейхойской (со средней плотностью по разрезу 2.83 г/см³) свитами проводится условно, по преобладанию до 70% плагиогнейсов в разрезе ханмейхойской свиты, что указывает на относительно кислый состав, в сравнении с более основной нижележащей лаптаюганской свитой. Кроме того, присутствие в разрезе тел гранито-гнейсов со $\sigma_{\text{ср}}$, равной 2.61 г/см³, также способствует понижению плотности ханмейхойской свиты. Париквасьшорская свита (со средней плотностью по разрезу 2.78 г/см³) отличается от нижележащей ханмейхойской свиты отсутствием в разрезе новообразованного гранитоидного материала, более сланцевым составом пород и степенью метаморфизма, не превышающего среднюю ступень амфиболитовой фации.

Дефицит плотности на границе лаптаюганской и ханмейхойской свит составляет 0.15 г/см³, а на границе ханмейхойской и париквасьшорской свит – 0.05 г/см³.

Магнитная восприимчивость пород харбейского комплекса в основном ограничивается небольшим диапазоном значений (см. таблицу). Гнейсы имеют относительно низкую магнитную восприимчивость – 24×10^{-6} СГС. Амфиболиты имеют спектр значений $\bar{\chi}$ от $18\text{--}47 \times 10^{-6}$ СГС у 72 % и $100\text{--}140 \times 10^{-6}$ СГС у 28 % образцов пород. Повышенные значения магнитной восприимчивости имеют только амфиболиты, отобранные из зон рассланцевания и диафтореза. Повышение магнитных свойств этих пород связано с образованием магнетита при

замещении роговой обманки актинолитом и хлоритом и граната хлоритом.

На графике сопоставления плотности и магнитной восприимчивости пород неркаюского и харбейского комплексов (рис.3, а) обнаруживается слабая, обратно пропорциональная зависимость. Она связана с двумя причинами. Во-первых, в этих комплексах широко проявились процессы низкотемпературного диафореза, с которыми связано уменьшение плотности метабазитов при одновременном увеличении их магнитной восприимчивости. И, во-вторых, из-за относительно высокой магнитной восприимчивости низкоплотных кварцитов и кварц-сланцевых сланцев.

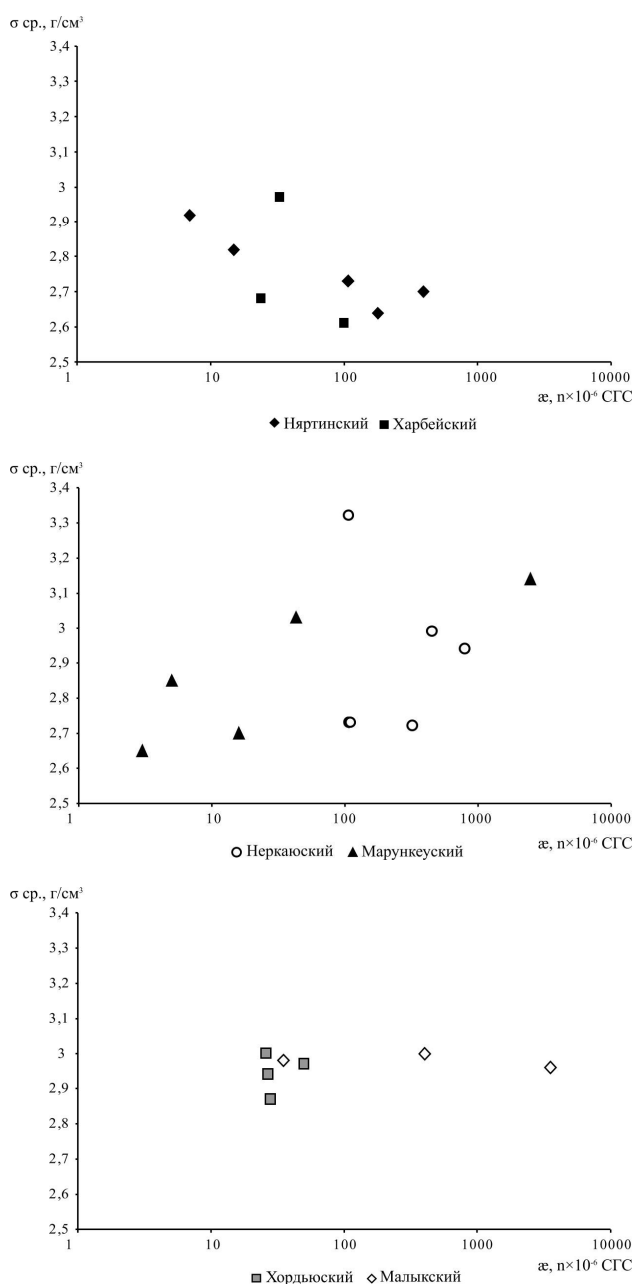


Рис. 3. Графики распределения магнитной восприимчивости и плотности пород полиметаморфических комплексов севера Урала.

Эклогитсодержащие комплексы, кроме собственно эклогитов и продуктов их метаморфического преобразования (апоэклогитовых амфиболитов, гранат-глаукофановых и глаукофановых сланцев), содержат в своем составе гнейсы и (или) кристаллические сланцы, а также другие породы. Эклогитсодержащие комплексы характеризуются линейным стилем складчатости (с северо-западной ориентировкой структур), высокобарическими условиями ранних этапов метаморфизма пород и отсутствием или слабым проявлением процессов гранитизации.

На севере Урала известно два эклогитсодержащих комплекса: неркаюский эклогит-сланцевый и марункеуский эклогит-гнейсовый.

Неркаюский эклогит-сланцевый комплекс расположен на восточном склоне Приполярье Урала в междуречье Хальмерью и Балбанью. В его составе преобладают мезо- и лейкократовые гранат-сланцевые кристаллические сланцы с переменным количеством барруазитовой роговой обманки. Эклогиты и амфиболиты составляют около 20% в разрезе комплекса. Заметную роль в строении метаморфических толщ играют также продукты средне- и низкотемпературного изменения перечисленных выше пород. Они имеют гранат-глаукофановый, эпидот-глаукофановый, актинолит-хлорит-эпидотовый и хлорит-мусковит-альбит-кварцевый состав.

Плотностная характеристика неркаюского комплекса выглядит следующим образом: $\sigma_{ср}$, равная 2.94 г/см³, отмечается у амфиболовых, эпидот-глаукофановых и альбит-эпидот-хлорит-актинолитовых сланцев; $\sigma_{ср}$, равная 2.99 г/см³, – у эпидот-гранатовых амфиболитов; $\sigma_{ср}$, равная 3.32 г/см³, – у эклогитов; $\sigma_{ср}$, равная 2.73 г/см³, – у мезократовых и лейкократовых кристаллических сланцев; $\sigma_{ср}$, – равная 2.72 г/см³, – у хлорит-мусковит-альбит-кварцевых сланцев (рис. 2, т. 12–16).

Магнитные свойства пород неркаюского комплексов имеют очень широкий спектр магнитной восприимчивости (см. таблицу). У эклогитов, амфиболитов и гранат-глаукофановых сланцев магнитная восприимчивость варьирует в пределах от 107 до 450 × 10⁻⁶ СГС. У кристаллических сланцев магнитная восприимчивость равна 107 × 10⁻⁶ СГС. Самыми высокими магнитными свойствами отличаются диафориты основного и кислого составов. У актинолит-хлорит-альбит-эпидотовых сланцев по амфиболитам и эклогитам $\alpha_{ср}$ равна 796 × 10⁻⁶ СГС, а у хлорит-мусковит-альбитовых сланцев по гнейсам – 320 × 10⁻⁶ СГС.

Марункеуский комплекс расположен к северу от харбейского комплекса и отделен от него Лонготьюганской зоной разломов. В разрезе нижняя часть марункеуского комплекса характеризуется преимущественным распространением в ее составе эклогитов и, в значительно меньшей степени, амфиболитов, гнейсов и мигматитов. Верхняя часть разреза представлена перемежающимися пачками равномернозернистых очковых амфиболитов, иногда с гранатом, биотитом и плагиогнейсов биотитовых, роговообманково-биотитовых, редко двуслюдяных гранатсодержащих. Отмечаются тела экло-

гитов. По латерали этот комплекс также неоднороден. Северо-западный его блок является более “амфиболитовым”, а юго-восточный – “эклогитовым” [9]. Петрофизические характеристики пород комплекса следующие: $\sigma_{\text{ср}} - 3.14 \text{ г/см}^3$ и $\alpha_{\text{ср}} - 2476 \times 10^{-6}$ СГС у эклогитов; $\sigma_{\text{ср}} - 3.03 \text{ г/см}^3$ и $\alpha_{\text{ср}} - 43 \times 10^{-6}$ СГС у амфиболитов; $\sigma_{\text{ср}} - 2.79 \text{ г/см}^3$ у гнейсов; $\sigma_{\text{ср}} - 2.65 \text{ г/см}^3$ у амфиболитовых гнейсов и $\alpha - 3 \times 10^{-6}$ СГС; $\sigma_{\text{ср}} - 2.85 \text{ г/см}^3$ и $\alpha - 5 \times 10^{-6}$ СГС у мигматитов; $\sigma_{\text{ср}} - 2.7 \text{ г/см}^3$ и $\alpha - 16 \times 10^{-6}$ СГС у кварцитов (рис.2, 17–22).

Средняя плотность пород марункеуского комплекса, учитывая, что он представлен, в основном, эклогитами, симплектит-эклогитами и апоэклогитовыми амфиболитами, достигает величины 3.1 г/см^3 , в то же время резко понижается до $2.72\text{--}2.78 \text{ г/см}^3$ в местах, подверженных процессам метасоматоза и гранитизации. Дефицит плотности измененных пород составляет 0.15 г/см^3 .

На графике сопоставления магнитной восприимчивости и плотности пород эклогитсодержащих комплексов (рис.3, б) наблюдается пропорциональная зависимость этих параметров. Для высокоплотностных пород характерны высокие значения α и, наоборот, породы с низкой плотностью практически не магнитны.

Гранулит-метабазитовые комплексы характеризуются существенно базитовым составом разрезом, линейной (северо-западной) ориентировкой ранних структур и высокотемпературным (гранулитовым) метаморфизмом пород.

В *хордьюсский комплекс* одним из авторов данной публикации [5] объединены выходы высокотемпературных метабазитов, слагающих два соединенных между собой массива: на хр. Хордьюс (Северохордьюсский массив) и в истоках р. Хулга (Южнохордьюсский массив). Более крупный из них Южнохордьюсский – в восточной части представлен апогаббровыми клинопироксенитовыми и двупироксенитовыми кристаллическими сланцами. В центральной части преобладают амфиболиты по гранулитам основного состава. В небольшом количестве отмечаются эклогиты. Западная часть массива сложена гранат-глаукофановыми, эпидот-глаукофановыми и эпидот-альбит-хлорит-актинолитовыми сланцами, являющимися продуктами диафтореза перечисленных выше высокотемпературных пород.

Породы хордьюсского комплекса имеют следующие значения плотностей (рис. 2, т. 23–26): $2.8\text{--}3.22 \text{ г/см}^3$ при $\sigma_{\text{ср}}$, равной 2.97 г/см^3 , у клинопироксенитовых и двупироксенитовых кристаллосланцев; $2.89\text{--}3.01 \text{ г/см}^3$ при $\sigma_{\text{ср}}$ равной 2.99 г/см^3 у амфиболитов; $\sigma_{\text{ср}} - 2.94 \text{ г/см}^3$ у гранат-глаукофановых и эпидот-альбит-хлорит-актинолитовых сланцев; $2.75\text{--}2.99$ при $\sigma_{\text{ср}}$, равной 2.87 г/см^3 , у эпидот-глаукофановых сланцев.

Породы характеризуются относительно небольшими вариациями значений магнитной восприимчивости. Среднее значение этого параметра у пироксеновых кристаллосланцев 50×10^{-6} СГС. Более низкое значение магнитной восприимчивости имеют продукты диафтореза высокотемпературных пород ($\alpha - 26\text{--}31 \times 10^{-6}$ СГС).

Малыкский комплекс расположен на восточном склоне Полярного Урала в бассейне р. Щучья. По описанию А.П. Казака [10], этот комплекс представлен гнейсо-габбро-амфиболитами, являющимися продуктами метаморфических преобразований габбро-норитов или габбро-гнейсов, которые в свою очередь являются ультравысокотемпературными метаморфическими породами (гранулитами основного состава). Пользуясь терминологией метаморфических пород (которыми и являются описываемые образования), малыкский комплекс сложен в основном двупироксеновыми кристаллосланцами и их амфиболитизированными разностями. На западе у контакта с гипербазитами массива Сыум-Кеу кристаллосланцы замещены гранатовыми и цоизитовыми амфиболитами.

Породы малыкского комплекса характеризуются следующими плотностями: $2.79\text{--}3.15 \text{ г/см}^3$ при $\sigma_{\text{ср}}$, равной 2.97 г/см^3 , у двупироксеновых кристаллических сланцев; $3.05\text{--}3.18 \text{ г/см}^3$ при $\sigma_{\text{ср}}$, равной 3.12 г/см^3 , у амфиболитизированных гранулитов основного состава; $2.88\text{--}3.12 \text{ г/см}^3$ при $\sigma_{\text{ср}}$ равной 3.0 г/см^3 у амфиболитов (рис.2, т.27–29).

Магнитная восприимчивость у двупироксеновых кристаллосланцев в малыкском комплексе существенно выше, чем в хордьюсском и варьирует в пределах $2535 \times 10^{-6}\text{--}3825 \times 10^{-6}$ ед. СГС (см. таблицу). Высокое значение α в этих породах связывается с титаномагнетитом, содержание которого достигает 7% [10]. Продукты метаморфического изменения кристаллосланцев в сравнении с исходными породами имеют магнитную восприимчивость на один-два порядка ниже ($36 \times 10^{-6}\text{--}402 \times 10^{-6}$ ед. СГС). Это может быть обусловлено замещением титаномагнетита ильменитом, а при более низкотемпературных преобразованиях – титанитом. При этом повышение содержание железа в породах отмечается при замещении пироксенов роговой обманкой и гранатом.

В целом для описанных выше пород, гранулит-метабазитовых комплексов характерно отсутствие плотностной дифференциации при широком спектре значений магнитной восприимчивости (рис.3, в).

Выводы

Результаты проведенного петрофизического исследования по изучению и выявлению корреляционных зависимостей физических свойств (плотности и магнитной восприимчивости) показали, что наиболее отчетливо породы полиметаморфических комплексов севера Урала дифференцированы по плотности. Степень плотностной дифференциации зависит от петрографических особенностей пород и, очевидно, определяется, в первую очередь, составом протолитов. Среди пород, слагающих полиметаморфические комплексы севера Урала, повышенную плотность относительно протолитов могут иметь только эклогиты (богатые породообразующим минералом, имеющим аномально высокую плотность – гранатом). Наложенные локальные процессы (гранитизация, диафторез) могут привести к некоторому снижению плотности пород. Магнитная

восприимчивость полиметаморфических образований является менее стабильной их характеристикой. Магнитные свойства пород при полиметаморфизме могут сильно изменяться. Гранитизация, как правило, приводит к снижению магнитной восприимчивости пород. Процессы низкотемпературного диафтореза чаще всего сопровождаются повышением магнитной восприимчивости метабазитов. При наложенном средне-высокотемпературном диафторезе магнитная восприимчивость метабазитов, напротив, может снижаться, как это установлено для пироксеновых кристаллосланцев малыкского комплекса.

На основании анализа степени дифференциации физических свойств пород в полиметаморфических комплексах выделяется три различных петрофизических типа разрезов: сильно-, средне- и слабодифференцированных.

Сильнодифференцированный петрофизический разрез характерен для высокобарических метаморфических комплексов (марункеуского на Полярном Урале и неркаюского на Приполярном Урале). Средние значения плотности пород находятся в интервале 2.65–3.32 г/см³. Значения плотности и магнитной восприимчивости пород имеют прямую пропорциональную зависимость. Плотность и магнитная восприимчивость в этих комплексах снижаются вверх по разрезу, что связано с увеличением доли кислых пород.

Среднедифференцированный петрофизический разрез образуют гнейсо-мigmatитовые комплексы (няртинский на Приполярном Урале и харбейский на Полярном Урале). Средние значения плотности пород – 2.61–2.97 г/см³. Плотность в гнейсо-мigmatитовых комплексах, как и в высокобарических образованиях, снижается вверх по разрезу в соответствии с увеличением доли кислых разностей, а также более интенсивным проявлением в них процессов гранитизации. Учитывая существенные различия в строении нижних и верхних частей разрезов, дефицит плотности между ними составляет от 0.13 до 0.18 г/см³. Значения плотности и магнитной восприимчивости пород обнаруживают слабую, обратно пропорциональную зависимость, что связано, в основном, с уменьшением плотности метабазитов (при одновременном увеличении их магнитной восприимчивости) при низкотемпературном диафторезе.

Слабодифференцированный петрофизический разрез свойственен гранулит-метабазитовым комплексам (хордьюсскому и малыкскому на Полярном Урале). Средние значения плотности пород – 2.94–3.12 г/см³. Отсутствие плотностной дифференциации по латерали и по разрезу позволяет при интерпретации гравитационных полей рассматривать малыкский и хордьюсский гранулит-метабазитовые комплексы как монолитные блоки. Магнит-

ная восприимчивость пород в этих комплексах не зависит от плотности. Она может варьировать в широких пределах, что связано с разным (иногда высоким, до 7.0 об. %) содержанием титаномагнетита.

Учет установленных различий в петрофизических характеристиках пород, составляющих полиметаморфические комплексы севера Урала, а также выявленные особенности закономерного изменения этих параметров при полиметаморфизме, должны послужить важной основой для повышения достоверности результатов в дальнейших исследованиях, связанных с геологической интерпретацией физических полей (гравитационного и магнитного) при изучении глубинного строения территории Севера Урала.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований РАН № 12-И-5-2-22, 12-У-5-1011.

Литература

1. *Ананьева Е.М., Горонович Е.Б. и др.* Методические рекомендации по интерпретации геофизических данных при крупномасштабном геологическом картировании. Свердловск: Урал-геология, 1983. 301 с.
2. *Ананьева Е.М., Винничук Н.Н. и др.* О плотности пород востока Урала и фундамента Западно-Сибирской платформы. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 114 с.
3. *Запорожцева И.В., Пыстин А.М.* Строение дофанерозойской литосферы европейского Северо-Востока России. СПб.: Наука, 1994. 112 с.
4. *Льюрова (Пономарева) Т.А.* Глубинное строение Полярного Урала: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Сыктывкар, 1997. 16 с.
5. *Пыстин А.М.* Полиметаморфические комплексы западного склона Урала. СПб.: Наука, 1994. 112 с.
6. *Литосфера Тимано-Североуральского региона: геологическое строение, вещество, геодинамика, минералогия / А.М. Пыстин, Л.В. Махлаев, А.И. Антошкина и др.: Сыктывкар: Геопринт, 2008. 234 с.*
7. *Пыстина Ю.И., Пыстин А.М.* Цирконовая летопись уральского докембрия. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 168 с.
8. *Стратиграфические схемы Урала (докембрий, палеозой).* Екатеринбург, 1993.
9. *Ленных В.И.* Доуралиты зоны сочленения Восточно-Европейской платформы. Метаморфизм и тектоника западных зон Урала. Свердловск, 1984. С. 21–42.
10. *Петрология и метаморфизм древних офиолитов (на примере Полярного Урала и Западного Саяна) / Н. Л. Добрецов, Ю. Е. Молдованцев, А. П. Казак и др. М.: Наука, 1977. 218 с.*

Статья поступила в редакцию 26.11.2013.

УДК 338.45:553.982.048

ВЕРОЯТНОСТЬ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО УСПЕХА НА НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ, ДОСТИГШИХ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЗРЕЛОСТИ

С.Л. САДОВ, Б.И. ТАРБАЕВ, Р.Е. АФОНИН

*Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера
Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
sadov@energy.komisc.ru*

В статье поставлена проблема оценки целесообразности продолжения геолого-разведочных работ на хорошо изученных нефтегазоносных территориях. Задача решается посредством вычисления вероятности геологического успеха с помощью метода нечётких весов.

Ключевые слова: вероятностное картирование, геологический успех, хорошо изученные нефтегазоносные территории, метод нечётких весов

S.L. SADOV, B.I. TARBAEV, R.E. AFONIN. PROBABILITY OF GEOLOGICAL SUCCESS ON WELL-RESEARCHED OIL-AND-GAS BEARING TERRAINS

The problem of the expediency evaluation of the exploration extension on well-researched oil-and-gas bearing terrains is considered. This task is solved by geological success probability calculation by means of the fuzzy weights of evidence method.

Keywords: probabilistic mapping, geological success, well-researched oil-and-gas bearing terrains, fuzzy weights of evidence method

Известный специалист по геологическим рискам П.Р. Роуз [1] под геологическим успехом понимает получение из недр притока углеводородов (УВ). Это стандартное определение фиксирует то обстоятельство, что в пределах геологического объекта существует возможность открытия залежи нефти или газа при условии, что в его границах наличествуют пористые и проницаемые породы, нефтематеринские образования, флюидоупоры и ловушки, способные сохранять УВ в виде скоплений.

Когда речь идёт о значительных по размерам территориях, где месторождения нефти и газа образуют «семейства» и где имеет место общность геологических характеристик, целесообразно воспользоваться понятием «плей» [2]. Оно подразумевает не только известное сходство геолого-геофизических параметров среды, но и единство правил поисковой стратегии. И если перед исследователями стоит задача оценки вероятности геологического успеха в рамках плей, они прежде всего должны объективно оценить степень обследованности территории.

Геологический успех не обязательно совпадает с коммерческим и тем более с экономическим, подразумевающими рентабельность освоения открытого месторождения, – за ним, прежде всего,

стоит свидетельство о наличии УВ на исследуемом объекте в виде некоторого их притока. Он может быть достигнут уже на первых стадиях обследования территории (плей), когда затраты на выявление деталей её геологического строения ещё невелики, а неопределённость весьма значительна. Иное дело, когда территория уже прошла полный цикл геолого-геофизического обследования, достигла состояния исследовательской зрелости и все явные геологические объекты типа ловушки УВ выявлены. Очевидно, что вероятность открытия новых залежей в этом случае существенно ниже, но тем не менее она существует, и для принятия решения о продолжении поисково-разведочных работ её необходимо оценить. Эта проблема весьма актуальна в связи с сокращением слабоизученных территорий и исчерпанием перспективных геологических объектов в промышленно освоенных нефтегазоносных провинциях.

Может возникнуть вопрос относительно строгого содержания понятия исследовательской зрелости. В литературе это понятие не имеет широкого распространения и обычно подменяется смысловым аналогом «хорошо изученная территория (большой геологический объект, плей)», который в той или иной степени удовлетворяет пользовате-

лей, но не имеет чёткого определения. Поэтому в порядке обсуждения вопроса можно предложить определить понятие исследовательской зрелости как такое состояние, когда в пределах территории (плея) все доступные с помощью существующих на сегодняшний день технических средств перспективные объекты типа ловушек УВ выявлены, и связанные с ними запасы УВ оценены, но потенциальные ресурсы нефти и газа не исчерпаны, и существует, по крайней мере теоретическая, возможность их перевода в запасы промышленных категорий.

Очевидно, что в случае принятия решения о проведении поисково-разведочных работ по переводу потенциальных ресурсов в запасы, в качестве первого шага необходимо оценить вероятность открытия на территории, достигшей исследовательской зрелости, новых геологических объектов типа ловушка УВ. При этом следует учитывать, что возможности традиционных поисковых методов на территориях, достигших исследовательской зрелости, крайне ограничены. Поэтому для решения поставленной задачи целесообразно использовать доступные и достаточно надёжно зафиксированные косвенные признаки, такие как дистанционные наблюдения, результаты анализа неотектонических движений, карты трансформированных гравимагнитных полей с соответствием подобранными исходными параметрами и др. Задача может быть оперативно решена при наличии электронных карт-полигонов в рамках специальных процедур, рассмотренных в работе [3].

Математическая модель предлагаемого метода рассматривает каждую достаточно большую нефтегазоносную территорию (плей) как полигон случайных опытов в пределах площади размером t км². Так, разбив его на совокупность единичных неделимых элементов d размером u км² и полагая, что каждый единичный элемент (ЕЭ) отвечает одному результату проведённого опыта, будем иметь $T = t/u$ ЕЭ, каждый из которых рассматривается как сложное событие, состоящее из простых взаимонезависимых по физической природе событий.

Тогда, если S – совокупность ЕЭ, отвечающих подтверждённым сейсморазведкой и бурением геологических объектов типа ловушка УВ, то вероятность успеха открытия такого объекта (в данном случае priorная) выразится как $P(S) = S/T$.

Чтобы реализовать потенциальные возможности нефтегазоносной территории, как уже было показано выше, целесообразно воспользоваться косвенными признаками, определив терминологически как признаки-предсказатели. Для последующих вычислительных операций их, естественно, необходимо конвертировать в цифровую форму. Это может быть двоичная модель или, при использовании правил теории нечётких множеств, троичная, когда непрерывные геофизические измерения или дискретная информация, полученная с помощью снимков из космоса, подразделяется на три базовых класса.

Процедура создания бинарной или троичной модели из X , где $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ в рамках гипо-

тезы о наличии объекта вида ловушка УВ, совокупность которых обозначена выше как S , может быть представлена как бинарная модель, включающая два подмножества: A и $\bar{A}$ с условиями $A \cup \bar{A} = X$ и $A \cap \bar{A} = \emptyset$. Численно это может быть выражено как 1 для элемента A и 0 для элемента $\bar{A}$. В случае, когда рассматривается нечёткое множество $A \subset X$, степень, с которой каждый элемент из X принадлежит A , описывается как функция $\mu_A(x)$ со следующими свойствами:

$$0 \leq \mu_A(x) \leq 1,$$

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x \in A \\ 0.5, & \text{если } x \in A \text{ или } x \in \bar{A} \\ 0, & \text{если } x \in \bar{A}, \end{cases}$$

где $A = \{x | \mu_A(x) = 1\}$ и $\bar{A} = \{x | \mu_A(x) = 0\}$, обладающие свойствами $A \cup \bar{A} \subset X$ и $A \cap \bar{A} = \emptyset$. При $\mu_A(x) = 0.5$ возникает ситуация, когда определить принадлежность объекта к состоянию A или $\bar{A}$ затруднительно, позволяя квалифицировать опыт как несостоявшийся.

Для вычисления поправки к вероятности обнаружения геологического объекта вида ловушки УВ необходимо совместить карту-полигон распространения геологических объектов вида ловушки УВ с картой-полигоном признака-предсказателя до полного совпадения границ (в общих для обоих полигонов координатах). В случае неполного соответствия границ неперекрываемая часть полигона при проведении вычислительных операций исключается.

Независимость признака-предсказателя относительно показателя, характеризующего геологические объекты вида геологическая ловушка, является необходимым условием использования принципа Байеса при вычислении поправок priorной вероятности. Поэтому операциям по их вычислению предшествует процедура проверки на независимость путём вычисления коэффициентов регрессии, представляющими разность между условными вероятностями одного события в случае наступления и в случае ненаступления другого [4]:

$$\rho_A = P(A|B) - P(A|\bar{B}), \rho_B = P(B|A) - P(B|\bar{A})$$

A и B происходят совместно при $P(B|A) = 1$ и $P(B|\bar{A}) = 0$. Коэффициент регрессии превращается в нуль только тогда, когда события A и B независимы.

При вычислении корректирующих поправок с применением принципа Байеса используется выражение

$$O(S) = \frac{P(S)}{1 - P(S)} = \frac{S}{T - S},$$

где O означает шансы.

При совмещении полигона размещения геологических объектов типа ловушка УВ с полигоном

признака-предсказателя образуются четыре области пересечения вида

$$P(S|A) = \frac{A \cap S}{A}, \quad P(\bar{S}|A) = \frac{A \cap \bar{S}}{A},$$

$$P(S|\bar{A}) = \frac{\bar{A} \cap S}{\bar{A}} \quad \text{и} \quad P(\bar{S}|\bar{A}) = \frac{\bar{A} \cap \bar{S}}{\bar{A}},$$

которые квалифицируются как соответствующие условные вероятности (в числителях и знаменателях дробей стоят площади соответствующих множеств, выраженные в ЕЭ).

Очевидно, что для вычисления поправки к априорной вероятности обнаружения геологических объектов вида ловушка УВ представляют интерес условные вероятности

$$P(S|A) = \frac{P(A|S) \cdot P(S)}{P(A)}, \quad P(S|\bar{A}) = \frac{P(\bar{A}|S) \cdot P(S)}{P(\bar{A})} \quad (*)$$

Они по аналогии с выражением, определяющим в пределах территории-полигона шансы обнаружения геологических объектов вида ловушка УВ, позволяют вычислить поправку к априорной вероятности этих объектов как

$$W^+ = \ln \frac{P(A|S)}{P(A|\bar{S})}.$$

В случае необходимости вычислить поправку к априорной вероятности «пустых» площадей целесообразно воспользоваться выражением

$$W^- = \ln \frac{P(\bar{A}|S)}{P(\bar{A}|\bar{S})}.$$

С учётом вычисленных поправок постериорные шансы обнаружения геологических объектов вида ловушка УВ и соответственно «пустых» площадей имеют вид

$$\ln O(S|A) = W^+ + \ln O(S),$$

$$\ln O(S|\bar{A}) = W^- + \ln O(S),$$

которые трансформируются в постериорные вероятности как

$$P_{\text{пост}} = \frac{O}{1 + O}.$$

В рассматриваемом примере площадь составляет $T=567$ ЕЭ, каждый из которых характеризует сложное событие, состоящее из двух простых (D и A). Суммарная площадь S объектов вида ловушка УВ – 87 ЕЭ, из них суммарная площадь D месторождений УВ – 42 ЕЭ (рис. 1); суммарная площадь признака-предсказателя A – 50 ЕЭ, из которых с $\mu_A(x) = 0.5$ – 12 ЕЭ (рис. 2). Соответственно зафиксированные площади совместного наступления событий $A \cap S = 17$, $A \cap \bar{S} = 33$, $\bar{A} \cap S = 70$ и $\bar{A} \cap \bar{S} = 447$.

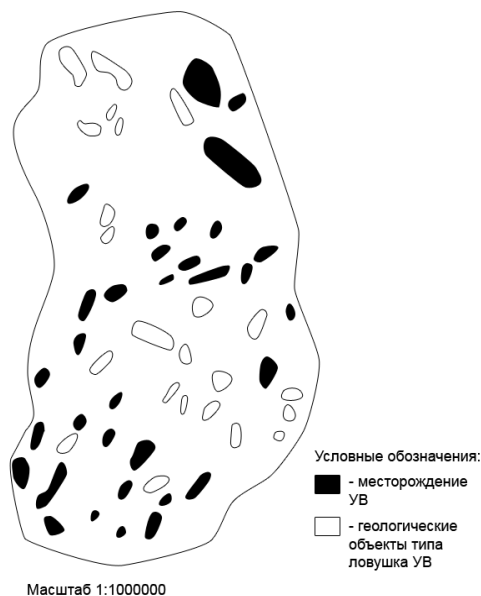


Рис. 1. Распределение по площади месторождений УВ и геологических объектов типа ловушка УВ.

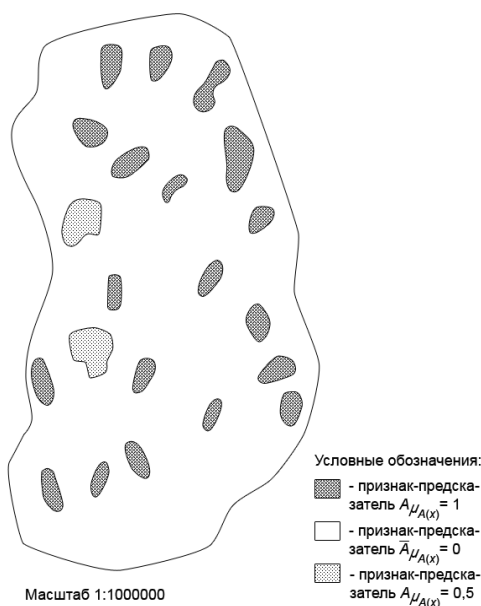


Рис. 2. Распределение по площади признака-предсказателя А.

Исходными данными при расчётах служат величины:

T	S	A	$A \cap S$	$A \cap \bar{S}$	$\mu_A(x) = 0.5$
567	87	50	17	33	12

Тогда $P_{\text{приор}}(S) = S/T = 0.15$, и априорные шансы $O(S) = 0.18$.

$$\text{Далее } P(S|A) = \frac{S \cap A}{A} = 0.34,$$

$$P(\bar{S}|A) = \frac{\bar{S} \cap A}{A} = 0.6, \text{ и с использованием (*) получаем } W^+ = \ln 2.51 = 0.92.$$

$$\text{Отсюда } \ln O_{\text{пост}}(S|A) = W^+ + \ln O_{\text{приор}}(S) \approx 0.92 - 1.72 = -0.8, O_{\text{пост}}(S|A) = 0.45, P_{\text{пост}}(S|A) = 0.31,$$

и приращение вероятности составит

$$\Delta P = P_{\text{пост}} - P_{\text{приор}} = 0.31 - 0.15 = 0.16. \text{ Результат говорит о практическом смысле поисков новых ловушек УВ.}$$

Вычислением постериорной вероятности обнаружения геологических объектов вида ловушка УВ завершается первый этап оценки вероятности геологического успеха. Второй этап также выполняется с использованием описанных выше операций в рамках правил геометрической вероятности.

Выше было отмечено, что каждый ЕЭ рассматривается как сложное событие, включающее несколько независимых простых, в нашем случае:

S – присутствие или $\bar{S}$ – отсутствие геологических объектов типа ловушка УВ, D – присутствие или $\bar{D}$ – отсутствие полезного ископаемого (УВ), A – присутствие или $\bar{A}$ – отсутствие признака-предсказателя. $P(D)$ в размерности ЕЭ известна.

Постериорная вероятность геологических объектов $P_{\text{пост}}(S)$ вычислена. В новой ситуации при реализации второго этапа показатель S может рассматриваться как признак-предсказатель, а по физическим характеристикам, по отношению к D – как независимое простое событие. Поэтому представляется возможным вычислить условные вероятности

$$P(D|S) = \frac{P(S|D) \cdot P(D)}{P(S)},$$

$$P(D|\bar{S}) = \frac{P(\bar{S}|D) \cdot P(D)}{P(\bar{S})}$$

и поправки

$$W^+ = \ln \frac{P(S|D)}{P(S|\bar{D})}, W^- = \ln \frac{P(\bar{S}|D)}{P(\bar{S}|\bar{D})},$$

и далее $\ln O(D|S) = W^+ + \ln O(D)$ и

$$P_{\text{пост}}(D) = \frac{O}{1 + O}.$$

В итоге вероятность геологического успеха определяется как прирост вероятности открытия новых месторождений УВ в границах плея

$$\Delta P = P_{\text{пост}} - P_{\text{приор}}.$$

Проиллюстрируем механизм вычисления постериорной вероятности обнаружения новых месс-

орождений УВ и, тем самым, вероятность геологического успеха на модельном примере, очень близком к реальной геологической ситуации. Соотношение событий A и D показано на диаграмме (рис. 3).

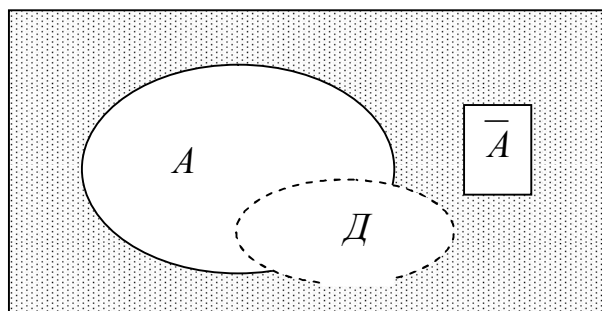


Рис. 3. Соотношение событий A и D .

Исходными данными для расчётов являются:

T	D	A	$A \cap D$	$A \cap \bar{D}$	$\mu_A(x) = 0.5$
567	42	50	13	25	12

$P_{\text{приор}}(D) = D/T = 0.07$, соответственно priorные шансы $O(D) = 0.08$, $\ln O(D) = -2.53$. Вычисление поправки даёт

$$W^+ = \ln \frac{P(A|D)}{P(A|\bar{D})} = \ln \frac{13/42}{37/525} \approx \ln 4.39 = 1.48,$$

соответственно

$$\ln O_{\text{пост}}(D|A) = \ln O_{\text{приор}}(D|A) + W^+ = -2.53 + 1.48 = -1.05, O_{\text{пост}} = 0.35, P_{\text{пост}} = 0.26.$$

Приращение вероятности составит

$$\Delta P = P_{\text{пост}} - P_{\text{приор}} = 0.26 - 0.07 = 0.19.$$

При выполнении экспериментального счёта была выбрана модель масштаба 1:1000000, что соответствует 1 ЕЭ=100 км². Учитывая высокую степень неопределённости ситуации, которая сохраняется и при достижении стадии исследовательской зрелости, добиваться повышения точности не имеет практического смысла. Технические затруднения, имеющие место при ручном подсчёте элементарных ячеек на больших площадях, преодолимы при автоматизированном режиме подготовки данных при наличии электронных карт оцениваемых площадей.

П.Р. Роуз [1], ссылаясь на геологическую практику, настоятельно советует при оценках того или иного параметра «не бояться использования быстрых и приближенных» методов (т.н. правило «большого пальца»). Фактически это означает признание правомерности использования при оценке вероятности интуитивистского подхода. Интуитивистский подход, как известно, рассматривает вероятность как нечто такое, что можно априорно оценить с помощью мысленных экспериментов. Этот подход при всей привлекательности имеет существенный недостаток: при его использовании можно

ожидать проявление индивидуальных черт характера оценивающего, склонность к оптимизму или, наоборот, – к пессимизму. Предлагаемый способ оценки вероятности геологического успеха при поиске месторождений УВ, основанный на численных методах теории нечётких множеств, позволяет эти крайности избежать. В ходе выполнения работ по гранту УрО РАН 12-7-002-НДР создана компьютерная программа PotenMapHCD, в которой реализован метод нечётких весов для прогнозирования перспективности обнаружения месторождений УВ на территориях, имеющих выявленные геологические объекты.

Выводы

Результаты расчётов позволяют прийти к следующим выводам. Существует реальная возможность (об этом свидетельствует прирост вероятности) выявления новых геологических объектов типа ловушка УВ. И в этой связи проведение сейсморазведочных работ на перспективных участках рассмотренной территории оправдано. Геологический успех при бурении скважин на выявленных объектах, с учётом факта доказанности нефтегазонасыщенности территории и относительно высокой по-

стериорной вероятности получения притока УВ, вполне ожидаем. Для оценки же экономической целесообразности освоения и эксплуатации потенциальных месторождений после достижения геологического успеха необходим дополнительный геолого-экономический анализ.

Работа выполнена при поддержке Уральского отделения РАН (грант 12-7-002-НДР).

Литература

1. *Роуз Питер*. Анализ рисков и управление нефтегазовыми проектами. М.-Ижевск: НИЦ «РХД», Ижевский институт компьютерных исследований, 2011. 304 с.
2. *Rose P.R.* Exploration Plays: Risk Analysis and Economic Assessment, Course notes for AAPG short course: AAPG Education Dept., Tulsa, Okla. 400 p.
3. *Cheng Q., Agterberg F.P.* Fuzzy weights of evidence method and its application in mineral potential mapping // Natural resources research. 1999. Vol. 8. № 1. P. 27–35.
4. *Математическая статистика* / Под ред. проф. А.М. Дина. М.: Высшая школа, 1975. 397 с.

Статья поступила в редакцию 17.05.2013.

УДК 691.168

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ ОСНОВАНИЙ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ИЗ СЛАБЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.А.РАЩЕКТАЕВ, И.Н.КРУЧИНИН

Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург
rrash@mail.ru

Исследовано изменение межзерновой пустотности каменных материалов при уплотнении. Вектор исследования направлен на достоверность экспериментов, проводимых в лабораторных условиях, и правильный подбор внешних воздействий на материал. Разработана математическая модель, используемая для получения данных, которые могут быть применены для прогнозирования изменения физико-механических свойств при уплотнении щебеночных оснований лесовозных автомобильных дорог.

Ключевые слова: межзерновая пустотность, каменные материалы, уплотняющая техника, щебеночные основания

V.A. RASHCHETAEV, I.N. KRUCHININ. MODELLING THE PROCESS OF SOFT CRUSHED ROCK MATERIALS COMPACTION IN LOGGING ROADS

Change of porosity of crushed stone materials in compaction process was studied. The research vector was directed to the accuracy of research conducted in laboratory conditions, and correct selection of cyclic loads. The mathematical model used for obtaining data that can be applied for predicting changes in physical and mechanical properties at compaction of crushed-stone surface of logging roads was developed.

Keywords: porosity, crushed rock materials, compaction equipment, crushed-stone road surface

Существующие щебеночные основания лесовозных автомобильных дорог (ЛАД) характеризуются нестабильными эксплуатационными показателями в основном из-за использования местных материалов. Недоучет таких важных свойств материалов, как межзерновая пустотность и деформационные характеристики, оказывает большое влияние на транспортно-эксплуатационные качества ЛАД.

Известные на сегодняшний день теоретические модели поведения дискретных материалов при уплотнении основываются на системе сфер одного или нескольких различных размеров. При исследовании таких систем сделан вывод о том, что межзерновая пустотность уменьшается при наличии в смеси зерен более мелкой фракции и ее минимальное значение достигается при объемной доле крупных зерен 0,73 [1]. Под межзерновой пустотностью (МП) будем понимать характеристику материала как совокупную меру размеров и количества пор в твердом теле. Она зависит от типа горной породы и размера частиц.

Взяв для испытания щебень фракции 20-40 мм, получим расположение МП в пределах от 0,25 до 0,36. Однако это справедливо только на начальной стадии уплотнения. Интерес представляет то, что минимальное значение МП в идеальной двухразмерной системе достигается уже при 27 % мел-

кого заполнителя. Учитывая данный факт, можно предположить, что при измельчении щебня до состояния, когда в смеси количество частиц размером от 0 до 40 мм превысит 70 %, дальнейшего уплотнения не требуется.

Если обратиться к действующей нормативной документации, то в ней лишь ориентировочно даются указания по уплотнению оснований. Так, например, СНиП 3.06.03-85 [2] устанавливает число проходов катка по одному следу в зависимости от типа уплотняющей техники. При этом регламентируется только скорость уплотнения на начальной стадии и то только в том случае, если нет особых указаний по уплотнению. Изменение физико-механических свойств щебня при уплотнении и дальнейшей работе в конструкции не учитывается, а их влияние на эксплуатационные характеристики остается неясным.

Целью данной работы является изучение изменения физико-механических свойств каменных материалов при их уплотнении вибрационной техникой и создание математической модели, описывающей этот процесс.

На начальном этапе нужно оценить степень воздействия уплотняющей техники на материал. В связи с этим авторами был проведен анализ технических характеристик вибрационных катков иност-

ранных и отечественных производителей [3]. Основные технические характеристики уплотняющей техники, применяемой в Уральском регионе, по данным ОАО «Свердловскавтодор», ОАО «Магистраль» и Уральского филиала «УралГИПРОДОРНИИ» ОАО «ГИПРОДОРНИИ», представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Технические характеристики
уплотняющей техники**

Наименование, характеристики	Среднее значение параметра	Диапазон выборки
Рабочий вес (эксплуатационная масса), кг	14500	10500 – 16700
Центробежная сила на вибро-возбудителе (вынуждающая сила) Рц, кН	207	65 – 300
Статическая линейная нагрузка на передний валец Рст, кгс/см ²	34,6	24 – 36
Рабочая скорость V, км/ч	1,5–7,5	2,8 – 14
Амплитуда колебаний вибратора, мм	1,61	0,3 – 2,0
Частота колебаний вибратора ν, Гц	30	24 – 36
Длина хорды пятна контакта l, см	1,0–5,0	5,0/1,0
Ширина вальца b, м	2,07	1,7 – 2,37

В процессе уплотнения щебеночных оснований ЛАД на материал воздействуют статическая и динамическая составляющие нагрузки. При этом время импульса с учетом деформации уплотняемого материала зависит от периода колебаний вибро-возбудителя, а время контакта материала с вальцом – от размеров контактной хорды и скорости движения катка. В работе [4] показано, что накопление деформаций у каменных материалов в процессе уплотнения оказывает существенное влияние на выбор нагрузки.

Для повышения адекватности лабораторной модели величина нагрузки, передаваемой на материал, учитывает как предшествующие ей воздействия, так и скорость воздействия. Для этих целей были сформулированы требования к воздействию в виде циклов нагружения.

Циклы нагружения на материал состоят из частей в соответствии с количеством воздействий вальца на материал. Нагрузка на образец материала в цилиндре (P_i) рассчитывается по следующей формуле:

$$P_i = P' \cdot \left(1 + \left(\frac{z}{n_y} - 1\right) \cdot d\right), \quad (1)$$

где d – доля динамической нагрузки, $d = P_{дин} / P$;

P' – нагрузка, пересчитанная на площадку контакта плунжера с материалом, МПа;

z – воздействие вальца по контактной хорде $z = f(S_{кон}; t_{возд})$ ($z_i = 1, 2, 3 \dots n_y$);

n_y – параметр нагрузки $n_y = f(v_{px}; t_{возд}; \omega)$.

Таким образом, на третий цикл нагружения (со значением $n_y = 2,2$ и долей динамической нагрузки

$d_3 = 2,4 / 5,9 = 0,41$), общая нагрузка $P(3)$ на образец состоит из трех воздействий вальца на материал $P_1(3)$, $P_2(3)$ и $P_3(3)$.

Проведя аналогичный расчет получим распределение нагрузок для каждого нагружения. Данные приводятся к общей последовательности циклов и отражены в табл. 2.

Таблица 2

**Значения циклов нагрузки материала
(плунжер $d=9,0$ см)**

Нагрузка на образец в цилиндре	Циклы нагружения, кН				
	2	4	6	8	10
P_i	29,34	34,99	32,27	29,09	37,53
Нагрузка на образец в цилиндре	Циклы нагружения, кН				
	12	14	16	18	20
P_i	39,44	45,17	55,98	85,88	85,88

Чтобы учесть влияние бокового распора, создаваемого в цилиндре, и работать в условиях уплотнения, наиболее близких к реальным, было принято решение варьировать размеры контактной площадки воздействия на материал. При нагружении материала меньшей площадью, чем площадь дна лабораторной установки, процесс изменения межзерновой пустотности сопровождается сдвигом зерен. Поэтому для получения более достоверных данных введен эмпирический коэффициент K_c , учитывающий объемный сдвиг зерен. Предложенная математическая модель уточняет изменение межзерновой пустотности в условиях неравномерности воздействия нагрузок на материал. Пустотность на i -й цикл нагрузки с учетом коэффициента сдвига будет иметь следующий вид:

$$P_i^c = \left(\frac{V_d \cdot (K_c - 1)}{100} + 1 \right) \cdot P_i, \quad (2)$$

где P_i – пустотность на i -й цикл нагрузки, %;

K_c – коэффициент сдвига зерен $K_c = \frac{V_{обр}}{V_{бок}}$;

V_d – параметр воздействия плунжера заданного диаметра, %

$V_{обр}$ – объем образца, см³;

$V_{бок}$ – объем вытесненных боковым сдвигом зерен, %;

$$V_d = 100 - \left(\frac{D_n}{D_y} \right)^2 \cdot 100, \quad (3)$$

где P_i – пустотность материала на i -й цикл нагрузки, %

D_n – диаметр плунжера, см

D_y – диаметр цилиндра, см.

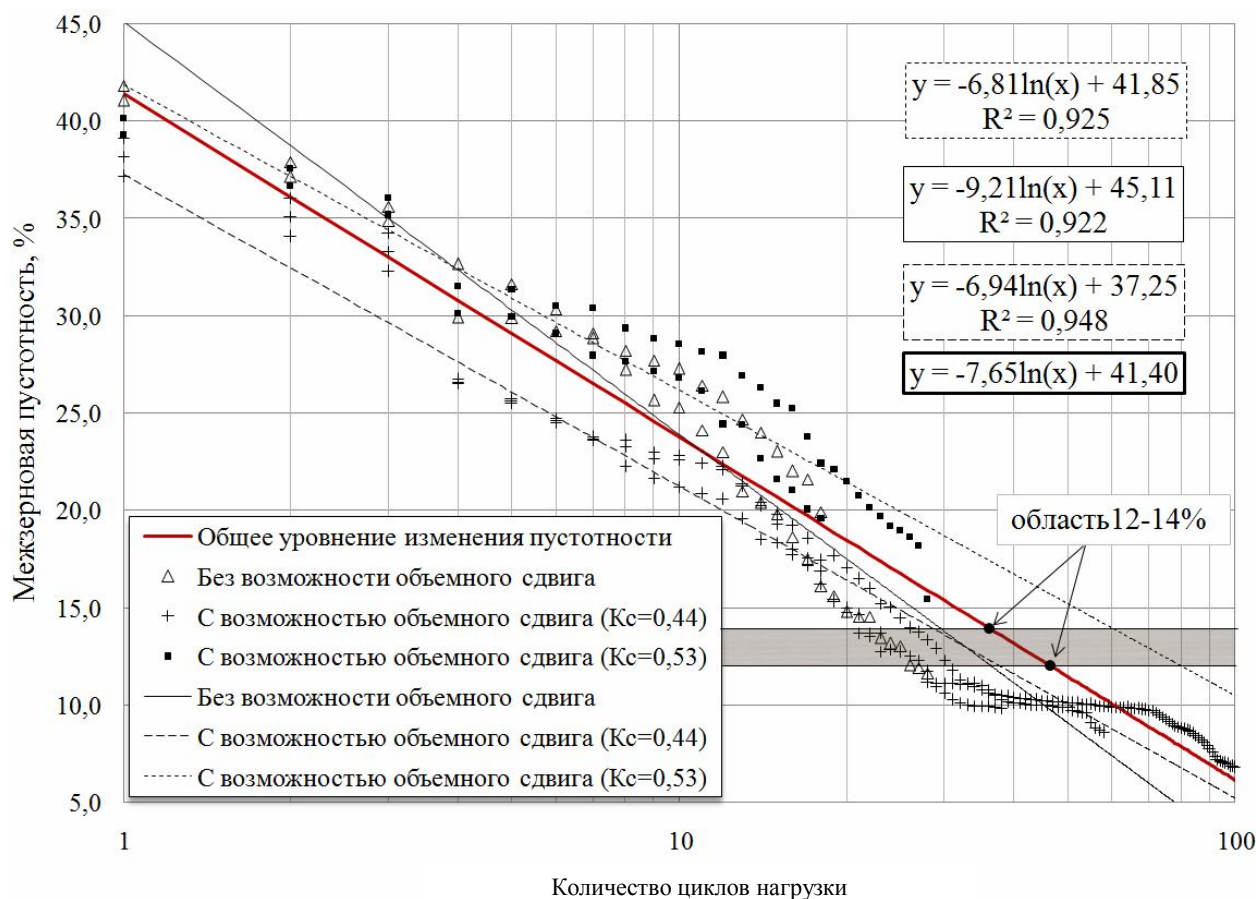


Рис. Изменение межзерновой пустотности щебня марки 400 фракции 20-40 мм.

Результаты лабораторных исследований изменения межзерновой пустотности щебня марки 400 фракции 20-40 представлены на рисунке.

Выводы

Полученные уравнения регрессии позволили оценить степень влияния величины циклов нагружения и степени объемного сдвига на изменение межзерновой пустотности. Недооценка степени сдвига материала при уплотнении может привести к существенному недоуплотнению щебеночного основания.

В то же время в случае переуплотнения структура уплотненного материала будет нарушена и возникнет потеря в жесткости дорожной конструкции. При этом количество циклов нагружения может различаться от 20 до 40, что соответствует от четырех до восьми проходов виброкатка по одному следу.

Таким образом, проведенный комплекс лабораторных исследований позволил оценить оптимальное воздействие на уплотняемый каменный материал различных фракций и прочностей с целью создания высокоплотного слоя основания лесовозных автомобильных дорог.

Литература

1. *Cumberland, D.J. and Crawford, R.J.*. The packing of particles. In Handbook of Powder Technology, vol. 6. New York: Elsevier, 1987.
2. *СНУП 3.06.03-85**. Автомобильные дороги / Союздорнии, Союздорпроект, Промтранснии-проект. Введ. с 1996-01-01. М.: Госстрой СССР, 1986.
3. *Кручинин И.Н., Ращектаев В.А.* Особенности взаимодействия уплотняющей техники с каменными материалами при строительстве щебеночных оснований автомобильных дорог // Сб. науч. тр. ОАО «ГИПРОДОРНИИ». Екатеринбург, 2013.
4. *Кручинин И.Н.* Повышение эксплуатационного состояния лесовозных автомобильных дорог / Изв. Высших учебных заведений // Лесной журнал. 2012. № 3. С. 63–66.

Статья поступила в редакцию 23.09.2013.

СЕМАНТИЧЕСКИЕ СХОДСТВА ПРИЛАГАТЕЛЬНЫХ СО ЗНАЧЕНИЯМИ НОВЫЙ/МОЛОДОЙ И СТАРЫЙ В ФИННО-УГОРСКИХ И ТЮРКСКИХ ЯЗЫКАХ

Е.А. ЦЫПАНОВ

Институт языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

tsypanov@mail.illhkomisc.ru

Проведено сопоставительное изучение кардинальных непроизводных, исконных по происхождению прилагательных-антонимов с общим значением 'молодой/новый' и 'старый' в финно-угорских и некоторых тюркских языках. Выделено четыре вида лексико-семантических соотношений антонимичных слов. Общие черты в характеристике одушевленных и неодушевленных реалий прилагательными со значением 'старый' в восточных финно-угорских и тюркских языках указывают или на былую общность происхождения языков, или на древние контакты между праязыками.

Ключевые слова: уральские и тюркские языки, сравнительно-сопоставительная лексика, кардинальные прилагательные, антонимические пары, семантика прилагательных-антонимов, семантические соотношения пар антонимов

E.A. TSYPANOV. SEMANTIC SIMILARITIES OF ADJECTIVES WITH NEW/YOUNG AND OLD MEANINGS IN THE FINNO-UGRIC AND TURKIC LANGUAGES

Comparative studying of adjectives-antonyms with the meaning 'young-new' and 'old' in the Finno-Ugric and some Turkic languages is made. Four types of lexical-semantic correlations of words-antonyms are singled out. Common features in the characteristic of the animated and inanimate realities by adjectives with the meaning 'old' in the east Finno-Ugric and Turkic languages specify either a former community of the origin of languages, or ancient contacts between pra-languages.

Keywords: the Uralic and Turkic languages, comparative vocabulary, cardinal adjectives, pairs-antonyms, semantics of adjectives-antonyms, semantic correlations of pairs-antonyms

Исследования в области лексико-семантической типологии и в целом по лексической семантике (и не только) свидетельствуют о важности изучения плана означаемого в самом широком смысле этого слова. Не случайно к вопросам предмета лингвистики Ю.А.Левицкий относит семантическую систему языка наряду с фонологической, морфологической и лексической [1, с. 139]. Однако многие исследователи находят особенность этой системы в том, что, в отличие от плана выражения, она трудно ощущаема и, покрывая все области человеческого опыта, имеет открытую структуру, представляет собой нежестко детерминированную систему [2, с. 438]. Семантическое наполнение имеют такие языковые единицы, как морфема, слово и предложение, однако в семантические исследования чаще всего вовлечена лексика, чья системность доказывается путем группировки различных

разрядов слов и их изучения методом компонентного анализа. Особое внимание в ряде работ уделяется прилагательным как словам понятийного характера, выражающим свои значения сигнификативно. К примеру, лексика цветообозначения в некоторых языках изучена системно и подробно [3, 4]. Во многих работах исследуются закономерности изменения и развития значений на материале разных (не обязательно родственных) языков. Так, в своей статье «Семантическая деривация в синхронии и диахронии: проект "Каталога семантических переходов"» А.Зализняк [5, с. 13–25] предпринимает попытку выявить и каталогизировать переходы значений у полисемантов различных языков в диахронии, формулирует проект составления различных типов семантической деривации на основе составляемого каталога. Если семантические исследования на материале т.н. крупных языков лишь разво-

рачиваются, то в более скромных по количеству говорящих языках они находятся часто на стадии задумок.

Синхронно-сопоставительное изучение лексики уральских и алтайских языков является перспективной задачей лингвистов, так как подобных фронтальных разработок в области лексики генетически родственных в своих группах языков пока не проводилось. Конечно, есть множество трудов по изучению этимологии слов праязыкового — алтайского, уральского, финно-угорского — происхождения, опубликованы этимологические и исторические словари различных языков и семей языков, на основе которых в какой-то мере реконструируется картина условий жизни, природы, среды обитания, общественного устройства древних алтайцев, уральцев и финно-угров. Это становится возможным благодаря сравнительному изучению значений этимологически общих слов в разных языках. Например, на основе сохранения во многих языках слов со значением 'стрела' можно судить о конкретном инструменте и способе охоты древних уральцев, напр., фин. *nuoli*, эст. *pool*, саам. *njuollâ*, эрз. морд. *нал*, мар. *нӧлы*, удм. *нӱыл*, коми *нӧл/нӧв*, хант. *n'al*, манс. *n'äl*, венгр. *nyíl*, эвенк. *n'ûg* [6, с. 409]. Однако таких этимологически общих слов в современных языках не так уж много. По данным К. Редеев и И. Эрдеи [6, с. 398], общеуральский лексический слой содержит 150 слов, финно-угорский — 182. Однако соответствия им содержатся далеко не во всех языках. Причина в том, что в ходе истории языки в достаточной степени видоизменились. Из-за этого какие-либо семантические особенности или более того, закономерности, в современных языках выявить достаточно сложно. Между тем, очевидно, что такие схождения должны быть или хотя бы должны проявляться в большинстве или целом ряде языков.

Для подтверждения этого тезиса представим лексический материал по названиям небесного светила — Солнца. Интересно, что в ряде финно-угорских языков для его обозначения применяются многозначные слова, которые выражают и 'солнце', и 'день'. Примеры из угорских языков: венгр. *nap* 'день' и 'солнце', манс. *хӧтал* 'день' и 'солнце', хант. *хатл (хӧтл)* 'день' и 'солнце'. Далее таким же образом один полисемант служит для выражения двух основных понятий в служско-финских языках: в мокшанском *ши* 1) день, 2) солнце [7, с. 205], в марийском *кече* 'день', 'солнце' и дополнительное значение 'погода' [8, с. 99]. Идентично положение и в прибалтийско-финских языках, там солнце и день как светлое время суток выражаются также однокоренными словами, напр., эст. *päike* 'день' (где *-ke* деминутивный суффикс) и *päev* 'солнце', то же самое в водском языке, вепс. *päiväine* 'солнце' и *päiv* 'день', карел. *päivä*, *päiväni* 'солнце' и 'день', саам. *päiwe* 'солнце' и 'день'. В финском литературном языке солнце обозначает другое слово *aurinko*, однако в диалектах отражается более архаичное обозначение словом *päivä* в значениях 'солнце', 'день', 'юг' [9, с. 680]. От отмеченной семантической модели отходят лишь пермские языки, в которых реалии

солнце и день выражают отдельные слова, например, коми *шонді*, удм. *шунды* 'солнце' и коми *лун*, удм. *нунал* 'день'. Однако, вероятно, это явление сложилось позднее, уже в общепермский период. Материал свидетельствует о единой семантической модели номинации. Развитие значения, очевидно, проходило по следующей цепочке: 'солнце как светило' → 'светлое время суток' → 'день как одни сутки' → 'погода' (последнее лишь в марийском языке).

Второе наше наблюдение связано с прилагательными, выражающими понятия 'новый', 'молодой', с одной стороны, и 'старый', с другой. Материалом для статьи послужили самые основные, производные кардинальные прилагательные финно-угорских и трех тюркских языков, почерпнутые из базовых словарей литературных языков. Основное наблюдение сводится к тому, что в большинстве финно-угорских языков и привлеченных тюркских языках наблюдается следующая закономерность: для выражения понятия 'старый' используются два неоднокоренных прилагательных, из которых одно специализируется для обозначения признака одушевленных реалий (людей, животных, птиц) по возрасту, а другое для обозначения признака в основном неодушевленных реалий, вещей, предметов, а также изредка и людей, но не в связи с их возрастом. С другой стороны, практически во всех языках (за исключением мордовских), есть специализация слов-прилагательных для выражения значений 'молодой (по возрасту)' и 'новый (вновь появившийся)'. Приведем соответствующие примеры первой группы языков, где значения 'старый (о людях, птицах, птицах)' и 'старый (о предметах, вещах, а также людях)' выражают неоднокоренные слова:

- венг.: *öreg ember* 'старый человек'
régi ház 'старый дом'
хант.: *пирась ики* 'старый мужчина, старик'
капра юх 'старое дерево'
манс.: *матум ойка* 'старый мужчина, старик'
пӛс кол 'старый дом'
коми: *пӧрысь пон* 'старая собака'
важ кӧм 'старая обувь'
удм.: *пересь кышномурт* 'старая женщина'
вуж корка 'старый дом'
мар.: *шонго ўдыр* 'старая дева'
тошто кинде 'старый хлеб'
эрзя-морд.: *сыре пуло* 'старый плут'
ташто станок 'старый станок'
мокша-морд.: *суре ломань* 'старый человек'
ташта пальта 'старое пальто'
чув.: *ватӑ лаша* 'старая лошадь'
куеӗ пӳрт 'старая изба'
тур.: *ihtyar, kart adam* 'старый человек'
eski araba 'старая телега'
тат.: *карт кеше* 'старый человек'
уске күлмәк 'старое платье'
ненец.: (тундровое наречие)
вэсэй 'старый (о мужчине)'
лухуця 'старая (о женщине)'
(лесное наречие)
вэ'кумы, вайсы'ку, вэ'ку 'тж (о мужчине)'

пыхуны, пуша 'тж (о женщине)
невхы 'старый (о предмете)
купты 'старый (о предмете)

Предложенные примеры представляют совершенно однозначную картину: в разных языках базовые прилагательные с общим значением 'старый' специализированы для функционирования в качестве атрибутов, с одной стороны, для одушевленных реалий по принципу указания на их преклонный возраст, с другой – для неодушевленных в большинстве реалий. Например, в обско-угорских языках это слова: хант. *пирась*, ~ *ики* 'старик' [10, с. 84], ~ *ампи* 'старая собака', с одной стороны, и *катра* [10, с. 46], ~ *хот* 'старый дом', с другой; манс. *матум*, ~ *ойка* 'старик' [11, с. 61], ~ *пурсь* 'старая свинья' и *пёс*, ~ *пора* 'давний' [11, с. 89], ~ *нянь* 'старый хлеб'. Идентично положение также в венгерском, марийском и пермских языках, что говорит, вероятно, об общей финно-угорской семантической модели номинации. Примеры: венгр. *őreg király* 'старый король' – *régi hid* 'старый мост'; мар. *шонго пий* 'старая собака' – *тошто книга* 'старая книга', удм. *пересь воргорон* 'старый мужчина' – *вуж сюрес* 'старая дорога', коми *пёрысь пёч* 'старая бабушка' – *важ кём* 'старая обувь'. В самодийских языках картина еще более причудлива: в ненецком языке (в лесном наречии) значения 'старый' выражают не два, а три разнокорневых прилагательных: *купты* 'старый (о неодушевленных реалиях)', *пыхуны, пуша* 'старый (о женщинах)' и *вз'кумы, вайсы'ку, ве'ку* 'старый (о мужчинах)' [12, с. 267]. Идентична картина и в тундровом наречии ненецкого языка: *невхы* 'старый (о неодушевленных реалиях)', *пыхумы* 'старый (о женщинах)' и *взсай* 'старый (о мужчинах)' [13, с. 301]. Согласно устному сообщению профессора Югорского государственного университета Р.А. Вафеева, идентичное положение и в большинстве тюркских языков, татарском, казахском, киргизском и др., где различаются неоднокоренные прилагательные, выражающие признак 'старый' людей, животных, птиц, с одной стороны, и предметов, реже людей, – с другой. Отмеченную особенность можно считать характерной для большинства финно-угорских языков, имеющей место и в более широком языковом ареале, в тюркских языках.

От этой закономерности отходят прибалтийско-финские и саамские языки, в которых значение 'старый' выражает одно прилагательное безотносительно к фактору одушевленности/неодушевленности реалий, обозначаемой в определяемом слове, например, эст. *vana lehm* 'старая корова' – *vana maja* 'старый дом', фин. *vanha ukko* 'старый дед' – *vanha auto* 'старая автомашинка'. Идентичное положение также в славянских и германских языках. Приведем соответствующие примеры по языкам:

фин. *vanha mies* 'старый человек'
vanha kirja 'старая книга'
 эст. *vana mees* 'старый человек'
vana Tallinn 'старый Таллинн'
 саам. *boaris Máhte* 'старый Махтэ (Матвей)'
boaris rall 'старый мяч'
 рус. *старый* господин
старая сказка

англ. *old man* 'старый человек'
old town 'старый город'
 нем. *alt Frau* 'старая женщина'
alt Auto 'старая автомашинка'.

Известно, что в целом лексика также является системной, как и фонемный состав, деривация, морфология и синтаксис. Качественные прилагательные входят в системные отношения с другими прилагательными, образуя соотносительные антонимические пары. Антонимами к словам со значением 'старый' являются в большинстве языков слова со значением 'молодой' и 'новый'. В финно-угорских и приведенных тюркских языках в этом отношении наблюдается также двойственная картина.

С одной стороны, в большинстве языков значения 'молодой (по возрасту)' и 'новый, недавно возникший' выражают два разнокорневых слова. Такое положение наблюдается в большинстве индоевропейских, уральских и тюркских языков. Примеры:

венг.: *fiatal ember* 'молодой человек'
új város 'новый город'
 хант.: *айлам* ёх 'молодые мужчины'
йилуп кась 'новые брюки'
 манси: *мань пыг* 'молодой парень'
йильпи писаль 'новое ружье'
 коми: *том ёв* 'молодая лошадь'
выль пызан 'новый стол'
 удм.: *егит* пияш 'молодой парень'
выль дэрем 'новая рубашка'
 мар.: *самырык туныктышо* 'молодой учитель'
у ий 'новый год'
 саам.: *nuorra viellja* 'молодой брат'
ođas báppir 'старая бумага'
 ненец.: *нацеке, наць, нацьмбой* 'молодой'
едэи харад 'новый дом'
 (тундровое наречие)
 чуваш.: *самра́к, яш качча́* 'молодой парень'
сёне́ сурт 'новый дом'
 тур.: *genç adam* 'молодой человек'
yeni moda 'новая мода'
 тат.: *яшь кеше* 'молодой человек'
яна газет 'новая газета'
 рус.: *молодой парень*
новая одежда
 англ.: *young girl* 'молодая девушка'
new word 'новое слово'
 нем.: *junge Leute* 'молодые люди'
neu Stadt 'новый город'.

С другой стороны, есть лишь одно исключение из представленной картины языков: это мордовские (эрзянский, мокшанский) языки, где значения 'новый' и 'молодой' выражают одно слово, например:

эрз. *од кудо* 'новый дом'
од ломань 'молодой человек'
 мокш. *од киза* 'новый год'
од тядят-алят 'молодые родители'.

После такого списочного представления картины в различных языках есть необходимость, в первых, выявить логико-семантические соотношения значений пар антонимов, зафиксированных в

рассмотренных языках, и, во-вторых, выявить их основные и периферийные соотношения. Семантический объём антонимических пар можно изобразить в виде прямоугольника, разделенного на четыре равных части, левая и правая части которого семантически противоположны. Однако схема возможных отношений между антонимами в языках может реализовываться по-разному. Исследуемый материал различных языков можно свести к четырем семантическим центрам или разновидностям, далее прокомментировать и затем выявить некоторые семантические особенности прилагательных и отличия, которые характеризуют в самом общем виде различные языки.

молодой = юный <u>по возрасту</u> человек, животное, птица	старый = преклонный <u>по возрасту</u> человек, животное, птица
перен. растение, лес, вино	
новый = впервые появившийся, недавно известный, свежий предмет и реже человек перен. необычный	старый = давно известный, давно знакомый предмет и реже человек перен. обычный, негодный, дрянной

В антонимических парах слова могут включать семантику соответственно левой и правой частей в разных соотношениях. В принципе таких видов лексико-семантических соотношений в уральских языках можно выделить четыре.

• Первое соотношение представлено в крайней северо-западной части ареала проживания финно-угорских и тюркских народов, в прибалтийско-финских и саамском языках. Там есть три прилагательных-антонима: прилагательное со значением 'молодой' + прилагательное со значением 'новый' ↔ прилагательное со значением 'старый', например, фин. *nuori* ↔ *vanha*, *uusi* ↔ *vanha*. Такое же соотношение есть и во многих европейских языках, в том числе и русском, т.е. есть две пары антонимов.

фин. <i>nuori</i> 'молодой'	<i>vanha</i> 'старый (о людях и вещах)'
<i>uusi</i> 'новый'	

• Второе соотношение представлено в большинстве финно-угорских языков, в угорских, пермских, марийском языках, а также во многих тюркских. Представлено четыре прилагательных-антонима: прилагательное со значением 'молодой' + прилагательное со значением 'новый' ↔ прилагательное со значением 'старый (о людях)' + прилагательное со значением 'старый (о предметах, вещах)', например, в хантыйском *айлат* ↔ *пирась*; *йилуп* ↔ *катра*. Чаще всего бывает две пары антонимов. Их может быть больше в случае лексической синонимии в составе слов, формулирующих отдельные концепты.

хант. <i>айлат</i> 'молодой' коми <i>том</i> 'тж'	<i>пирась</i> 'старый (о людях)' <i>пӧрысь</i> 'тж'
хант. <i>йилуп</i> 'новый' коми <i>выль</i> 'тж'	<i>катра</i> 'старый (о вещах)' <i>важ</i> 'тж'

• Третье соотношение представлено лишь в мордовских языках, там есть три прилагательных-антонима — прилагательное со значением «молодой + новый» ↔ прилагательные со значением эрз. *сыр*, мокш. *сире* «старый (о людях)», эрз. *ташто*, мокш. *ташта* 'старый (о вещах и реже о людях)'. Есть следующие две пары антонимов: эрз. *од* ↔ *сыре*, *од* ↔ *ташто*. В мордовских языках картина зеркально противоположная той, которая наличествует в прибалтийско-финских и саамском языках.

эрз. <i>од</i> 'молодой, новый'	<i>сыре</i> 'старый (о людях)' <i>ташто</i> 'старый'
---------------------------------	---

Такое соотношение наблюдается только лишь в мордовских языках, где одно прилагательное *од* имеет максимально широкое значение, выражая значения и 'новый' и 'молодой'. Примеры: из эрзянского языка — *од кудо* 'новый дом', *Од не* 'Новый год', *од ава* 'молодая женщина', *од кискине* 'молодой щенок', *од килей* 'молодая береза' (14, с. 430); из мокшанского языка — *од киза* 'новый год', *од ломать* 'молодой человек', *од рывяня* 'молодая жена, молодка' (7, с. 127). Это соотношение представляет собой зеркальное отражение первого соотношения, которое характерно для прибалтийско-финских и саамского языков.

• Четвертое соотношение в ненецком языке: представлено пять прилагательных-антонимов — прилагательное со значением 'молодой' + прилагательное со значением 'новый' ↔ прилагательное со значением 'старый (о людях женского пола)' + прилагательное со значением «старый (о людях мужского пола)» + прилагательное со значением 'старый (о предметах, вещах)', например, в тундровом наречии ненецкого языка: *уацекы, уаць, уацьмбой* ↔ *пухумы, уацекы, уаць, уацьмбой* ↔ *вэсэй, едэй* ↔ *невхы*. Представлено три пары антонимов.

нен. <i>уацекы, уаць, уацьмбой</i> 'молодой'	<i>пухумы</i> 'старый (о людях женского пола)' <i>вэсэй</i> 'старый (о людях мужского пола)' <i>вэсэй сюдбья</i> 'старый богатырь'
<i>едэй</i> 'новый'	<i>невхы</i> 'старый (о вещах, предметах)'

В современных языках исследуемые прилагательные употребляются также и в иных дополнительных значениях, которые возникли позднее путем расширения семантики слов. Так как в реальности мы имеем дело с прилагательными-антонимами, есть смысл привести материал по их двум основным соотношениям.

1. *Молодой – старый* (признак одушевленных реалий по возрасту). Во многих языках прилагательные со значениями 'молодой' и 'старый' определяют и существительные, обозначающие также неодушевленные реалии. Расширение значения произошло в результате метонимического переноса значения от фактора одушевленности к фактору неодушевленности.

Примеры на прилагательные с базовым значением 'молодой' из некоторых языков: фин. *nuori metsä* 'молодой лес', *nuoret perunat* 'молодой картофель' [15, с. 406], коми *том олёмой*, *том гажой* 'молодая пора, молодая радость моя', удм. *егит мылкыд* 'молодой задор', *егит сюлэм* 'молодая душа' [16, с. 199], мар. *самарык талант* 'молодой талант', *самарык жал* 'молодость', досл. 'молодое время', *самарык писте-влак* 'молодые липы' [17 Т. 6, с. 146], нен. *һац һэва* 'детство' [18, с. 391], тат. *яшьлек дәрте* 'молодой задор' [19. Т. 2, с. 209], тур. *genç ağac* 'молодое дерево' [20, с. 205]. Примеры на прилагательные с базовым значением «старый (применительно к одушевленным реалиям)»: удм. *пересь пужым* 'старая сосна' [21, с. 522], коми *пӧрысь дуб* 'старый дуб' [16, с. 527], мар. *шонго куз* 'старая береза', *Шонго курык-влак шо-гат* 'Стоят древние горы' [17. Т. 9, с. 230], эрз. *сыре тумо* 'вековой дуб', *сыре пиче* 'старая сосна', *сыре шаль* 'большая шаль' [14, 628], тур. *ihitiyar çinar* 'старая чинара', *kart kabak* 'перезревшая тыква' [20, с. 277, 320]. По нашим наблюдениям, в присыктывкарском диалекте коми языка прилагательное *пӧрысь* может часто характеризовать существительное *керка* 'дом, изба': *Мийан ӧд керканым зэв нин пӧрысь* 'У нас изба ведь очень уже старая'. Тем не менее, основное противопоставление базовых значений в языках не нарушено, о чем свидетельствуют соответствующие парные слова, обозначающие собирательное понятие 'стар и млад', например, *пӧрысь и том* 'стар и млад' [16, с. 526], *пересен-пиналэн огадъ* 'что стар, что млад — одинаковы' [18, с. 522], тат. *карты-яше* 'стар и мал' [19. Т. 4, с. 127].

2. *Новый — старый* (чаще применительно к неодушевленным реалиям). Во многих языках эта пара антонимов может определять также и одушевленные реалии (людей, животных, птиц), акцентируя признак 'только что появившийся — бывший, прежний, старинный'. Причем применительно к людям это часто указание на их социальное положение, профессиональный статус, указание на стародавнее поколение, далеких предков. Примеры на прилагательные со значением 'новый': венг. *új igazgató* 'новый директор', *új házasság* 'новобрачные' [22, с. 756], коми *выль тӧдса* 'новый знакомый', *выль велӧдысь* 'новая, вновь прибывшая учительница' [16, с. 132], удм. *выль кышно* 'новая жена' [21, 152], мар. у *ен* 'новый человек', у *палыме* 'новый знакомый', у *вате* 'молодуха', досл. 'новая жена' [17. Т. 8, с. 6–7], нен. *едэй нелевы* 'новобрачный', *едэй соявы* 'новоорожденный', *едэй нип* 'мы яхадей' 'недавно отелившаяся важенька' [18, с. 90]. Примеры на прилагательные со значением 'старый': венг. *regi ismerősök* 'старые (или давние) знакомые' [22,

с. 636], коми *важ тӧдса* 'старый знакомый', *важ веськӧдысь* 'старый руководитель', *важ йӧз* 'древние люди' [16, с. 77], мар. *тошто палыме* 'старый знакомый', *тошто мари* '1) древний мариец, 2) предки, прадеды, 3) мертвый, покойник' [17. Т. 7, с. 186–187], эрз. *ташто ломань* 'отсталый человек' [14, с. 650], тат. *иске дуслар* 'старые друзья' [19. Т. 4, с. 172], тур. *eski dost* 'старый друг' [20, с. 177].

Вышеизложенные четыре вида соотношений антонимических пар хорошо отражают специфику разных языков внутри финно-угорских и тюркских языков. Представленный материал и его анализ позволяют сформулировать гипотезу о том, что второе соотношение прилагательных-антонимов в определенном смысле имеет общесинно-угорский и общетюркский характер и представляет собой семантическую закономерность номинации: значения 'старый (о людях по возрасту)' и 'старый (о вещах, предметах, редко о людях, животных)' в рассмотренных языках выражают неоднокоренные непроизводные прилагательные, которые в современных языках в большинстве восходят к разным этимонам. Материал мордовских языков, вероятно, демонстрирует результат более позднего развития, и, наоборот, материал ненецкого языка, вполне возможно, сохраняет следы архаичного состояния развития языков, когда существительные делились на определенные классы, к примеру, на «женские», «мужские», на слова, обозначающие животных, растения, предметы и т.п. Приведенный материал различных языков, сведенный в парные логико-семантические соотношения прилагательных-антонимов, позволяет еще раз поверить в особые отношения финно-угорских и тюркских языков, т.к. отмеченная семантическая закономерность номинации прилагательных со значением 'старый' не могла появиться в многочисленных языках случайно. Характер исторических взаимосвязей двух языковых семей, возможно, был достаточно интенсивным. В научной литературе по этому поводу уже выдвигались гипотезы, анализ которых не входит в задачу данной работы. Возможно, представленный в ней анализ разнородного материала послужит ещё одним доводом для ученых-сторонников теории существования в далеком прошлом урало-алтайского единства и единого гипотетического праязыка.

Литература

1. *Левицкий Ю.А.* Общее языкознание. М., 2007.
2. *Степанов Ю.С.* Семантика // Лингвистический энциклопедический словарь. М., 1990. С. 438–440.
3. *Berlin B., Kay P.* Basic Color Terms. Their Universality and Evolution. Berkeley, 1969.
4. *Рябина Е.С.* Основные цветоименования в коми языке // Динамика структур финно-угорских языков: Сб. научных статей на материалах Всероссийской языковедческой конференции, посвященной юбилеям двух видных коми финно-угроведов: 70-летию профессора Евгения Александровича Игушева и 60-летию председателя Комитета финно-

- угроведов Российской Федерации Анатолия Николаевича Ракина (11–12 ноября 2009 г., г.Сыктывкар). Сыктывкар, 2011. С. 238–250.
5. Зализняк А.А. Семантическая деривация в синхронии и диахронии: проект «Каталога семантических переходов» // Вопросы языкознания. 2001. № 2. С.13–25.
6. ОФУЯ – Основы финно-угорского языкознания. Вопросы происхождения и развития финно-угорских языков. М., 1974.
7. MSS – *Herala E., Feoktistov A.* Mokšalais-suomalainen sanakirja. Мокшень-финонь валкс. Turku, 1998.
8. МФМ – *Мойсио А.* Марла-финла мутер. Йошкар-Ола, 1994.
9. SKES – *Toivonen Y. H., Itkonen E., Joki A.* Suomen kielen etymologinen sanakirja. I-VII. Helsinki, 1981-1987.
10. СХРиРХ — *Молданова С.П., Нёмысова Е.А., Ремезанова В.Н., Кузакова Е.А.* Словарь хантыйско-русский и русско-хантыйский. Ок. 4000 слов. Л., 1986.
11. СМРиРМ – *Ромбандеева Е.А., Кузакова Е.А.* Словарь мансийско-русский и русско-мансийский. Ок. 4000 слов. Л., 1982.
12. СНРиРН — *Бармич М.Я., Велло И.А.* Словарь ненецко-русский и русско-ненецкий (лесной диалект). СПб., 2002.
13. *Терещенко Н.М.* Словарь ненецко-русский и русско-ненецкий. СПб., 2005.
14. ЭРС – *Бузакова Р.С., Ширманкина Р.С., Лисина Е.Н. и др.* Эрзянско-русский словарь. Ок. 27 000 слов. М., 1993.
15. ФРС – *Вахрос И., Щербаков А.* Финско-русский словарь. М., 1977.
16. КРК – *Безносилова Л.М., Айбабина Е.А., Коснырева Р.И.* Коми-роч кывчукор: 31 000 кымын кыв. Сыктывкар, 2000.
17. СМЯ – Словарь марийского языка. Т. 1-10. Йошкар-Ола, 1990–2005.
18. НРС – *Терещенко Н.М.* Ненецко-русский словарь. Около 22 000 слов. М., 1955.
19. РТС – Русско-татарский словарь. Т. 4. Казань, 1959.
20. ТРС – *Баскаков А.Н., Голубева Н.П. и др.* Турецко-русский словарь. 48 000 слов. М., 1977.
21. УРС – Удмурт-зуч кыллюкам. Удмуртско-русский словарь: Ок. 50 000 слов. Ижевск, 2008.
22. ВРС – Венгерско-русский словарь: 40 000 слов. М.–Будапешт, 1987.

Статья поступила в редакцию 08.04.2013.

УДК 811.511.132'367.625

КОМИ ОТГЛАГОЛЬНЫЕ ПРИЛАГАТЕЛЬНЫЕ С СУФФИКСОМ -СА В КОНТЕКСТЕ ВОЛЖСКО-КАМСКИХ ЯЗЫКОВЫХ КОНТАКТОВ

Г.В. ФЕДЮНЕВА

Институт языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

fedyuneva@mail.illhkomisc.ru

В статье рассматривается маргинальная группа отглагольных прилагательных коми языка, традиционно связываемая с удмуртскими деепричастиями на *-са* как результат общепермской инновации. На основе анализа грамматических и семантических свойств коми и удмуртских образований на *-са* автор приходит к выводу об их отдельном происхождении. Постулируется новая для пермистики гипотеза о миграционном характере их происхождения в коми языке, тогда как удмуртские деепричастия на *-са* связаны с тюркским (чувашским) влиянием.

Ключевые слова: пермские языки, языковые контакты, отглагольное прилагательное, причастие, деепричастие, суффикс *-са*, заимствование

G.V. FEDYUNOVA. KOMI VERBAL ADJECTIVES WITH SUFFIX -CA IN CONTEXT OF THE VOLGA-KAMA LANGUAGE CONTACTS

A marginal group of verbal adjectives of the Komi language traditionally connected with the Udmurt adverbial particles on *-ca* as a result of the common-Permian innovation, is considered. On the basis of the analysis of grammatical and semantic properties of the Komi and Udmurt formations on *-ca* the conclusion on their separate origin is made. A new hypothesis about the migratory character of their origin in the Komi language is postulated, whereas the Udmurt adverbial particles on *-ca* are connected with Turkic (Chuvash) influence.

Keywords: the Permian languages, language contacts, verbal adjective, participle, adverbial participle, suffix *-ca*, borrowing

В статье «Тюркские черты в структуре зырянского языка и их происхождение» [1] Габор Берецки пишет, что в коми языке выявлен пока один суффикс, возможно, имеющий тюркское происхождение, а именно деепричастный суф. *-са* (напр., *мыныса* «идя»), который, несомненно, соответствует удмуртскому деепричастному суффиксу *-са*, выступающему в той же форме и функции (*мыныса* «идя»). В чувашском языке имеется аналогичный суффикс *-са*, *-се* (*кайса* «идя»), который исследователи связывают суффиксом кондиционалиса *-са*, *-сă* в тюркских (в частности, в татарском) языках. С этим формантом также связан удм. суффикс кондиционалиса *-сал* (*мынысал* «я шел бы»). По мнению Берецки, это не может быть случайностью, и суффикс *-са* пермских языков следует считать тюркским заимствованием.¹ Видимо, это утвержде-

ние непосредственно касается удмуртского языка, однако в отношении коми требует некоторой корректировки.

Суффикс *-са* в удмуртском языке является одним из самых распространенных формантов отглагольного формообразования. Обладая абсолютной продуктивностью, он может присоединяться к любой форме глагола, в том числе заимствованного, образуя деепричастия, вроде *вартскыса* «прячась», *юмматыса* «укрепив, укрепляя», *обеда-са* «обедавая», *шуметыса* «шумя» и т.д., которые имеют широкий спектр значений и функций, высокую частотность употребления и могут быть вклю-

des Tschuwaschischen über dieses Suffix, das es denselben Ursprung hat wie das Konditionalsuffix *-sa*, *-să* der Turksprachen. Auch in der Sprachen der Tataren, der Nachbarn der Votjaken, lautet das Konditionalsuffix *-sa*, *-să*. Dies ist eine beachtenswerte Tatsache, denn das votjakische Konditionalsuffix *-sa/* (z.B. *mŋŋsal* «ich würde gehen») halt ebenfalls mit dem Verbaladverb *-sa* zusammen. Das *-l* des Konditionalsuffixes ist – darauf wurde schon mehrfach hingewiesen – eine Verkürzung der Form *val* «war» des Verbs «sein». Da so viel Übereinstimmungen kein Zufall sein können, halte ich das suffix *-sa* des Verbaladverbs in den permischen Sprachen für eine Entlehnung aus den Turksprachen [1, c. 72].

¹«Im Bereich der Morphologie ist bisher nur ein Suffix bekannt, das möglicherweise türkische Ursprungs ist, und zwar das Suffix *-sa* des Verbaladverbs (z.B. zurj. *munŋsa* «gehend»). Das syryjische Suffix entspricht zweifelsohne dem votjakischen mit derselben Lautform und derselben Funktion, dem Suffix *-sa* des Verbaladverbs (z.B. *mŋŋsa* «gehend»). Im Tschuwaschischen lautet das Suffix des Verbaladverbs *-sa*, *-se* (z.B. *kajasa* «gehend»). L.S. Levitskaja schreibt in der historischen Morphologie

чены в разного рода конструкции: адаптационные (напр., *контролировать карыса* «контролировать»), компаративные (напр., *кырдыса кадь бызё* «бежит, как поет»), вводные (напр., *акчмяк вераса* «короче говоря») и т.д. Деепричастия на *-са* широко используются также в составе т.н. спаренных, или составных глаголов, вроде: *кулыса быризы* «вымерли, букв. умерев исчезли», *бызёыса кошкэм* «убежал, букв. убегая ушел». Эти глаголы, как и аналогичные конструкции с деепричастием *-ын*, *-ен* в марийском языке, сформировались под непосредственным тюркским (татарским) влиянием, о чем свидетельствует тот факт, что они отсутствуют в других финно-угорских языках, но имеются во всех тюркских [2, с. 265-266; 3; 4; 5; 6, с. 224-226; 7 и др.].

С большой долей вероятности можно предположить, что тюркское влияние сказалось и в целом на формирование этого разряда удмуртских деепричастий и обусловило их широкое распространение. В части функций удмуртским деепричастиям на *-са* в коми языке соответствуют продуктивные деепричастия на *-мён*, *-ёмён*, развившиеся из общепермских *-ём*-овых отглагольных имен в форме инструменталю и отсутствующие в удмуртском, ср., удм. *быгатыса ужаны*, коми *кужёмён уджавны* «умеючи работать»; удм. *вартскыса улъз*, коми *дзёбсьёмён оліс* «жил скрываясь»; удм. *малпаса улъсь*, коми *мёвпалёмён олысь* «тот, кто живет думая, букв. думая живущий» и т.д.

В коми языке нет деепричастий на *-са* (в том числе, отсутствует и, что важно, абсолютно невозможна форма **муныса*, приведенная Бережки). Вместо этого мы имеем небольшую группу слов, традиционно рассматриваемых в разряде относительных прилагательных, характеризующих предмет «по состоянию»: *сувтса* лу «стоящее дерево», *куньса син* «закрытые глаза». Таких слов девять: *восьса* «открытый» < *вось-*: *восьтны* «открыть», *водса* «лежачий» < *водны* «лечь», *куньса* «закрытый (о глазах)» < *куньны* «закрыть (о глазах)», *пёдса* «закрытый» < *пёд-*: *пёдлавы* «закрыть (напр., окно)», *пукса* «сидячий» < *пук-*: *пукавы* «сидеть», *сиптыса* «закрытый» < *сиптыны* «закрыть (напр., дверь)», *сувтса* «стоячий» < *сувтны* «встать», *тёдса* «знакомый» < *тёд-*: *тёдны* «знать», *тупкыса* «закрытый» < *тупкыны* «закрыть (напр., отверстие)». Обычно их рассматривают в качестве дериватов продуктивного словообразовательного суффикса *-са*, который образует относительные прилагательные от именных основ с общим значением «признак по обладанию, принадлежности одного предмета другому», вроде *сиктса ныв* «деревенская девушка» < *сикт* «деревня», *ныв* «девушка»; *вёрса пемёс* «лесной зверь» < *вёр* «лес», *пемёс* «животное»; *партияса член* и др. Однако нельзя не заметить, что рассматриваемые отглагольные образования семантически и функционально существенно отличаются от отыменных прилагательных.²

В современном языке они составляют закрытый, семантически ограниченный разряд. В него входят слова, обозначающие: 1) состояние «открытость» – закрытость» (*восьса* «открытый», *куньса* «закрытый, о глазах», *пёдса*, *сиптыса*, *тупкыса* «закрытый»); 2) положение в пространстве (*сувтса* «стоячий», *водса* «лежачий», *пукса* «сидячий»); 3) слово *тёдса* «известный, знакомый»³. Эти образования в значительной степени условно объединены в группу отглагольных прилагательных, поскольку в грамматическом отношении имеют некую «частеречную размытость» и устойчивую тенденцию к связанному употреблению в заданном контексте.

В роли отглагольных прилагательных используются, как правило, слова первой группы (*восьса* *ёдзёс* «открытая дверь», *пёдса* *ёшинь* «закрытое окно», *куньса* *син* «закрытые глаза», *сиптыса* *лавка* «закрытый магазин»), которые в предикативной функции в сочетании с глаголом могут получать адвербиальные значения, напр.: *ошиньсё пыр* *восьса* (= *восьсён* нареч.) *кольё* «окно всегда открытым оставляет, букв. в открытом виде»; *ёдзёссё* *пёдса* (= *пёдсён* нареч.) *видзё* «дверь запертой держит, букв. в закрытом положении». Вместе с тем они никогда не используются для выражения второстепенного сопутствующего действия, т.е. в роли деепричастия, как в удмуртском, напр., удм. *синзэ* *кыньыса* *кылле* «лежит, закрыв глаза» нельзя передать коми **синсё* *куньса* *куйлё*, а только с помощью деепричастия на *-ёмён*: *синсё* *куньёмён* *куйлё*.

Группа слов со значением положения в пространстве имеет несколько иные характеристики. В большинстве случаев они сохраняют значение сопутствующего действия или обстоятельства действия, сближаясь с удмуртскими соответствиями, ср.:

кз. *пукса* *унмовсьны*

кп. *пуксу* *онмёссьыны*⁴

примеры: *сувтса* «стоячий», *водса* «лежачий», *тёдса* «известный» и *тупкыса* «закрытый», он отмечает, что таких слов не много. Однако он ошибочно (видимо, из-за слова *тупкыса* «закрытый») выделяет суффикс *-(ё)са*, который, по его мнению, «легко отсекается на *-(ё)с* и *-а*, ср. наречия *сувтсён* «стоя», *водсён* «лежа» [8, с. 88]. На самом деле слово *тупкыса* образовано по той же модели, что другие слова этого разряда, с помощью суф. *-са* от глагола *тупкыны* «закрыть» > *тупкыса*, ср. диал. вым.нв.уд.сс. *тупкыса*, вв. *тупкиса*. Переход последнего гласного основы *ы* > *ё* мог произойти под влияние многочисленного разряда отглагольных прилагательных с суф. *-ёс*, *-ёс-а*, вроде *пётёс*, диал. вым.нв.уд.л. *пётёса*, вв. *пётса* «упитанный». Аналогично *сиптыса* > диал. уд. *сиптёса*, вым. *сиптэса* «закрытый» [9, с. 297, 301, 337, 381].

³ Слово *тёдса* следует исключить из разряда отглагольных прилагательных, поскольку оно, видимо, образовано от имени кз. *тёд*, кп. *тёдыв*, удм. *тёд* «память», которое сохранилось в сочетаниях вроде *тёд* *вылб* *воны* «вспомнить, букв. прийти на память». Поскольку это имя в коми языке вышло из активного употребления, слово *тёдса* стало ассоциироваться с глаголом *тёдны* «знать» и по аналогии оказалось включенным в разряд отглагольных прилагательных. В современном коми языке это слово ведет себя как обычное прилагательное.

⁴ Коми-пермяцкие примеры сообщила Е.Н. Федосеева, носитель северного наречия коми-пермяцкого языка.

² Не случайно Д.В. Бубрих отыменные и отглагольные образования рассматривает в разных группах. Приводя те же

удм. **пукыса** умме усьны
«уснуть сидя»

кз. **сувтса** сёйны
кп. **султсу** сёйны

удм. **сылыса** сиськыны
«стоя есть»

кз. **водса** лыддьысьны
удм. **выдыса** лыдьыны
«лежа читать»

Эти слова почти не встречаются в позиции определения к именам, напр., нельзя сказать *пукса морт «сидящий человек», *водса висьысь «лежачий больной», *сувтса ва «стоячая вода» и т.д., поэтому приводимые в грамматиках и словарях адъективные значения: «стоячий», «лежачий», «сидячий» точнее было бы передавать как наречные: *сувтса* «в стоячем положении, состоянии», *водса* «в лежачем состоянии», *пукса* «в сидячем положении». Об этом свидетельствуют и данные коми диалектов, в которых, хотя тоже очень ограничено, эти слова выступают в функции деепричастий и наречий. Так, В.А. Ляшев пишет, что в вымских говорах наблюдается «факт замены деепричастий на -омён деепричастиями на -са; редкие примеры относятся к небольшой группе деепричастий значения состояния» и приводит те же три слова: *мудзёма*, *пукса* и *унмовсьёма* «устал, сидя и уснул»; *водса шоччö* «лежа отдыхает»; *тэ сутса сёрнит*, *тэньсьöд юалöны* «ты стоя говори, у тебя спрашивают». Он также отмечает дальнейшую адвербиализацию деепричастных форм в примерах, вроде *сутса* (лит. *сувтса*) *зэрö* «стоймя льёт дождь», *потшъяссö сутса вайöны* «жердей много (букв. стоймя – Г.Ф.) везут» [10, с. 157 – 158]. Аналогичное употребление приведенных форм, обозначающих «действие, совершаемое одновременно с другим действием и вместе с тем способ действия», зафиксировано в ижемских говорах: *вотса лыддьыс'э* «лежа читает», *сутса сёйз* «стоя кушает», *пукса уз'э* «сидя спит», однако, как и в остальных коми-зырянских диалектах, эти формы рассматриваются в группе отглагольных прилагательных, вместе со словами *войса* (< *воиса*, лит. *воиса*) «открытый», *сутса зэр* «сплошной, проливной дождь», *сиптыса* «закрытый (напр., о двери)», *тöтса* (лит. *тöдса*) «знакомый» [11, с. 62, 102].

В современном коми языке можно наблюдать некоторую тенденцию к преодолению размытости значений, а именно к функциональному расподоблению деепричастно-наречных и адъективно-причастных форм. Так, в ижемском, удорском и лузско-летском диалектах рассматриваемые формы в функции прилагательных-причастий спорадически имеют на конце дополнительный элемент -с, который, видимо, появляется по аналогии к прилагательным с суффиксом -эс (лит. -öс, вроде *варёс* «непослушный, ленивый», *писькös* «ловкий, пронырливый, пытливый», *алькös* «пологий, отлогий» и т.д.). При этом слова второй группы приобретают способность выступать в роли определений к именам, напр., иж. *вотсас чумалиысь карэныс сутсас*

чумали «из собранных снопов ставят суслоны», букв. «из лежащих суслонов делают стоячие суслоны»; *сутсас пила* «продольная пила, букв. стоячая пила»; уд. *сувтса*, *сувтсас* «стоячий»: *сувтсас зэр* «проливной дождь», *сувтсас лу* «стоячее дерево», *сувтсас син* «бесстыжие глаза, букв. стоячие глаза»; *водса*, *водсас* «лежачий»; *пукса*, *пуксас* «сидячий»; лет. *тöтса*, *тöтсас* «знакомый» [11, с. 62; 12, с. 47; 13, с. 57]. С другой стороны, в большинстве коми диалектов, а также в литературном языке, «наиболее деепричастные» слова со значением положения в пространстве подверглись дальнейшей адвербиализации (*водсөн* < *водса-өн* «лежа», *сувтсөн* < *сувтса-өн* «стоя», *пуксөн* < **пукса-өн* «сидя»), несомненно, под влиянием деепричастий на -омён, ср., напр., вым. *водсаён*, *водёмён* «лежа, в лежачем положении»: *водсаён*, *водёмён лыддьысьны* «читать лежа» [14, с. 197].

В рамках общенационального языка все отглагольные образования на -са имеют весьма ограниченное употребление. В живой речи встречаются, в основном, слова со значением «открытый» – «закрытый» в функции определения к именам, адвербиальные же значения уже почти не воспринимаются носителями коми языка.

Из сказанного следует, что коми и удмуртские образования на -са, по крайней мере, в современных языках вряд ли могут рассматриваться как однопорядковые «соответствия». Различия их достаточно существенны, чтобы однозначно возводить к общему источнику, тем более что среди исследователей нет единого мнения об их происхождении.

Имеется версия, что коми «отглагольные прилагательные» и удмуртские деепричастия на -са восходят к неким отглагольным именам общепермского праязыка, которые почти полностью (за исключением отдельных реликтовых форм) были утрачены коми языком, а в удмуртском развились в продуктивный разряд деепричастий. Так, П.Н. Перовщиков считает, что исторически удмуртские деепричастия на -са, как и все другие деепричастия финно-угорских языков, «были именами, выражавшими понятие действия или состояния». Об этом свидетельствуют очень редкие примеры из южно-удмуртских диалектов, в которых деепричастия на -са имеют при себе послелог (напр., *басьтыса вылысь* «получая», *ыбыса вылысь* «стреляя»), изредка встречаются с приименной отрицательной частицей *öвöl* и (крайне редко) имеют лично-притяжательный суффикс (*пересьмисаям* букв. «в старении моем»). Далее он отмечает, что «в деепричастиях на -са обнаруживаются и другие пережитки именных свойств», а именно: они, хотя и очень редко, могут выступать в функции определения к имени, напр., *кураськыса улон* «нищенская жизнь», *курадзьыса улон* «тяжелая, букв. страдающая жизнь». Об этом же говорят отглагольные прилагательные коми языка, вроде *сувтса лу* «стоячее дерево», *куньса син* «закрытые глаза» и т.д. [15, с. 39 – 42].

Из этого следует, что суффикс -са также должен быть связан с именным словообразованием. П.Н. Перовщиков, а вслед за ним Б.А. Серебренников [15, с. 44; 16, с. 307] считают, что он мог воз-

никнуть из контаминации с-ового суффикса отглагольных существительных (в словах вроде удм. *вошт-ос* «предмет обмена» < *воштыны* «менять», коми *верд-ас* «корм» < *вердны* «кормить» и т.д.) и некоего суффикса -а, который сохранился в отдельных падежных формах (напр., удм. *гурт-а-мы* «в нашей деревне», коми *вѳр-а-ным* «в нашем лесу»), отвергая версию Ф. Видемана и А.И. Емельянова о возможности выведения конечного -а из possessивного суффикса -а прилагательных (напр., коми *шуда*, удм. *шудо* «счастливый») ⁵.

С другой стороны, многие исследователи отмечают близость удмуртского деепричастия к чувашскому деепричастию на -са, -се, ср. чув. *пуйса кай* «стать богатым», *салтса ил* «развязать», *сулса ир* «махать», *сулса кай* «качнуться» и т.д., которое считается рефлексом древнетюркского причастия на -сар, и связывают происхождение пермских образований на -са с тюркским влиянием. Так, В.И. Лыткин и Т.И. Тепляшина прямо пишут: «Мы склонны думать о чувашском его (суф. -са – Г.Ф.) происхождении. Форма на -са может быть заимствована пермскими народами из древнечувашского языка еще в прапермскую эпоху, о чем говорит наличие его в говоре кольских коми с аналогичным же значением» [17, с. 192 – 193].

Эти две версии не являются взаимоисключающими. Можно предположить, что отглагольные имена на -са, возникшие как общепермская инновация, попали под влияние древнечувашского языка и по причине более тесных и продолжительных контактов последнего с праудмуртскими диалектами получили широкое распространение в удмуртском языке. Л.С. Левитская, отмечая близость удмуртских деепричастий к чувашским, которые генетически связывает с общетюркским отглагольным именем (причастием) с условно-временным значением на -са, -се, не исключает возможность контаминации последнего с пермским отглагольным именем на -са и последующего общетюркского влияния на формирование удмуртского деепричастия [18, с. 103 – 104].

Однако и при этом объяснении происхождения пермских «деепричастий» на -са вопросы остаются и, прежде всего, в отношении интерпретации коми материала. Если предположить, что в общепермском праязыке существовало собственное или появившееся под древнечувашским влиянием отглагольное имя (→ причастие, деепричастие) на -са, то когда этот разряд исчез из коми языка? Надо думать, это могло произойти уже в отдельной жизни пермских языков. Тогда возникает вопрос, почему коми язык отказался от деепричастия на -са и выработал свои соответствия на -ѳмѳн, ср., напр., удм. *быгатыса ужаны*, коми *кужѳмѳн уджавны*

«умеючи работать»; удм. *сисъкиз пукыса*, коми *пуксьѳмѳн сѳис* «ел стоя»; удм. *невестазз вайо*, *ымнырсэ пыдтаса*, коми *невестасѳ вайѳдѳсны чужѳмѳн тупкѳмѳн* «приводят невесту, закрыв ее лицо» и т.д.? Ведь структура абсолютно всех «сохранившихся с общепермского времени» слов до сих пор понятна носителям коми языка, что предполагает возможность и даже некоторую облигаторность активного формообразования?

Далее, «общепермское происхождение» коми слов предполагает сохранение некоторой грамматической общности с древним (реконструируемым) состоянием удмуртских соответствий. Однако те именные характеристики, которые приводит П. Перевощиков (употребление с послелогом, возможность оформления лично-притяжательным суффиксом), не приемлемы для коми языка. Удмуртские же образования не встречаются в функции определения к существительным, вроде *куньса син* «закрытые глаза». Принятое утверждение, что и удмуртские «деепричастия на -са часто употребляются в функции определения к имени» [17, с. 192], подтверждается только конструкциями «деепричастие + имя действия»: *шудыръясъкыса улон* «веселая жизнь», *тупаса улон* «дружная жизнь», *курасъкыса улон* «нищенская жизнь», *курадъыса улон* «тяжелая, букв. страдающая жизнь», *пукыса улон* «сидячий образ жизни», которые, по существу, равны глагольным, ср., *шудыръясъкыса улыны* «веселясь жить», *курасъкыса улыны* «нищенствуя жить», *курадъыса улыны* «страдающая жить» и т.д. и должны рассматриваться как трансформация последних, а не собственно именная конструкция.

Не выглядит убедительной и гипотеза о происхождении форманта -са путем контаминации именного словообразовательного суффикса и падежного элемента, прежде всего, с точки зрения необходимости: неясно, зачем столь сложным способом создавать новый суффикс отглагольных имен на базе такого же отглагольного суффикса имен, учитывая, что в общепермском праязыке уже существует сложившаяся система причастных и деепричастных форм.

Все сказанное позволяет усомниться в общепермском происхождении рассматриваемых образований. Однако остается вопрос, каково в таком случае происхождение коми отглагольных имен на -са? Возможно, ответ кроется в диалектной раздробленности прапермян и исторических передвижениях отдельных групп населения внутри языкового коллектива? Во всяком случае, версия о миграционном характере проникновения этих слов в пракоми диалекты, по нашему мнению, лучше объясняет современную ситуацию с коми образованиями на -са, которые создают впечатление «слабого отзвука», затухающей изоглоссы, распространенной в северном направлении.

Можно предположить, что некоторые деепричастные формы на -са появились в южнокоми регионе под влиянием удмуртского (? древнечувашского) языка как периферийное явление. О достаточно раннем образовании косвенно свидетельствует их структура: три слова образованы непосред-

⁵ К слову сказать, в коми диалектах имеются прилагательные, образованные именно по этой модели, напр., кз.диал. *вым.л.нв.уд. пѳтѳс-а*, *иж.вв. пѳтѳс-а*, *лит. пѳтѳс* «питательный, сытный» < *пѳт-ны* «насыщаться»; *вв.л.печ.скр.сс. вѳсь-ласа*, *нв. вым. вѳсьлѳса* «шагистый (о лошади)» < *вѳсьлас*, *вѳсьлѳс* «шаг», «шагистость (о лошади)» < *вѳсь-лав-ны* «шагать» и др. [11, с. 61; 9, с. 61, 301].

ственно от основы инфинитива: *вод-ны* «лечь», *кунь-ны* «закрыть глаза», *тод-ны* «знать», остальные – от связных основ, ныне не употребляющихся без суффиксального оформления: *пук-* (*пук-ав-ны* «сидеть», *пук-сьы-ны* «сесть», *пук-од-ны* «заставлять сидеть», диал. нв.уд. *пук-ны* «сидеть»); *вось-* (*вось-т-ны* «открыть», *вось-сьы-ны* «открыться»); *пёд-* (*пёд-л-ав-ны* «закрыть», ср. диал. лл. *пёд-ны* «закрыть, затворить», *пёд-ан:* *пач пёдан* «заслонка печи»); *туп-* (*туп-кы-ны*, диал. *туп-йы-ны*, *туп-лыы-ны* «закрыть», *тупйод* «затычка», диал. *тупкёд* «крышка»); *сув-* ~ *сул-* (*сув-т-ны* «встать», *сул-ав-ны* «стоять»); *сип-* (*сип-ты-ны* «закрыть»)⁶. С миграцией отдельных групп пракоми населения из Прикамья эти слова переместились в северном направлении, сначала на территорию Прилузья, а затем в другие регионы современного проживания коми-зырян.

Эта версия хорошо согласуется с неоднократно высказанной мыслью о связи северо-западных диалектов коми языка с южнокоми регионом и Прикамьем⁷, а также подтверждает высказанную В.А.

⁶ Небезынтересно отметить, что почти все приведенные основы представлены и в других языках волго-камского ареала, а именно: *вось-*: *восьтыны*, удм. *усьтыны* «открыть», *усяны* «открывать» < общеперм. **ʋst-*; корень *ʋst-* и суф. *-t-*. Возможно, древнечувашского происхождения, ср. чув. *us'* «отворять, отпирать, отпирать, раскрывать» [19, с. 64]; *пёд-*: *пёдан* «заслонка», *пёдлавы* «закрыть», удм. *пытсаны* «закрыть, запереть», *пытсэт* «крышка, засов» < общеперм. **pōd-* (?**pūd-*) || венг. *fődni* «покрывать, прикрывать» < доперм. **pentz* [19, с. 227]. Ср. чув. *пыт-*: *пытан* «прятаться, укрываться, скрываться»: *пытанса пурән* «скрываться, жить, скрываясь» с тюркской этимологией; ? *пытёр* «запирать, закрывать», «замкнуть», «затыкать» [20, с. 303, 281]; *туп-*: *тупкыны* «закрыть, заслонить, затыкать», диал. уд. *туп шебрасыны* «накрыться с головой одеялом», удм. *тып-тып* «наглухо, совсем» < общеперм. **tup-* «закрыть, заткнуть» || фин. *tuketa* «закрывать, затыкать» < доперм. **tupkz-* [19, с. 286]; *вод-*: *водны*, удм. *выдыны* «ложиться, лечь, улечься» < общеперм. **vōd-* «лечь» || ? манс. *унтукве* «сесть» [19, с. 61]. ?Ср., чув. *вырт* «лежать, ложиться, развалиться»: *выртса* ил «полежать», *выртса кай* «переночевать»; *кәнса вырт* «умереть», букв. «умерев лежать» [20, с. 82, 149]; *кунь-*: *куньны*, удм. *кыныны* «закрыть, смежить глаза» < общеперм. **kup-* «закрыть глаза» || мар. *кумаш*, эрз. *конямс*, венг. *hupli* «тж.» < доперм. **kup'a-* «закрыть глаза» [19, с. 146]. ? Ср. чув. *кан* «отдыхать», *канәс* «покой, отдых», *кунё* «спокойный, тихий, смирный», *кунёлен* «становиться спокойным, тихим» [20, с. 133, 178]; *пук-*: *пукавыны*, диал. *пукны*, удм. *пукыны* «сидеть» < общеперм. **puk-* «сидеть» || ? венг. *fekzik* «лежать» < доперм. **ʋzkkz-*; удм. *пукон* > чув. *puḡan* > мар. *пукен* «стул» [19, с. 232]; *сувт-*: *сувтыны* «встать», *сулавыны* «стоять», удм. *султыны* «встать, подняться», *сылыны* «стоять» < общеперм. **su-* «стоять» || мар. *шалгаш* «стоять», венг. *alani* «тж.» < доперм. **salkz-* [19, с. 265].

⁷ Исследователями выявлен целый комплекс диалектных признаков, объединяющих северо-западные говоры (вым. уд. иж.) с южно-коми и прикамским миром, напр.: оглушение конечного звонкого согласного, в частности, комитатив на *-кот* (уд.кп.верхнекам.кя.); эгрессив на *-ысьодз*, *-ысьэдз*, *-исьэдз* (вым.иж.уд.лл.); аккузатив на *-лы*, *-лб* (вым.иж. лл.сев. кп.верхнекам., южн. куд.-иньв.-вб); элатив *-ись* (вв.уд. кп.кя. верхнекам.); суф. мн.ч. *-йэс* -эс, *-йэз* -эз (уд., л. кп.); суф. коллективной множественности *-ян* (нв. вым. лл.); суф. неополного качества прилагательных *-гём* (нв.вым.иж. лл.вс. верхнекам.); *т-*овое дальнеуказательное местоимение (иж.уд.нв.кя.); *н-*овое указательное местоимение (иж.вым. кп.кя.); адъективные местоимения без конечного *-м:* *сэтшб* «такой»,

Ляшевым мысль о проникновении диалектных явлений из Прикамья на Вымь, Удору и Ижму «двумя обходными путями – через верхнепечорские говоры, с одной стороны, и через лузско-летские, с другой. При этом центральная зона остается непроницаемой» [23, с. 44]. Так, образования на *-са* лучше сохранились в северо-западных коми-зырянских диалектах – вымском и ижемском, напр., в говоре кольских коми зафиксирована форма *куйласа* (< *куйлыны* «лежать»): *куйласа лыддысьсэ* «лёжа читает» [11, с. 146], ср. удм. *кыллыса лыдысьске* «тж.». Она может быть квалифицирована как локальное новообразование по аналогии к *водса лыддысьсны* «лежа читать». В южнокоми же регионе эти образования выглядят архаично, почти не воспринимаются говорящими как слова родного диалекта, сохраняясь в отдельных говорах, напр., в летском говоре лузско-летского диалекта зарегистрировано устойчивое выражение *бёрдса банён* «с заплаканным лицом» (от *бёрдны* «плакать») [13, с. 57], которое неизвестно другим носителям диалекта. Коми-пермяцким языком отглагольные образования на *-са* также почти утрачены, хотя некоторые из них отмечены в словарях, напр., кп. сев. *водса* «лежачий» и *пёдса* то же что *пёдана* «закрытый» [24, с. 77, 363]. Это можно расценивать как свидетельство о более раннем их проникновении в южные говоры по сравнению с северо-восточными. Изоглоссу подтверждает и явление дополнительной «адъективации» отглагольных образований с помощью элемента *-с*, о котором говорилось выше, также представленное в северо-западных (иж., уд.) и лузско-летском диалектах.

Из северо-западных и прилузских говоров эти образования могли проникнуть в центральную диалектную зону сысольско-средневычегодского бассейна, где, не найдя поддержки в «языковой памяти», попали под влияние отмененных прилагательных на *-са* и подверглись адъективации. Если высказанное предположение верно, то появление «отглагольных прилагательных» на *-са* в коми языке следует связать с поздними миграционными потоками, наиболее интенсивные из которых датируются примерно серединой II тыс. н.э. [23, с. 144].

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН в 2012 – 2014 гг. «Истоки и традиции уральских культур: пространственно-временная динамика».

Сокращения

вв. – верхневычегодский диалект коми языка, **венг.** – венгерский язык, **верхнекам.** – верхнекамские говоры коми-пермяцкого языка, **вс.** – верхнесысольский диалект коми языка, **вым.** – вымский диалект коми языка, **иж.** – ижемский диалект коми языка, **кз.** – коми-зырянский язык, **кп.** – коми-пермяцкий язык, **куд.-иньв.** – кудымкарско-иньвенский диалект

кутшб «какой» (уд. лл.удм.); отрицательные глаголы *иг*, *ин*, *из* (иж. уд. вым. нв. кя. юж. кп.) и мн. другие фонетические и грамматические явления, а также общая лексика (21, с. 155-58; 22; и др.)

коми-пермяцкого языка, **кя.** — коми-язьвинский диалект, **л.** — летский говор лузско-летского диалекта, **лл.** — лузско-летский диалект коми языка, **манс.** — мансийский язык, **мар.** — марийский язык, **нв.** — нижневыходский диалект коми языка, **печ.** — печорский диалект коми языка, **сев. кп.** — северные говоры коми-пермяцкого языка, **скр.** — присыктывкарский диалект коми языка, **сс.** — среднесыольский диалект коми языка, **уд.** — удорский диалект коми языка, **удм.** — удмуртский язык, **фин.** — финский язык, **чув.** — чувашский язык, **эрз.** — эрзя-мордовский язык, **юж.кп.** — южные говоры коми-пермяцкого языка.

Литература

1. *Berezcki G. Türkische Züge in der Struktur des Syrjänischen und ihr Ursprung // Rédei-Festschrift. Wein-Budapest, 1992. S.71–76. См. тж. Türkische Züge in der Struktur des Syrjänischen und ihr Ursprung // Berezcki Gábor 70. születésnapja tiszteletére. Budapest: ELTE Finnugor Tanszék, 1992. S. 277–281.*
2. *Серебренников Б.А.* Категория времени и вида в финно-угорских языках пермской и волжской групп. М., 1960. 299 с.
3. *Чхаидзе М.П.* О происхождении и функциях марийских и удмуртских спаренных глаголов // Вопросы финно-угорского языкознания. Ижевск, 1967. С. 247–259.
4. *Кельмаков В.В.* Спаренные глаголы в удмуртском языке (на материале кукморского диалекта) // Вопросы финно-угорского языкознания. Вып.3. Ижевск, 1975. С. 90–195.
5. *Исанбаев Н.И.* Общее и отличительное в составных глаголах марийского и поволжско-тюркских языков // Вопросы марийского языка. Йошкар-Ола, 1978. С. 59–90.
6. *Тараканов И.В.* Удмуртско-тюркские языковые контакты. Ижевск, 1985. 171 с.
7. *Редеев К.* Внутренние и внешние инновации в удмуртском языке (дополнение к языковым связям Волжско-Камского региона) // Материалы X Международного конгресса финно-угроведов: Лингвистика. Йошкар-Ола, 2008. Т. V. С. 203–209.
8. *Бубрих Д. В.* Грамматика литературного коми языка. Л., 1949. 201 с.
9. *Сравнительный словарь коми-зырянских диалектов / Сост. Т.И. Жилина, М.А. Сахарова, В.А. Сорвачева. Сыктывкар, 1961. 489 с.*
10. *Ляшев В.А.* Фонетико-морфологические особенности вымского диалекта коми языка: Дисс. ... канд. филол. наук // НА Коми НЦ УрО РАН. 1977. Ф.5, оп. 2, ед. хр. 218. 267с.
11. *Сахарова М.А., Сельков Н.Н.* Ижемский диалект коми языка. Сыктывкар, 1976. 288 с.
12. *Сорвачева В.А., Безносикова Л.М.* Удорский диалект коми языка. М.: Наука, 1990. 283 с.
13. *Жилина Т.И.* Лузско-летский диалект коми языка. М.: Наука, 1985. 271 с.
14. *Жилина Т.И.* Вымский диалект коми языка. Сыктывкар, 1998. 438 с.
15. *Перевошиков П.Н.* Деепричастия и деепричастные конструкции в удмуртском языке. Ижевск, 1959. 328 с.
16. *Серебренников Б.А.* Историческая морфология пермских языков. М., 1963. 390 с.
17. *Основы финно-угорского языкознания (марийский, пермские и угорские языки). М.: Наука, 1976. 464 с.*
18. *Левитская Л.С.* Историческая грамматика чувашского языка. М.: Наука, 1976. 206 с.
19. *Лыткин В.И., Гуляев Е.С.* Краткий этимологический словарь коми языка. Сыктывкар, 1999. 430 с.
20. *Чувашско-русский словарь / Под. ред. М.Я. Сироткина. М., 1961. 629 с.*
21. *Баталова Р.М.* Ареальные исследования по восточным финно-угорским языкам (коми языки). М.: Наука, 1982. 168 с.
22. *Сажина С.А.* Ареальные морфологические параллели в диалектах пермских языков // История, современное состояние, перспективы развития языков и культур финно-угорских народов / Материалы III Всероссийской научной конференции финно-угроведов (1-4 июля 2004 г., Сыктывкар). Сыктывкар, 2005. С. 182 – 184.
23. *Ляшев В.А.* Миграционный фактор в развитии средневековых культур северного Приуралья / А.М. Мурыгин, К.С. Королев, В.А. Ляшев. Сыктывкар, 1984. С. 39 – 46 (Научные доклады / Коми фил. АН СССР; Вып. 105.); он же. Вопросы коми-зырянского лингвогенеза // Сущность, развитие и функции языка. М.: Наука, 1987. С. 141–146.
24. *Коми-пермяцко-русский словарь / Сост. Р.М. Баталова, А.С. Кривошекова-Гантман. М., 1985. 624 с.*

Статья поступила в редакцию 10.12.2013.

УДК 811.511.131'28

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ФОРМЫ ПРОШЕДШЕГО ВРЕМЕНИ В СЕВЕРНЫХ ДИАЛЕКТАХ УДМУРТСКОГО ЯЗЫКА

Л.Л. КАРПОВА

Удмуртский институт истории, языка и литературы, г. Ижевск
karpovalud@rambler.ru

В статье освещаются количественный состав и особенности функционирования аналитических форм прошедшего времени в северных диалектах удмуртского языка. Основное внимание уделяется наиболее распространенным аналитическим формам прошедшего времени. Даются полные парадигмы спряжения, отмечаются структурные и семантические особенности функционирования рассматриваемых форм в северных диалектах в сравнении с аналогичными формами других удмуртских диалектов.

Ключевые слова: морфология, глагол, прошедшее время, аналитическая форма, диалект, удмуртский язык

L.L. KARPOVA. ANALYTICAL PAST TENSE FORMS IN THE NORTHERN DIALECTS OF THE UDMURT LANGUAGE

The paper deals with quantitative composition and peculiarities of functioning of analytical past tense forms in the Northern dialects of the Udmurt language. The main attention is paid to the most widely spread analytical forms of past tenses. Full paradigms of conjugation are given, structural and semantic features of functioning of considered forms in northern dialects in comparison with similar phenomena of the other Udmurt dialects are noted.

Keywords: morphology, verb, Past Tense, analytical form, dialect, the Udmurt language

Традиция научного изучения аналитических форм прошедшего времени, заложенная в первых грамматиках удмуртского языка [1], неразрывно связана с исследованием данной глагольной категории в общепермско-угорском аспекте [2]. Описанию системы сложных форм прошедшего времени в пермских языках посвящены работы Б.А. Серебренникова и И.В. Тараканова [3]. Многие теоретические вопросы, касающиеся аналитических форм прошедшего времени, нашли отражение в «Грамматике современного удмуртского языка», в статьях Р.Ш. Насибуллина, Б.Ш. Загуляевой, В.В. Поздеева [4] и др., однако своеобразие функционирования сложных прошедших времен в удмуртских диалектах еще не получило должного освещения. Данное исследование посвящено описанию характерных особенностей аналитических прошедших времен в северноудмуртских диалектах. Фактический материал анализируется и интерпретируется, по возможности, в контексте удмуртского языкового диалектного ландшафта.

В пределах северного наречия принято выделять три группы говоров, или три диалекта: верхнечепецкий, среднечепецкий и нижнечепецкий. В статье рассматривается, главным образом, материал среднечепецкого и верхнечепецкого диалектов, которые в последние несколько десятилетий являются объектом изучения автора. В функционировании аналитических прошедших времен указан-

ные диалекты особых различий между собой не проявляют, поэтому в работе мы оперируем в основном термином «северноудмуртские диалекты».

В северноудмуртских диалектах, как и в удмуртском языке в целом, аналитические формы прошедшего времени образуются сочетанием спрягаемой формы основного глагола с неспрягаемой формой вспомогательных глаголов *вал* «было» и *вылэм* «оказывается было». Подобный тип образования аналитической формы прошедшего времени в урало-финских языках принято называть восточной моделью, которая, помимо удмуртского, представлена в коми и венгерском языках. Восточная модель напоминает соответствующую модель тюркских языков в отношении следования вспомогательного глагола за основным, но не в отношении спрягаемости этих глаголов: в тюркских языках спрягается вспомогательный глагол, а основной стоит в неспрягаемой форме [5]. Возникновение этой модели в финно-угорских языках исследователи, как правило, объясняют тюркским влиянием [6]. Подобная трактовка некоторыми лингвистами ставится под сомнение и, как нам представляется, не без оснований. В частности, А. Кюннап, освещая аналитические формы прошедшего времени в уральских языках, обращает внимание на то, что восточная модель имеет место и в самодийских языках. Это наводит исследователя на мысль, что возникновение восточной модели аналитических форм прошедшего времени

нельзя связывать только со сравнительно поздним влиянием тюркских языков. Вполне допустимо предположить, что это уральское явление [7]. Е.А. Цыпанов, исследуя систему аналитических прошедших времен в коми языке, также отмечает, что материал коми языка не дает повода для однозначного решения в пользу гипотезы о развитии аналитических прошедших времен под влиянием тюркских языков, «так как коми язык никогда не имел каких-либо интенсивных контактов с тюркскими языками» [8].

До настоящего времени среди ученых нет единодушия относительно количества аналитических форм прошедшего времени в удмуртском языке, существуют расхождения и терминологического плана [9]. Разногласия среди исследователей, по мнению В.В. Поздеева, объясняются прежде всего неразработанностью научно обоснованных критериев отграничения глагольных аналитических конструкций от свободных словосочетаний и других аналогичных синтаксических образований. Действительно, ни в одной из работ по данной проблематике такие критерии не даются. В.В. Поздеев предлагает следующие критерии для квалификации аналитических глагольных конструкций: 1) структурная раздельнооформленность компонентов аналитической конструкции; 2) их синтаксическая позиция в структуре сочетания; 3) употребление в качестве первого компонента только одной части речи – глагола; 4) способность любого глагола к образованию парадигмы спряжения; 5) смысловая цельнооформленность, базирующаяся на идиоматичности всего сочетания; 6) синтаксическая функция всего аналитического образования; 7) интонационное оформление аналитической конструкции. В дальнейшем, исходя из этих критериев, исследователь выделяет десять аналитических конструкций удмуртского глагола, девять из которых представляют следующие формы прошедшего времени: 1) первый плюсквамперфект, или преждепрошедшее время: *верам вал* 'он говорил раньше'; 2) второй плюсквамперфект: *верай вал* 'я сказал раньше'; 3) прошедшее многократное: *мыно вал* 'я ходил неоднократно'; 4) прошедшее длительное: *верасько вал* 'я говорил'; 5) первый плюсквамперфект абсентива: *верам вылэм* 'он, оказывается, говорил раньше'; 6) прошедшее многократное абсентива: *луко вылэм* 'я, оказывается, сидел'; 7) прошедшее длительное абсентива: *верасько вылэм* 'я говорил, оказывается'; 8) модальное прошедшее, или модальный претерит: *ужаз, луоз* 'он, наверное, работал'; 9) модальный перфект: *жадем луоз* 'он, наверное, устал' [10]. Предложенная В.В. Поздеевым классификация аналитических форм удмуртского глагола представляется нам вполне обоснованной, поэтому при рассмотрении сложных форм прошедшего времени в северноудмуртских диалектах мы исходим из этой классификации.

Анализ имеющегося диалектного материала показывает, что из перечисленных выше аналитических прошедших времен в северноудмуртских диалектах обнаруживаются первый плюсквамперфект, второй плюсквамперфект, прошедшее длительное, прошедшее многократное, первый плюс-

квамперфект абсентива, прошедшее многократное абсентива, прошедшее длительное абсентива. Наиболее распространенными из них являются первый плюсквамперфект, второй плюсквамперфект, прошедшее многократное, прошедшее длительное, прошедшее длительное абсентива. Рассмотрим парадигму спряжения и семантику употребления этих времен в исследуемых диалектах.

1. Первый плюсквамперфект образуется из форм перфекта, к которым прибавляется вспомогательный компонент *вал*.

Утвердительная форма

ед. число

- | | |
|---|-----------------------|
| 1 л. <i>вэрам вал</i> ~
<i>вэрас'кэм вал</i> | 'я говорил (раньше)' |
| 2 л. <i>вэрам(эд) вал</i> | 'ты говорил (раньше)' |
| 3 л. <i>вэрам вал</i> | 'он говорил (раньше)' |

мн. число

- | | |
|--|-------------------------|
| 1 л. <i>вэра-м(мы) вал</i> ~
<i>вэрас'кэ-ммы вал</i> | 'мы говорили (раньше)' |
| 2 л. <i>вэра-м(ды) вал</i> ~
<i>вэрал'л'а-м(ды) вал</i> | 'вы говорили (раньше)' |
| 3 л. <i>вэра-м(зы) вал</i> ~
<i>вэрал'л'а-м(зы) вал</i> | 'они говорили (раньше)' |

Отрицательная форма

ед. число

- | | |
|---|--------------------------|
| 1 л. <i>өвәл вэрам вал</i> ~
<i>өвәл вэрас'кэм вал</i> | 'я не говорил (раньше)' |
| 2 л. <i>өвәл вэрам(эд) вал</i> | 'ты не говорил (раньше)' |
| 3 л. <i>өвәл вэрам вал</i> | 'он не говорил (раньше)' |

мн. число

- | | |
|--------------------------------------|----------------------------|
| 1 л. <i>өвәл вэрас'кэ-м(мы) вал</i> | 'мы не говорили (раньше)' |
| 2 л. <i>өвәл вэрал'л'а-м(ды) вал</i> | 'вы не говорили (раньше)' |
| 3 л. <i>өвәл вэрал'л'а-м(зы) вал</i> | 'они не говорили (раньше)' |

Итак, в северноудмуртских диалектах основной перфектный глагол в плюсквамперфекте в некоторых лицах имеет два варианта употребления: *вэра-м(ды)* и *вэрал'л'а-м(ды)*. Наличие подобных параллельных форм связано с историей образования перфекта в удмуртском языке. Считается, что основой перфектного глагола в удмуртском языке является причастие на -м, которое в северноудмуртских диалектах в 1 л. и 3 л. единственного числа употребляется без личных формантов. Наличие в удмуртском языке, в изучаемых диалектах в частности, вариантной формы с -с'к- в 1 л. единственного и множественного числа объясняется влиянием формы 1 л. единственного числа настоящего времени [11]. Что касается перфектных форм 2 л. и 3 л. множественного числа типа *вэрал'л'а-м(ды)*, *вэрал'л'а-м(зы)*, то они осложнены суффиксом -л'л'-, возникшим из сочетания -лй- мно-

гократных суффиксов -л- и -й-: -лй- > -л'л'- [12]. Наблюдения показывают, что в северноудмуртских диалектах формы с -л'л'- встречаются намного чаще, чем обычные перфектные формы. Следует указать, что отрицательные формы 2 л. и 3 л. множественного числа перфекта в плюсквамперфекте нами зафиксированы в среднечепецких говорах только в варианте с -л'л'-а. Примеры-предложения: сч. – Кел. *йормон айосы н'ан'зэс но ўатыса кэл'тыны ѓвёл валл'л'ам вал гуртоос*. 'В трудные годы войны даже хлеб спрятать **не догадывались было** односельчане.'; вч. – Пол. *скал воз'мас'йос кылыл'л'ам н' и н алэс' кэс'ас'кэмзэ, но ѓвёл лыктыл'л'ам вал от. тин', пэ, оз' ыжйоссэс кийонйос нуил'л'ам*. 'Пастухи слышали крик Нины, но **не пошли было** туда. Вот, мол, так овец волки утащили'.

В утвердительной форме спряжения первый плюсквамперфект имеет следующую особенность. В отличие от южноудмуртских диалектов, в которых употребляются личные формы 2 л. единственного числа и 2 л., 3 л. множественного числа, здесь эти формы основного перфектного глагола могут выступать как с личными формантами, так и без них. Примеры: сч. – МЛуд. *сыкал бас'тил'л'а-мзы вал сос'эд'д'ос, сойэ но вуза-зы*. 'Корову **купили было** соседи, да и ее продали.'; вч. – СГыя *ѓчатскыса ужам вал ми луд вылын, а турнам вал ѓѓ. война бэрэ оз' ужас'ком вал*. 'Соревнуясь **работали было раньше** мы на поле, а **косили было** вместе. После войны так работали мы'. Анализируемый материал показывает, что в северноудмуртских диалектах перфектный глагол в первом плюсквамперфекте имеет тенденцию более последовательного употребления без личных формантов. Е.А. Цыпанов, опираясь на диалектные данные коми и удмуртского языков, предполагает, что развитие личной суффиксации в перфекте может представлять собой более позднее явление [13].

Отрицательные формы первого плюсквамперфекта в исследуемых диалектах образуются подобно второму прошедшему времени аналитическим способом – сочетанием отрицания *ѓвёл* 'не, нет' со спрягаемой формой основного глагола в перфекте и вспомогательным глаголом *вал*. В этом сочетании по лицам и числам изменяется основной глагол, который, как правило, в единственном числе выступает без личных показателей. Во множественном числе в форме 1 л. присутствие личного форманта обязательно, а формы 2 л. и 3 л. могут употребляться как с личными показателями, так и без них, причем намного чаще встречаются формы без личных показателей. Примеры: сч. – Пом. *одиэ мушчурка ѓаѓѓаыс' но кевл шэт'м'ил'л'ам вал п р о н' к аос*. 'Ни один улей в лесу **не нашла была** семья Проньки.'; вч. – Пол. *папсы кулэм шуса, ѓвёл но тодыл'л'ам вал с'эмйазы*. 'Что отец умер, и **не знала было** их семья'. Отметим, что отрицательные формы первого плюсквамперфекта, как и перфекта, в южноудмуртских и срединных говорах, в отличие от северноудмуртских, образуются синте-

тическим способом – присоединением суффикса -тэ к основному перфектному глаголу.

Первый плюсквамперфект обычно обозначает действие, которое происходило и завершилось до начала другого действия: сч. – Вун. *огэз пийэ учит'эл'э ѓшэтскэм вал, кал' нош кѓцѓ кэ ѓсти-зѓ*. 'Один из моих сыновей на учителя **учился было**, сейчас опять куда-то направили еще [учиться]'. Он может выражать действие, которое завершилось когда-то в прошлом, часто без указания момента его совершения: вч. – Тор. *тодматскэм вал мон пэ-рвой хоз'айкэным на ѓ а л' н' э м в о с т о к э. тат со ѓз лык. оз' ик от улны кыл'из*. '**Познакомился было** я с первой женой на Дальнем Востоке. Сюда она не переехала. Так и там осталась жить'. Первый плюсквамперфект употребляется и в тех случаях, когда другого прошедшего времени нет и не подразумевается: сч. – Ел. *та учырээ мон кинлэс' кэ кылэм вал*. 'Об этом случае я от кого-то **слышал было**'.

2. Второй плюсквамперфект образуется из личных форм первого прошедшего времени и вспомогательного глагола *вал*.

Утвердительная форма

ед. число

1 л. <i>шуди вал</i>	'я играл (раньше)'
2 л. <i>шудид вал</i>	'ты играл (раньше)'
3 л. <i>шудиз вал</i>	'он играл (раньше)'

мн. число

1 л. <i>шуди-мы вал</i>	'мы играли (раньше)'
2 л. <i>шуди-ды вал</i>	'вы играли (раньше)'
3 л. <i>шуди-зы вал</i>	'они играли (раньше)'

Отрицательная форма

ед. число

1 л. <i>ѓй шу-ды вал</i>	'я не играл (раньше)'
2 л. <i>ѓт шу-ды вал</i>	'ты не играл (раньше)'
3 л. <i>ѓс шу-ды вал</i>	'он не играл (раньше)'

мн. число

1 л. <i>ѓм шу-дэ вал</i>	'мы не играли (раньше)'
2 л. <i>ѓт шу-дэ вал</i>	'вы не играли (раньше)'
3 л. <i>ѓс шу-дэ вал</i>	'они не играли (раньше)'

Как можно заметить, парадигма второго плюсквамперфекта в исследуемых диалектах не отличается от соответствующей парадигмы других удмуртских диалектов. Особенность проявляется лишь в области акцентуации: глаголы множественного числа в утвердительном аспекте, выступающие с лично-притяжательными суффиксами -*мы*, -*ды*, -*зы*, имеют ударение на предпоследнем слоге, тогда как в большинстве удмуртских говоров в данных формах оно падает на конечный слог. Помимо северноудмуртских диалектов и бесермянского наречия, подобный тип ударения в этих глагольных формах отмечается и в территориально отдаленном южноудмуртском кукморском говоре [14]. Вполне вероятно, что безударность лично-притяжательных суффиксов в указанных формах представляет собой рефлекс раннего состояния удмуртской акцентуационной системы.

Эта форма времени, как и первый плюсквамперфект, может выражать действие, совершившееся до другого действия или до момента речи: сч. — МЛуд. *зѡкѣз пийѣ к и р о вѣн дѣшѣтскиз вал*, *сѡбѣрэ оцѣ ик кѣл'из*. 'Мой старший сын в Кирове **учился было**, потом там же остался'. Иногда второй плюсквамперфект может указать на момент совершения действия: вч. — Ал. *тиз'нал гинѣ сос'эдѣ гыриз вал огородмѣ*. 'На днях только сосед мой **вспахал ('пахал было')** огород мой'.

3. Прошедшее многократное образуется сочетанием личных форм глаголов будущего времени со вспомогательным глаголом *вал*.

Утвердительная форма

ед. число

- | | |
|-----------------------|--------------------------|
| 1 л. <i>тодо вал</i> | 'я знал (неоднократно)' |
| 2 л. <i>тодод вал</i> | 'ты знал (неоднократно)' |
| 3 л. <i>тодоз вал</i> | 'он знал (неоднократно)' |

мн. число

- | | |
|-------------------------|----------------------------|
| 1 л. <i>тодо-мы вал</i> | 'мы знали (неоднократно)' |
| 2 л. <i>тодо-ды вал</i> | 'вы знали (неоднократно)' |
| 3 л. <i>тодо-зы вал</i> | 'они знали (неоднократно)' |

Отрицательная форма

ед. число

- | | |
|--------------------------|-----------------------------|
| 1 л. <i>ук то-ды вал</i> | 'я не знал (неоднократно)' |
| 2 л. <i>ут то-ды вал</i> | 'ты не знал (неоднократно)' |
| 3 л. <i>ук то-ды вал</i> | 'он не знал (неоднократно)' |

мн. число

- | | |
|--------------------------|-------------------------------|
| 1 л. <i>ум то-дѣ вал</i> | 'мы не знали (неоднократно)' |
| 2 л. <i>ут то-дѣ вал</i> | 'вы не знали (неоднократно)' |
| 3 л. <i>ус то-дѣ вал</i> | 'они не знали (неоднократно)' |

В северноудмуртских диалектах спряжение глаголов прошедшего многократного времени почти полностью совпадает с соответствующими формами других удмуртских диалектов и литературного языка. Своеобразие проявляется лишь в постановке ударения в основных глагольных формах с лично-притяжательными суффиксами *-мы*, *-ды*, *-зы*, где оно падает на предшествующий этим суффиксам слог. В отрицательных формах глаголов прошедшего многократного времени ударение наблюдается, как и в остальных удмуртских диалектах, на первом слоге основного глагола.

Наиболее распространенным случаем употребления этого времени является выражение неоднократно повторявшегося действия в прошлом: сч. — Люм *сѣрэ со џужѣмѣз кѣктой-кѣин'мой котса воз'оз вал пѣрэс'мѣ*. 'Потом этот солод два-три дня замачивая держала (**'подержит, бывало'**) наша бабушка'; вч. — БУн. *картошкайѣн с'ис'кыса, талонѣн пѣчи гинѣ н'ан' с'ото-зы вал но, оз' с'ис'кыса, ужал'л'ам ук. и то норма тырмытны заста-вит' карыло-зы вал ук*. 'Питались картошкой, на талон немного хлеба давали (**'дадут, бывало'**), и, так питаясь, ведь работали [мы]. И то норму заставляли (**'заставят, бывало'**) выполнять ведь'.

4. Прошедшее длительное время образуется из спрягаемой формы основного глагола в настоящем времени и вспомогательного глагола *вал*.

Утвердительная форма

ед. число

- | | |
|----------------------------|---------------|
| 1 л. <i>маштас'ко вал</i> | 'я загребал' |
| 2 л. <i>маштас'код вал</i> | 'ты загребал' |
| 3 л. <i>машта вал</i> | 'он загребал' |

мн. число

- | | |
|------------------------------|-----------------|
| 1 л. <i>маштас'ко-мы вал</i> | 'мы загребали' |
| 2 л. <i>маштас'ко-ды вал</i> | 'вы загребали' |
| 3 л. <i>маштало вал</i> | 'они загребали' |

Отрицательная форма

ед. число

- | | |
|-------------------------------|------------------|
| 1 л. <i>уг ма-штас'кы вал</i> | 'я не загребал' |
| 2 л. <i>уд ма-штас'кы вал</i> | 'ты не загребал' |
| 3 л. <i>уг ма-шта вал</i> | 'он не загребал' |

мн. число

- | | |
|-------------------------------|--------------------|
| 1 л. <i>ум ма-штас'кѣ вал</i> | 'мы не загребали' |
| 2 л. <i>уд ма-штас'кѣ вал</i> | 'вы не загребали' |
| 3 л. <i>уг ма-штало вал</i> | 'они не загребали' |

В спряжении северноудмуртских глаголов прошедшего длительного времени отличий по сравнению с другими удмуртскими диалектами не наблюдается. Особенность здесь также проявляется в акцентуации: в утвердительном аспекте в глагольных формах с суффиксами *-мы*, *-ды*, *-зы* ударение находится на предшествующем этим суффиксам слоге.

Прошедшее длительное обозначает продолжительное действие в прошлом, не ограниченное какими-либо рамками: сч. — ВБог. *лѣчь-рал'л'ас'ко-мѣ вал, н'ѣскѣл'л'ас'ко-мѣ вал тин' пѣчи дѣрѣамѣ*. 'На качелях качались мы (**'качаемся, бывало'**), на санках катались (**'катаемся, бывало'**) вот в детстве'. Глагол в форме этого времени употребляется и в тех случаях, когда за одним действием следует другое, вытекающее из первого: вч. — Сыг. *тин' д'ѣдмы кулиз, солѣн коз'айкѣз с'о мад'ылылѣ вал помѣн'кайын. бѣн ми но сойин џош кырѣал'л'ас'ко-мы вал*. 'Вот дед у нас умер, его жена всё время пела (**'поет, бывало'**) на поминках. Да и мы вместе с ней пели (**'поем, бывало'**)'; сч. — Уш. *луд вылѣ пото вал гырыны усийѣн, гѣрийѣн. курѣкпѣз потто вал. бѣдѣс гуртѣн лудѣ пото вал. бѣрыс' ѣуыса вѣтло н'и вал коркас' корка. а ѣѣгит, нылкалык вал вылын ворттылыса вѣтло вал*. 'На поле выходили (**'выходят, бывало'**) пахать с бороной, плугом. Яйца приносили (**'приносят, бывало'**). И всей деревней на поле выходили (**'выходят, бывало'**). Затем, угощаясь, ходили (**'ходят, бывало'**) уже из дома в дом. А парни, девушки верхом на лошадях катались (**'катаются, бывало'**). Прошедшее длительное время может выражать действие, противоположное по своему характеру другому действию: сч. — ВПар. *с'о-таки д'ѣрэв'айѣн с'ийон-ѣуон шѣдѣ вал, а городѣн война бѣрэ с'ийон понна с'ѣкѣт вал*. 'Все же в деревне еда имела (**'имеется было'**), а в городе после войны с едой было трудно'.

5. Из абсентивных форм прошедшего времени наиболее часто встречающимся является про-

шедшее длительное время, которое образуется сочетанием личных форм глаголов настоящего времени и вспомогательного глагола *вылэм*. Семантика употребления его в основном такая же, что и у соответствующей неабсентивной формы, но с той разницей, что во всех значениях абсентивной формы присутствует модальный оттенок неочевидности действия. Примеры: сч. – Ел. *со зэмзэ но сил' вайэс вылэм. но эзд' мон взрай н'и, што укыл сил', укыл мыным сил', винайэс но өвөл, кон'донзэ но өвөл. и тин', вылды, кон'дон, кон'дон с'ото ик-а, ма-р-а, шуыса, вылды, вина-а потто шуыса, и тин' со сил' вайэс вылэм*. 'Он действительно, мясо нес ('несет было'), оказывается. Но ведь я же сказала, что не нужно мясо, не нужно мне мясо, ни вина нет, ни денег нет. И вот, видно, [надеясь], что деньги, деньги всё же дам, видно, и что вино ли вынесу, и вот он мясо нес ('несет было'), оказывается.'; Кыч. *кукэ но, пэ, кэмалас' гурта-мь коркаосъз съло вълэм къ ч о н к а шурль ѓамэн*. 'Когда-то, мол, давно дома в нашей деревне стояли ('стоят было'), оказывается, поперек реки Кычёнка'.

Формы первого плюсквамперфекта абсентива и прошедшего многократного абсентива в севернoudмуртских диалектах отмечаются относительно редко. Приведем некоторые примеры: первый плюсквамперфект абсентива (форма перфекта + вспомогательный глагол *вылэм*): вч. – Куз. *войналэс' ѓал'л'о гуртамь лыктэм вълэм старик. ужас', кибашль вылэм*. 'До войны в деревню нашу прибыл, оказывается, старик. Работящий, мастеровой был, оказывается.'; прошедшее многократное абсентива (личные формы глаголов будущего времени в сочетании со вспомогательным глаголом *вылэм*): вч. – Уд. *аз'ло салдатпийэз армийэс быдэс ѓрэвнэн кэл'ало-зы вылэм*. 'Раньше призывника в армию всей деревней провожали ('проводят, бывало'), оказывается'.

Парадигма спряжения основных глаголов в абсентивных прошедших временах не отличается от таковой неабсентивных времен. Относительно редкое употребление абсентивных форм прошедшего времени в исследуемых диалектах, как и в удмуртском литературном языке в целом, по-видимому, обусловлено функциональной особенностью этих времен: они используются для выражения неочевидности действия и имеют место только тогда, когда говорящий, констатирующий результат действия, сам не является его очевидцем. Кроме фактора эвиденциальности, в выборе конкретных форм времени большую роль играет фактор уверенности, несомненности.

Формы модального претерита и модального перфекта в описываемых диалектах нами не зафиксированы.

Таким образом, как показывает материал, из сложных прошедших времен в севернoudмуртских диалектах функционируют первый плюсквамперфект, второй плюсквамперфект, прошедшее длительное, прошедшее многократное, первый плюсквамперфект абсентива, прошедшее многократное

абсентива, прошедшее длительное абсентива, причем наибольшее распространение имеют первый плюсквамперфект, второй плюсквамперфект, прошедшее многократное и прошедшее длительное. Семантика глагольных форм этих времен не имеет больших отличий от соответствующих форм других удмуртских диалектов. Определенные различия севернoudмуртских диалектов проявляются в оформлении и парадигме спряжения первого плюсквамперфекта. Особенность акцентуационного характера наблюдается у глагольных форм с личнопрыжательными суффиксами *-мы*, *-ды*, *-зы*, имеющих ударение на предыдущем этим суффиксам слоге. Привлечение более широкого источникового материала позволит нам в дальнейшем уточнить как употребление, так и семантику выявленных прошедших времен как в северных диалектах, так и в удмуртском диалектном ландшафте в целом.

Сокращенные названия удмуртских диалектов и говоров: вч. – верхнечепецкие говоры (верхнечепецкий диалект), сч. – среднечепецкие говоры (среднечепецкий диалект).

Сокращенные названия населенных пунктов по севернoudмуртским диалектам:

среднечепецкий диалект: **ВБог.** – д. Верхняя Богатырка, **ВПар.** – с. Верхние Парзи, **ВУн.** – с. Верх-Уни, **Ел.** – с. Елово, **Кел.** – д. Кельдыково, **Кыч.** – д. Кычен, **Люм** – с. Люм, **МЛуд.** – д. Малый Лудошур, **Пом.** – д. Помаг, **Уш.** – д. Ушур; верхнечепецкий диалект: **Ал.** – д. Александрово, **БУн.** – д. Большой Унте, **Куз.** – п. Кузьма, **Пол.** – с. Полом, **СГыя** – д. Старая Гыя, **Сыг.** – д. Сыга, **Тор.** – д. Тортым, **Уд.** – д. Уди.

Литература

1. *Сочинения*, принадлежащая къ грамматикѣ вотскаго языка. Въ Санктпетербургѣ при Императорской Академіи наукъ 1775 года. 113 с. [В кн.: Первая научная грамматика удмуртского языка / Удм. НИИ ист., лит. и языка при Сов. Мин. Удм. АССР. Ижевск: Удмуртия, 1975. 16 с. + 113 с. + 17 с. Wiedemann F.J. Grammatik der wotjakischen Sprache nebst einem kleinen wotjakisch-deutschen und deutsch-wotjakischen Wörterbuche. Reval, 1851. 390 s.]
2. *Серебренников Б.А.* Категория времени и вида в финно-угорских языках пермской и волжской групп. М., 1960. 300 с. Майтинская К.Е. Историко-сопоставительная морфология финно-угорских языков. М., 1979. 263 с.
3. *Серебренников Б.А.* О природе прошедшего времени в пермских и марийском языках // Записки. Ижевск, 1955. Вып. 17. С. 161–169. *Серебренников Б.А.* О действительном количестве глагольных времен в удмуртском языке // Записки. Ижевск, 1959. Вып. 19. С. 93–103. *Серебренников Б.А.* Историческая морфология пермских языков. М., 1963. 391 с. *Тараканов И.В.* Сложные формы прошедшего времени в пермских языках // История, современное состояние, перспективы разви-

- тия языков и культур финно-угорских народов: Материалы III Всероссийской научной конференции финно-угроведов (1–4 июля 2004 г., Сыктывкар). Сыктывкар, 2005. С. 198–200.
4. *Грамматика современного удмуртского языка*. Синтаксис простого предложения. Ижевск, 1970. Насибуллин Р.Ш. О некоторых аналитических формах глагола в удмуртском языке // Вопросы грамматики удмуртского языка. Ижевск, 1984. С. 38–44. Загуляева Б.Ш. Сложные формы давнопрошедшего времени в некоторых удмуртских диалектах // Вопросы грамматики удмуртского языка. Ижевск, 1984. С. 45–58. Поздеев В.В. Критерии аналитических форм удмуртского глагола // Вопросы грамматики и контактирования языков. Ижевск, 1990а. С. 18–27. Поздеев В.В. Структурные особенности аналитических форм удмуртского и немецкого глагола // Вопросы грамматики и контактирования языков. Ижевск, 1990б. С. 154–163.
 5. *Künnap A.* On the Analytical Past Tense Forms in the Uralic Languages // *LU*. 1992. Т. 28. № 3. Р. 173–178. Кюннап А. Об аналитических формах прошедшего времени в уральских языках // *LU*. 1992. Т. 28. № 3. С. 178–179.
 6. *Серебренников Б.А.* Категория времени и вида в финно-угорских языках пермской и волжской групп. М., 1960. С. 109–133. Серебренников Б.А. Историческая морфология пермских языков. М., 1963. С. 268–269. Майтинская К.Е. Историко-сопоставительная морфология финно-угорских языков. М., 1979. С. 58. *Tauli V.* Structural Tendencies in Uralic Languages (= UAS). London–The Hague–Paris, 1966. Р. 77.
 7. *Кюннап А.* Указ. соч. С. 178–179.
 8. *Цыпанов Е. А.* Система аналитических прошедших времен в коми языке // *Финно-угроведение*. 2005. № 1. С. 100.
 9. *Серебренников Б.А.* О действительном количестве глагольных времен в удмуртском языке // *Записки*. Ижевск, 1959. Вып. 19. С. 93–101. Серебренников Б.А. Историческая морфология пермских языков. М., 1963. С. 251–274. Ушаков Г.А. Сопоставительная грамматика русского и удмуртского языков. Ижевск, 1982. С. 105. Насибуллин Р.Ш. Указ. соч. Загуляева Б.Ш. Указ. соч. Тараканов И.В. Основное направление развития морфологической системы пермских языков // Материалы VI Международного конгресса финно-угроведов. М., 1990. С. 181.
 10. *Поздеев В.В.* Критерии аналитических форм удмуртского глагола // Вопросы грамматики и контактирования языков. Ижевск, 1990. С. 25. Поздеев В.В. Структурные особенности аналитических форм удмуртского и немецкого глагола // Вопросы грамматики и контактирования языков. Ижевск, 1990а. С. 154.
 11. *Серебренников Б.А.* Историческая морфология пермских языков. М., 1963. С. 251, 280.
 12. *Uotila T.* Zur Geschichte des Konsonantismus in den permischen Sprachen (= MSFOu 65). Helsinki, 1933. S. 389. Серебренников Б.А. Историческая морфология пермских языков. М., 1963. С. 280.
 13. *Цыпанов Е. А.* Причастие в коми языке: история, семантика, дистрибуция. Екатеринбург, 1997. С. 141–142. Цыпанов Е.А. Грамматические категории глагола в коми языке. Сыктывкар, 2005. С. 161.
 14. *Кельмаков В.К.* К описательной и исторической фонетике бесермянского наречия // Проблемы современной удмуртской диалектологии в исследованиях и материалах (= Удмурт вераськетъёс 1). Ижевск: Изд-во Удм. ун-та, 1992. С. 78. Кельмаков В.К. Говор кукморских удмуртов в образцах речи // Проблемы современной удмуртской диалектологии в исследованиях и материалах (= Удмурт вераськетъёс 1). Ижевск: Изд-во Удм. ун-та, 1992а. С. 110.

Статья поступила в редакцию 09.12.2013.

УДК [528.856 + 338.012](470.13)

ОПЫТ МЕЛКОМАСШТАБНОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Т.Ю.ЗЕНГИНА*, О.И.КОТОВА*, Г.Г.ОСАДЧАЯ**

**Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, г.Москва*

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

tzengina@mail.ru, solntsevaolga@rambler.ru, galgriosa@yandex.ru

Представлены результаты изучения и мелкомасштабного картографирования природопользования Республики Коми. Методической основой картографических работ послужила типология регионального природопользования Севера России, базирующаяся на анализе специализации хозяйств различных видов природопользования, а также оценке интенсивности их воздействия на природную среду.

Ключевые слова: современное природопользование, Республика Коми, мелкомасштабное картографирование

T.YU. ZENGINA, O.I. KOTOVA, G.G. OSADCHAYA. THE EXPERIENCE IN SMALL-SCALE MAPPING OF MODERN NATURE MANAGEMENT OF THE KOMI REPUBLIC

The paper presents the results of studying and small-scale mapping of modern nature management of the Komi Republic. Original typology of regional nature management of the Russian North makes the foundation of mapping procedure. It is based on the analysis of specialization in economy of various kinds of nature management, and also the estimation of intensity of their environmental impact.

Keywords: modern nature management, Komi Republic, small-scale mapping

В последние годы проблемам природопользования на Севере России, в том числе в российской Арктике, уделяется особое внимание. Это обусловлено важной экономической, экологической и социальной ролью северных территорий в устойчивом развитии всей страны и в сохранении экологического равновесия на планете в целом. В настоящее время усиление промышленной экспансии в северных районах приводит к возникновению множества экологических, социальных и хозяйственных конфликтов. Для выхода из сложившейся ситуации необходимы проведение целенаправленной, экологически ориентированной политики освоения территории и оптимизация существующей региональной структуры природопользования. Решение этой проблемы возможно только на основании комплексного подхода, включающего: изучение и оценку природно-ресурсного потенциала территории, изучение истории её освоения и особенностей традиционного природопользования, анализ структуры природопользования на современном этапе, а также оценку интенсивности воздействия на окружающую среду. Очевидно, что такого рода исследования в первую очередь должны опираться

на изучение и картографирование современного природопользования.

Современное системное картографирование и геоинформационное обеспечение природопользования базируются на трактовке природопользования как комплексной сферы человеческой деятельности, включающей природную, хозяйственную и социальную составляющие и основываются на комплексе естественно-научных, социально-экономических и картографических знаний. Они развиваются в рамках географической концепции природопользования [1, 2] и на основе учения об использовании земель А.Н.Ракитникова [3]. Главной задачей на сегодняшний день является разработка методики комплексного картографирования современного природопользования, выработка комплексных и интегральных показателей и критериев, позволяющих оценить и отразить на карте эффективность использования природно-ресурсного потенциала территории с различными формами природопользования, а также масштабы обусловленных ими экологических последствий.

Методы системного картографирования природопользования опираются на концепцию географиче-

ского картографирования, созданную К.А. Салищевым и его учениками [4]. Системность картографирования природопользования состоит в охвате всех аспектов взаимосвязи общества и природы, включая картографирование природно-ресурсного потенциала, использования и охраны природных комплексов и ресурсов, отраслевой и территориальной структуры природопользования, воздействия на природную среду и геоэкологических последствий антропогенной деятельности. В основе картографирования природопользования лежит выделение природно-хозяйственных комплексов, исторически сложившихся в определенных природных и социально-экономических условиях, различающихся по преобладающему типу, составу видов и подвидов (элементов) природопользования, соотношению занимаемых площадей, форме размещения, интенсивности использования и выполняемым функциям.

Методическая основа и материалы картографирования

Для картографирования природопользования требуется предварительная систематизация типов природопользования по их целевому назначению и природным свойствам территории. Однако в настоящее время единого подхода к классификации природопользования не существует. Среди имеющихся наиболее полной является типология регионального природопользования Севера европейской территории России [5]. Именно она послужила методической основой при картографировании природопользования Республики Коми. Данная классификация учитывает немногочисленный на сегодняшний день опыт выделения типов и видов природопользования, и в первую очередь, теоретические разработки исследователей МГУ им. М. В. Ломоносова [2] и Института географии РАН [6] как наиболее приемлемые для регионального картографирования природопользования и анализа состояния природной среды.

В предложенной классификации всё природопользование условно подразделяется на «ресурсосберегающее» и «ресурсопотребляющее» [5]. В зависимости от специфики территориальной организации в ресурсопотребляющем типе выделяются фоновое, крупноочаговое, очаговое и линейное природопользование, а в ресурсосберегающем – дисперсное природопользование. Важной характеристикой является хозяйственная специализация природопользования, обусловленная природными условиями и ресурсами, а также историей заселения и хозяйственного освоения. По интенсивности хозяйственного освоения выделенные территории делятся на три основные группы: 1) преимущественно средоохранного использования и экологического резерва; 2) экстенсивного хозяйственного использования; 3) интенсивного хозяйственного использования. Легенда карты природопользования Республики Коми разрабатывалась на основе предложенной классификации типов природопользования на севере России с учетом региональных особенностей современного природопользования и требований выбранного масштаба.

В работе над картой природопользования Республики Коми использовались: литературные и фондовые источники, государственные доклады по охране окружающей среды Республики Коми, материалы, помещенные на интернет-сайтах ряда научных организаций, картографические источники (около 20 карт и атласы). Также учитывались материалы полевых исследований на отдельные территории и многозональные космические снимки разных лет, по которым проводилось дешифрирование в экспедиционных условиях и автоматизированное дешифрирование в камеральных условиях.

Важным источником тематической информации послужили атласы Республики Коми разных лет издания, в которых традиционно представлены преимущественно карты экономического содержания [7– 9]:

- 1964 г. «Экономическая карта» М 1:4 000 000, авторы В.А. Витязева, И.М. Семенов; серия отраслевых экономических карт;

- 2001г. «Экономика в 1980-е годы» М 1:4 000 000, авторы Т.Е. Дмитриева, Н.П. Кубышкина; «Экономика» М 1:4 000 000, авторы Т.Е. Дмитриева, М.С. Бурьян; серия отраслевых карт того же масштаба;

- 2011 г. «Эколого-экономическое макро- и микрорайонирование» М 1:10 000 000, автор В.А. Щенявский; «Особо охраняемые природные территории» М 1: 3 000 000, авторы Р.Н. Алексеева, С.В. Дегтева, Л.Н. Рыбак, А.И. Таскаев; «Экономика» М 1:3 500 000, авторы Т.Е. Дмитриева, М.С. Бурьян; серия отраслевых карт, включая транспортную.

Методы и результаты

Карта природопользования, составленная на всю территорию Республики Коми, является очень сложной в плане информационного содержания и выбора способов изображения. В статье представлен ее фрагмент, охватывающий обширную территорию, где показаны почти все основные виды природопользования и источники интенсивного воздействия на природную среду (рисунок).

Визуализировать все виды природопользования отображенной территории было достаточно сложно, так как во многом они имеют общую локализацию и перекрывают друг друга. Поэтому для их показа использована целая серия картографических изобразительных приемов.

Цветом на карте обозначены фоновые виды природопользования и крупные природоохранные территории. Традиционными значками показаны предприятия добывающей, обрабатывающей промышленности, энергетики и транспорта, а также объекты специального природопользования. Величина значков изменяется в зависимости от масштаба отображаемого явления. Художественные знаки использованы для объектов природно-культурного наследия и рекреации. Они хорошо выделяются на фоне остальных объектов. Линейные знаки отображают транспортные пути. Статус населенного пункта дан различием шрифта (кегель и

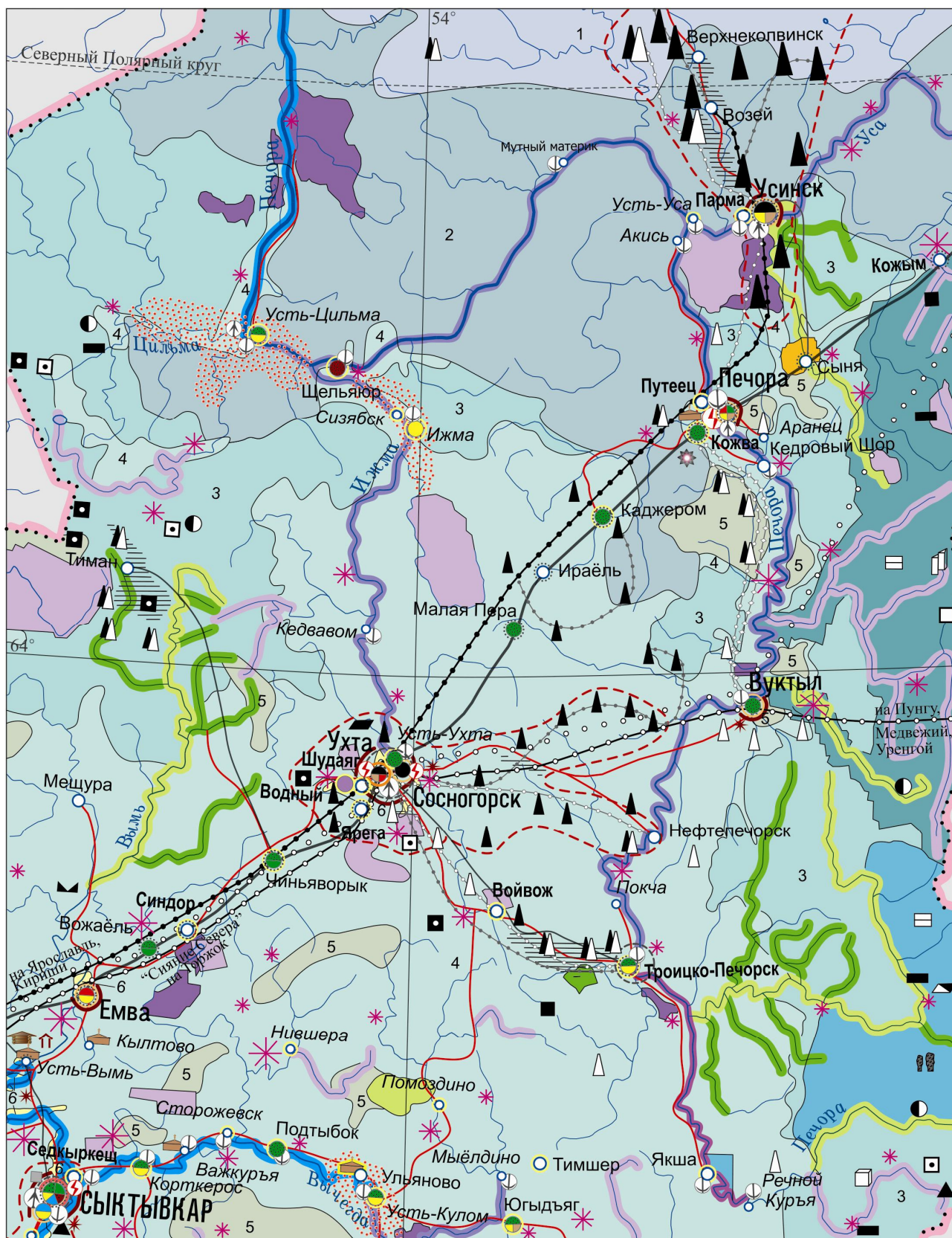


Рис. 1. Фрагмент карты природопользования Республики Коми масштаба 1:2 500 000.

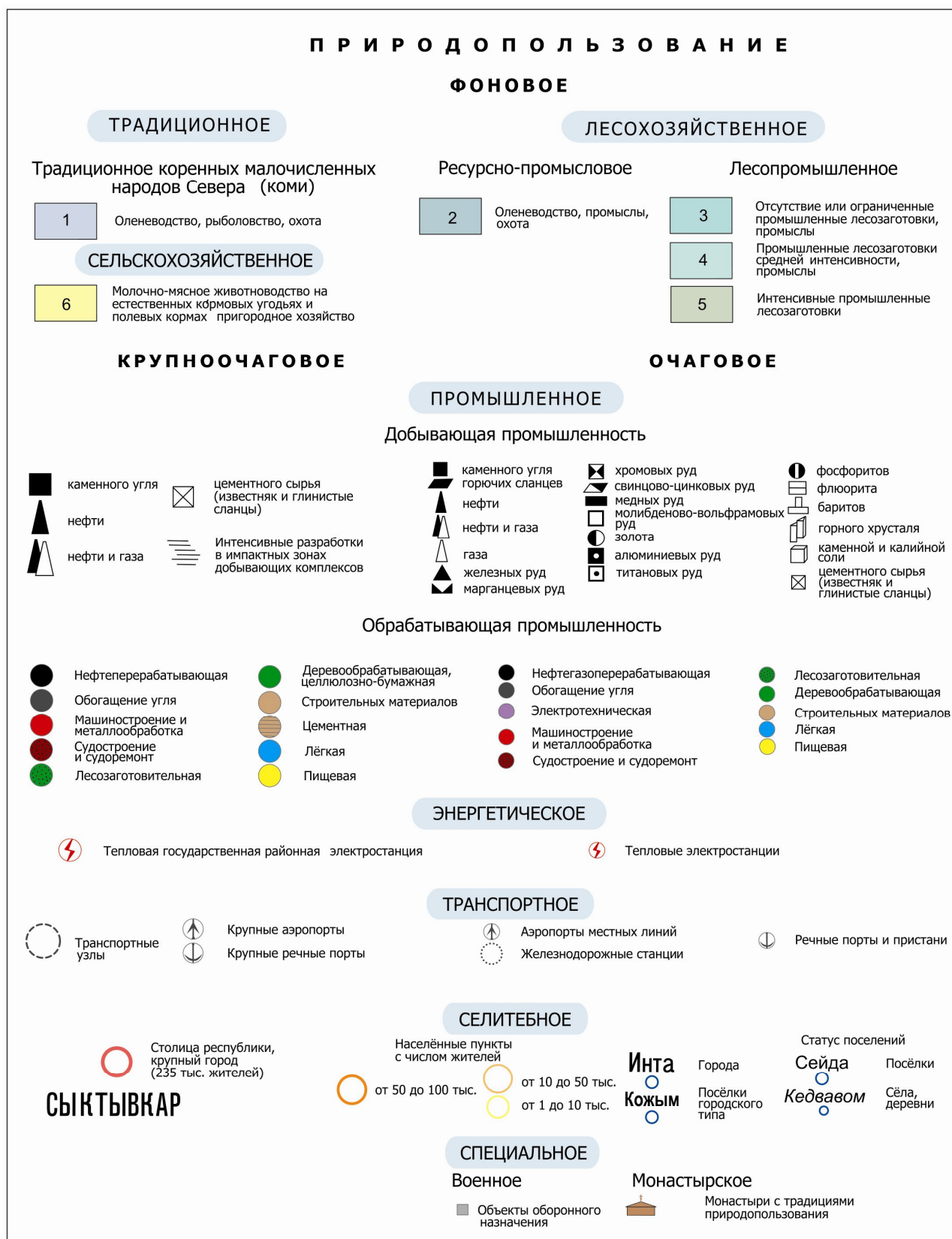


Рис. 2. Легенда к карте природопользования Республики Коми.

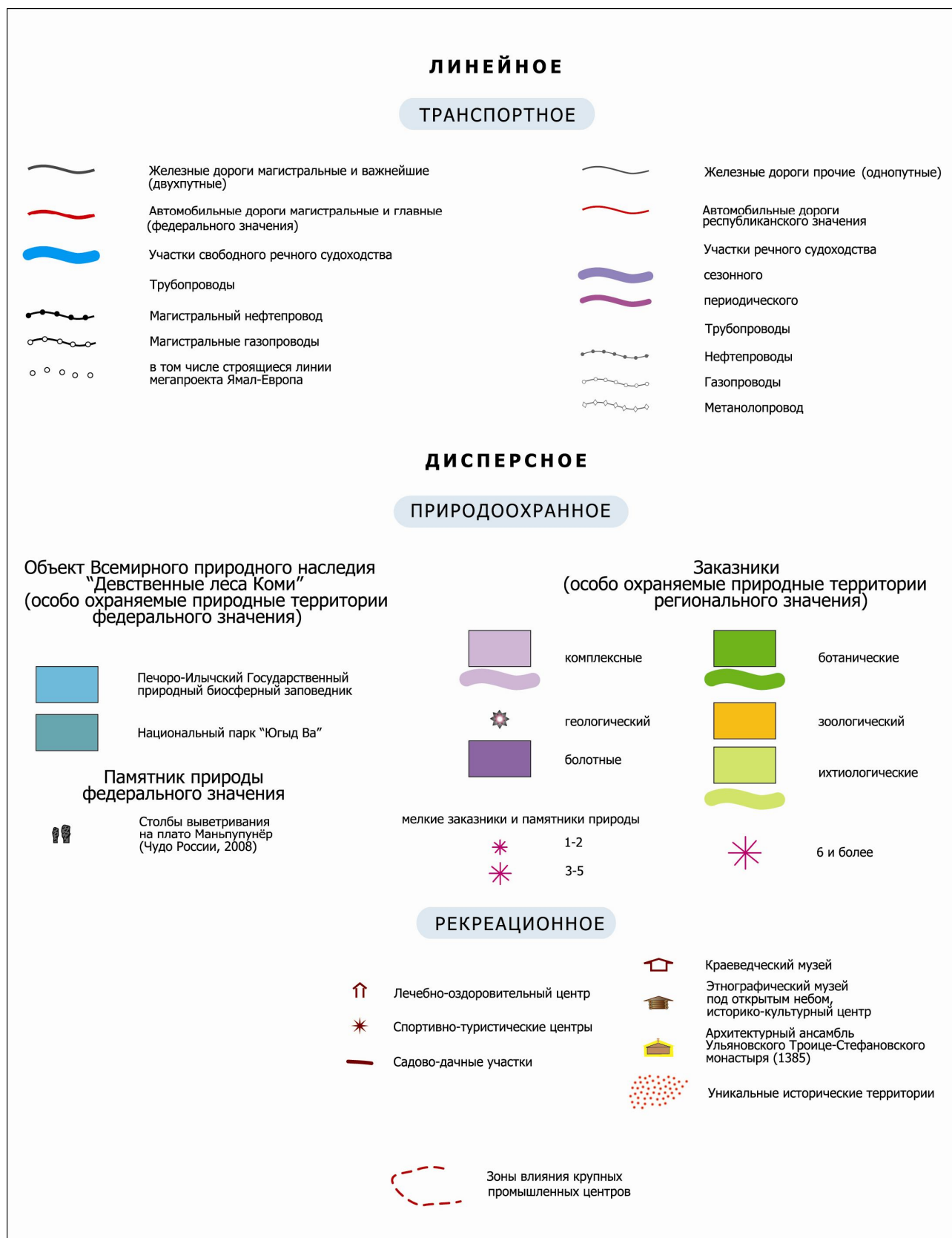


Рис. 3. Легенда к карте природопользования Республики Коми (окончание).

размер), а число жителей – цветом обводки пунсона. Обводкой обозначены также транспортные узлы и импактные зоны. Штриховка отображает места интенсивных разработок полезных ископаемых в импактных зонах. Точечной объемной штриховкой выделены ценные исторические территории. Таким образом, на карте удалось совместить различные картографические приемы и дать достаточно полную информацию о природопользовании региона.

Анализ составленной карты выявил следующие особенности регионального природопользования. Фоновые виды природопользования занимают обширные площади в пределах Республики Коми. Основным видом фонового природопользования является **лесохозяйственное**: лесопромышленное – в южных районах и ресурсно-промысловое – в северных. Республика – крупный лесопромышленный регион Российской Федерации, где на некоторых территориях лесопромышленные комплексы изменили природную среду до неузнаваемости.

На севере республики, в основном за линией Полярного круга, фоновым видом природопользования является **традиционное** природопользование коренного народа – коми. Рыболовство, оленеводство и охота характерны для традиционного природопользования почти всех народов Севера, которые всегда жили в гармонии с окружающей средой. В настоящее время территории традиционного природопользования испытывают сильное давление со стороны промышленного комплекса, сокращаются по площади и обедняются по составу природных ресурсов.

Сельскохозяйственное природопользование, представленное молочно-мясным животноводством и пригородными хозяйствами, как и везде в северных регионах занимает незначительные территории на юге республики и приурочено преимущественно к долинам рек.

Промышленное природопользование представлено разнообразными предприятиями добывающей и обрабатывающей промышленности. Республика Коми богата полезными ископаемыми. На её территории ведется (может вестись) добыча нефти, газа, угля, чёрных и цветных металлов, строительных материалов, соли, сырья и вспомогательных материалов для производства минеральных удобрений, металлов, керамики, оптики, изоляций, радиотехнических изделий, украшений и др. Даже небольшие очаги добывающей промышленности считаются источниками техногенеза и приводят к нарушению всех компонентов природной среды, включая её литогенную основу. Особенно серьёзными очагами воздействия на природную среду являются Усинский нефтегазодобывающий и Воркутинский угледобывающий промышленные комплексы. Добыча угля ведется с 1930-х гг., в настоящее время – на пяти подземных шахтах, а с 2000 г. – и на открытом угольном разрезе, что в условиях Севера представляет собой исключительное явление. Эти крупнейшие предприятия расположены на севере республики, в районах Заполярья на территории традиционного природопользования, что усугубляет последствия негативного техногенного влияния на окружающую среду.

Добывающие промышленные комплексы образуют крупные импактные зоны, где серьезным нарушениям подвержены все компоненты природной среды вплоть до рельефа и геологических условий. В зонах добычи полезных ископаемых формируется техногенный рельеф, на поверхности оказываются отвальные горные высокоминерализованные породы, которые используют как материал для строительства дорожных насыпей. В результате повышенной температуры часто происходит возгорание этих пород, загрязнение воздуха и почв. В нефтегазодобывающих комплексах образуются зоны сплошных техногенных нарушений природной среды. Добывающие комплексы имеют сеть предприятий переработки и транспортировки сырья. Линии трубопроводов в пределах республики отчуждают значительные площади на протяжении тысяч километров. Обогачительные фабрики являются дополнительными источниками загрязнения атмосферного воздуха. Крупный очаг воздействия на состояние атмосферного воздуха представляет Воркутинский цементный завод, находящийся в 25 км к северу от г. Воркуты. Завод является единственным предприятием в европейском Заполярье, производящим цемент и минеральную продукцию. Он работает с 1950 г. на местном сырье известняка и глинистых сланцев. Выбросы пыли с завода превышают ПДК более чем в девять раз и загрязняют воздух в радиусе свыше 15 км.

Обрабатывающая промышленность республики разнообразна. Выделяются три крупных очага обрабатывающей промышленности – Сыктывкар, Воркута и Усинск. Остальные предприятия образуют небольшие центры. Развитие в республике нефте- и газоперерабатывающей промышленности, обогащения угля, промышленности строительных материалов, цементной и электротехнической и других отраслей обусловлено долговременным функционированием очагов добычи соответствующего сырья. Машиностроение, судостроение, лесозаготовительная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленности развились исторически. Среди монопромышленных центров особенно много населённых пунктов с предприятиями лесозаготовительной промышленности и лесопиления.

На карте природопользования показаны промышленные комплексы, зоны интенсивных разработок полезных ископаемых, импактные зоны, транспортная инфраструктура.

Энергетическое природопользование Республики Коми представлено тепловыми электростанциями, крупнейшая из которых находится близ г. Печора и имеет статус государственной районной электростанции. Заметное тепловое и химическое загрязнение окружающей среды связано с городскими ТЭЦ.

Транспортное природопользование имеет очаговую (крупноочаговую) и линейную формы. К транспортным узлам относится столица республики Сыктывкар и города Сосногорск и Микунь, которые лежат на основных путях транспортировки нефтегазового сырья. Крупные аэропорты имеют города

Сыктывкар, Сосногорск и Усинск; есть аэропорты в Печоре и Усть-Цильме. Вывоз угля из Воркутинского промышленного района и других районов республики осуществляется железнодорожным транспортом. Традиционно с исторических времен в республике был развит речной транспорт, так как территория имеет богатую речную сеть. Порты и пристани есть во многих населенных пунктах; важнейшие порты расположены в Сыктывкаре и Печоре. Реки Печора, Вычегда и Сисола имеют протяженные участки свободного судоходства. На многих реках судоходство сезонное или периодическое. Автотранспорт развит умеренно, в основном в южной части республики, что типично для северных территорий России. Трасса федерального значения связывает Сыктывкар с более южными и центральными районами страны. Большое значение имеют трубопроводы, по которым в Центр и за рубеж поставляется продукция нефтяной и газовой промышленности. Часть продукции транзитом идет по трубопроводам из Западной Сибири. Строится линия газопровода Ямал–Европа, представляющая собой мегапроект с отчуждением новых территорий и новой угрозой для экологии республики.

Селитебное воздействие на природную среду наибольшим образом проявляется в городах. В республике, однако, крупных городов нет. Большим городом является Сыктывкар с населением 250 тыс. жителей. Средние города с населением от 50 до 100 тыс. жителей – Воркута и Ухта. К малым (от 10 до 50 тыс. жителей) относятся остальные семь городов республики Инта, Усинск, Сосногорск, Печора, Вуктыл, Емва, Микунь.

К **специальному** природопользованию относятся два не похожих друг на друга вида: военное и монастырское. Общим у них является локальное расположение. Объекты оборонного значения имеют в своем распоряжении специальную военную технику и людей; они могут значительно изменять природную среду, а могут и не оказывать серьезного воздействия. Для монастырей характерно развитое натуральное хозяйство и кустарные церковные промыслы. Монастырское природопользование имеет развитые исторические традиции в России и в северных регионах отличается своеобразием.

Дисперсный тип включает **природоохранное и рекреационное** природопользование. Республика Коми богата уникальными природными территориями. Важнейшей из них является относящийся к Уральскому экорегиону крупный памятник природы «Девственные леса Коми», признанный в 1995 г. объектом Всемирного природного наследия ЮНЕСКО. На территориях Печоро-Илычского заповедника и национального парка «Югыд ва» находятся самые большие нетронутые леса Европы общей площадью 32 600 кв. км. В заповеднике на плато Маньпупунёр расположен уникальный памятник природно-культурного наследия страны «Столбы выветривания», признанный на конкурсе в 2008 г. одним из семи чудес России. На территории республики много заказников различного назначения, комплексных или охраняющих отдельные компоненты природной среды и памятников природы. Некоторые из них

находятся в пределах импактных зон или недалеко от них, что создает определенную угрозу их существованию.

Рекреационное природопользование разнообразно. Есть уникальные исторические территории, этнографический музей под открытым небом в Усть-Цильме. Большую архитектурную и культурную ценность представляют собой ансамбли Ульяновского Троице-Стефановского, Усть-Вымского и Кылтовского монастырей. Действуют историко-краеведческие музеи, спортивно-туристические и лечебно-оздоровительные центры. Садово-дачные участки близ городов также относятся к рекреационному виду природопользования.

На карте показаны **импактные зоны** крупных промышленных центров, где в течение длительного времени наблюдаются серьезные изменения экологической обстановки. Наибольшие площади импактных зон относятся к Усинскому и Ухтинско-Сосногорскому нефтегазовым комплексам. Воркутинская и Сыктывкарская импактные зоны имеют несколько меньшую площадь. Импактные зоны не затрагивают особо ценные территории природного и культурного наследия.

Заключение

Составленная карта природопользования Республики Коми позволяет оценить степень освоенности территории, проанализировать особенности размещения различных типов природопользования и степень их адаптированности к природным комплексам, а также определить изменения состояния природной среды, вызванные нарушением и загрязнением ее компонентов, и тем самым выявить ареалы возможного возникновения конфликтных ситуаций между различными видами природопользования.

Проведенные работы показали, что мелкомасштабные комплексные карты природопользования могут быть использованы для оценки региональных природно-хозяйственных особенностей, выявления различий в территориальной организации природопользования, для районирования в целях выработки решений по устойчивому развитию, в том числе по совершенствованию региональной природоохранной сети. Они будут полезны для разработки стратегических программ социально-экономического развития в связи с планированием и оптимизацией размещения объектов природопользования.

Литература

1. *Зворыкин К.В., Капица А.П., Невяжский И.И.* Основные принципы географической концепции природопользования // Тр. ВНИИ системных исследований. 1990. № 2.
2. *Зворыкин К.В.* Географическая концепция природопользования // Вестник МГУ. 1993. Серия 5. География. № 3. С. 3–9.
3. *Ракитников А.Н.* География сельского хозяйства (проблемы и методы исследования). М.: Мысль, 1970. 342 с.
4. *Салищев К.А.* Географическая картография – термин, понятие, задачи // Вестн. МГУ. Серия 5. География. 1979. № 2. С. 3–9.

5. *Евсеев А.В., Воробьева Т.А., Зенгина Т.Ю. и др.* Комплексный подход к изучению и картографированию современного природопользования в северных регионах России // Проблемы региональной экологии. 2009 № 6. С.79–83.
6. *Рунова Т.Г., Волкова И.Н., Нефедова Т.Г.* Территориальная организация природопользования. М.: Наука, 1993. 207 с.
7. *Атлас Коми Автономной Советской Социалистической Республики.* Главное управление геодезии и картографии Государственного Геологического комитета СССР. М., 1964. 112 с.
8. *Атлас Республики Коми.* М.: Изд-во «Дизайн. Информация. Картография», 2001. 552 с.
9. *Атлас Республики Коми.* М.: Феория, 2011. 448 с.

Статья поступила в редакцию 06.03.2014.

VI ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ЧТЕНИЯ им. В.А. ВИТЯЗЕВОЙ

3 апреля 2014 г. в зале Музея истории просвещения Коми края Сыктывкарского университета состоялись очередные Географические чтения. Эти научные конференции Коми республиканское отделение Русского географического общества проводит ежегодно в память о В.А.Витязевой, докторе географических наук, профессоре, заслуженном деятеле науки РСФСР, основателе и первом ректоре Сыктывкарского государственного университета, долгие годы (1953–2009 гг.) возглавлявшей республиканскую организацию географического общества. Чтения были приурочены к 95-летию со дня рождения В.А. Витязевой.

Тематика апрельских собраний различна. На первых чтениях (2009 г.) рассматривалась проблема северности, близкая В.А. Витязевой. Как зав. кафедрой экономики советского севера Валентина Александровна всегда старалась выделить в региональных исследованиях и преподавании североведение как особое направление. Повестка вторых чтений (2010 г.) раскрывала аспекты природного, культурного и духовного наследия Республики Коми. Первые и вторые чтения прошли с участием В.А. Витязевой. В 2011г. в центре внимания оказалась дискуссия о климатических изменениях. Экологически ответственное и устойчивое ресурсопользование, в том числе и на особо охраняемых территориях, обсуждалось на четвертых чтениях (2012 г.). Речная тематика широкого спектра от истории водных путей (Камо-Печоро-Вычегодского соединения) до современных проектов управления ресурсами отдельной реки (Мезени) и бассейна Печоры в целом стала основной в 2013 г.

VI Географические чтения были посвящены научному и педагогическому наследию проф. В.А.Витязевой. В юбилейном году Валентины Александровны чтения начались торжественной церемонией открытия ее мемориального кабинета в главном корпусе Сыктывкарского университета.

С приветствием к участникам научной конференции обратился исполняющий обязанности Главы Республики Коми Вячеслав Гайзер, отметивший актуальность научной базы, заложенной В.А. Витязевой. Председатель Президиума Коми научного центра УрО РАН академик Асхаб Асхабов представил краткий отчет о деятельности Коми республиканского отделения Русского географического общества в 2013 г. и вручил членские билеты вновь вступившим в его ряды. По традиции чтений состоялось награждение активных членов общества грамотами Коми республиканского отделения РГО. По решению Совета республиканского отделения этой чести удостоены ветераны Воркутинского отделения общества – Какунов Николай Борисович, возглавлявший отделение с 1985 г., кандидат геолого-минералогических наук, гидрогеолог, более 50 лет изучавший северо-восток Европы, и Крочек Маргарита Николаевна – секретарь Воркутинского отделения с 1968 г., руководитель Геологического музея им. Г.К. Войновского-Кригера.

Доклады, представленные участникам чтений, отразили признание вклада В.А. Витязевой в организацию и становление Сыктывкарского государственного университета, изучение процессов формирования Тимано-Печорского территориально-производственного комплекса и освоение Печорского угольного бассейна. Ректор СыктГУ к.юр.н. М.Д. Истиховская в докладе «Сыктывкарский государственный университет: пути развития и перспективы» отметила приоритетное внимание В.А. Витязевой к стратегическим направлениям развития республики и университета.

Профессор Санкт-Петербургского государственного университета, д.геогр.н. Анатолий Чистобаев, соратник В.А. Витязевой по Отделу экономики Коми филиала АН СССР, рассказал о ней как о руководителе географических и экономических исследований. Валентина Александровна работала в Отделе экономики со дня его основания в 1953 г. и до 1972 г. В 1960-е гг. изучались направления совершенствования отраслевой структуры промышленности республики. Были сделаны оценки использования печорских углей в металлургии Центра, доказана



Выступление председателя Коми республиканского отделения Русского географического общества акад. А.М.Асхабова

ления специализации и объемы производства Сыктывкарского лесопромышленного комплекса. Огромна роль В.А. Витязевой в научном противостоянии проекту переброски части стока северных рек в Каспийское море через Камовычегдо-Печорское соединение. Убедительная аргументация специалистов Коми филиала АН СССР стала заметным вкладом в общественное движение против поворота рек на юг и повлияла на принятие решения правительства о прекращении работ по переброске части стока северных и сибирских рек.

Член-корреспондент РАН В.Н. Лажнецов представил ретроспективный

анализ проблем формирования Тимано-Печорского территориально-производственного комплекса (ТПК). В.А. Витязева в 1970–1980-х гг. была идейным вдохновителем и научным руководителем этой тематики. В результате научных разработок позиция «Освоение и комплексное использование ресурсов Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, реконструкция и новое строительство шахт Печорского угольного бассейна» в пятилетних планах страны была выделена отдельной строкой. Это стало итогом развития ее идеи об узловой народнохозяйственной проблеме европейского Северо-Востока СССР как нового топливно-энергетического «цеха» страны. Следующее научно-практическое достижение – оформление в начале 1990-х гг. Тимано-Печорского ТПК в качестве объекта программно-целевого планирования, что предполагало управление процессами проектирования, строительства и реконструкции конкретных производственных и социальных объектов. В годы экономического кризиса программное управление сыграло роль стабилизатора и локомотива развития производительных сил Республики Коми.

Первая работа «Печорский угольный бассейн», обобщающая развитие угольной промышленности республики, – выросла из кандидатской диссертации В.А. Витязевой. За эту монографию 1955 г., переизданную в 2004 г., автор был награжден Почетным знаком «За освоение Печорского угольного бассейна». Как писал академик Н.П. Юшкин: «Труд В.А. Витязевой представляет собой не узкоспециализированное экономическое, а междисциплинарное исследование. В монографии детально проанализированы все естественные, горнотехнические и индустриальные аспекты угледобывающего комплекса, выполнен их глубокий экономический анализ, разработана обоснованная научная программа комплексного развития Печорского бассейна, охватывающая как его генеральную функцию – добычу коксующихся и энергетических углей, так и все обеспечивающие ее структурные компоненты».

М.М. Шехтер, начальник отдела Министерства развития промышленности и транспорта Республики Коми раскрыл современные проблемы и перспективы развития угольной промышленности. К сожалению, среди проблем угольной отрасли не потеряли актуальность те, что занимали центральное место в монографии В.А. Витязевой – проблема сбыта угля и транспортная проблема. Решение первой связано с развитием внутреннего рынка угля и угольной энергетики, второй – с транспортировкой угольных грузов по экономически обоснованным тарифам, обеспечивающим диверсификацию направлений их поставки. Арктические перспективы Печорского угольного бассейна определяет освоение запасов угля в районе Усть-Кара – Амдерма, что при строительстве новой грузообращающей линии Воркута – Усть-Кара будет способствовать выводу продукции Печорского угольного бассейна на новые рынки. Важной стратегической задачей являются формирование и реализация направлений нетрадиционного использования печорских углей, в том числе и создание комплекса угле-химических производств на базе месторождений бурых углей.

Новой традицией «витязевских чтений» становятся выступления молодых исследователей. В этом году доклад «Транспортный фактор развития туризма в Республике Коми» представила студентка первого курса факультета управления СыктГУ Арина Коковина. Актуальная тема доклада вызвала вопросы и комментарии участников конференции.

Завершились VI Географические чтения презентацией книги «Валентина Витязева в воспоминаниях современников», редактором-составителем которой является Майя Бурлыккина, доктор культурологии, директор Музея истории просвещения Коми края.



В зале заседаний научной конференции.

НЕУТОМИМЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬ ПОЧВ ЗЕМЛИ КОМИ

*26 мая 2014 г. состоялось совместное заседание Президиума Коми НЦ УрО РАН и Ученого совета Института биологии Коми НЦ УрО РАН, посвященное 90-летию со дня рождения доктора сельскохозяйственных наук, профессора **Ии Васильевны ЗАБОЕВОЙ**. Это событие собрало многочисленных сотрудников Коми НЦ УрО РАН и гостей, пришедших поздравить юбиляра. Всех тех, кто так или иначе знает этого замечательного человека, истинного Ученого, неутомимого исследователя почв Земли Коми. Ключевым моментом заседания по праву можно считать доклад И.В. Забоевой «Становление почвенных исследований в Коми крае», привлечший внимание всех своей четкостью, логичностью и яркой эмоциональностью.*

12 мая 2014 г. исполнилось 90 лет известному почвоведу, профессору, доктору сельскохозяйственных наук, заслуженному деятелю науки РСФСР, заслуженному работнику науки и культуры Коми АССР, лауреату премии ВАСХНИЛ им. В.Р. Вильямса, дважды лауреату Государственной премии Республики Коми в области науки, главному научному сотруднику отдела почвоведения Института биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук – **Ие Васильевне Забоевой** (рис.1).

Могла ли представить юная пионерка (рис.2), мечтавшая в школьные годы стать врачом, лечить людей, спасать жизни других, что вся ее жизнь будет неразрывно связана с развитием биологической науки в Республике Коми, что ее имя станет известно не одному поколению российских и зарубежных почвоведов. Возможно, если бы не Великая Отечественная война, имя Ии Васильевны Забоевой стояло в одном ряду с такими прославленными именами российских медиков, как Н.М. Амосов, Ф.Г. Углов, Г.А. Илизаров, С.Н. Федоров... Нет ни малейшего сомнения в том, что интеллектуальный и творческий потенциал И.В. Забоевой позволил бы воплотить детские мечты в жизнь и Ия Васильевна сделала бы успешную карьеру в области медицины. К сожалению, все планы выпускницы 1941 г. спутала война и она становится студенткой естественного факультета Коми государственного педагогического института (рис.3). Нам, послевоенному и, особенно современному поколению, трудно представить себе, что такое война. Только сама Ия Васильевна может сказать, каково это – наряду с

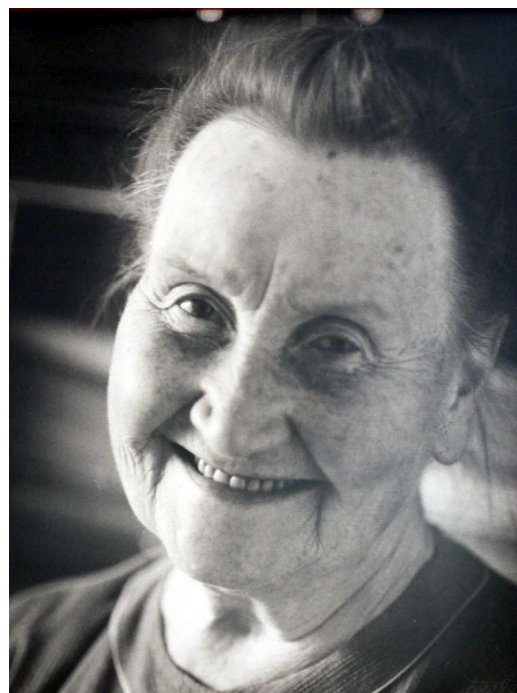


Рис.1. Заслуженный деятель науки РСФСР, заслуженный работник науки и культуры Коми АССР, профессор, д.с.-х.н. Ия Васильевна Забоева.



Рис.2. Отличники учебы Коми АССР в Москве. Крайняя справа в верхнем ряду И.В. Забоева (1938 г.).

лекциями осваивать военное дело, учиться стрелять из снайперской винтовки и ручного миномета, и работать... Работать без выходных, потому что учеба была платной, а зимой по воскресным дням нужно было возить дрова для отопления института, а летом работать на молевом сплаве леса. Наверно, именно в это сложное для всей страны время сформировался «бойцовский» характер Ии Васильевны – умение стойко преодолевать трудности, быть требовательной к себе и другим, постоянно учиться, не останавливаясь на достигнутом, отстаивать свою точку зрения, и главное – никогда не падать духом, находить в себе силы (даже в самых сложных ситуациях), чтобы поддержать других – то, без чего вряд ли может состояться настоящий Ученый, неутомимый, пытливым исследователь.

Свой профессиональный выбор Ия Васильевна сделала после окончания института в 1945 г., когда поступила в аспирантуру при Коми Базе АН СССР. Ее научным руководителем и идейным вдохновителем многих почвенных исследований, проведенных на территории нашей республики, и стала Евгения Николаевна Иванова – яркий представитель докучаевского почвоведения, выдающийся почвовед, географ, автор «Классификации почв СССР» (1976), профессор, доктор сельскохозяйственных наук, лауреат Золотой медали им. В.В. Докучаева Академии наук СССР, заслуженный деятель науки и техники Коми АССР. Е.Н. Иванова была тем примером, тем образцом исследователя и руководителя, которому всю свою жизнь следует Ия Васильевна. Такой же волевой, энергичной, деятельной, глубоко эрудированной, где-то даже жесткой, когда это касается работы и научных исследований, обладающей великолепными организаторскими талантами, знаем мы Ию Васильевну.

Во время обучения в аспирантуре она осваивала методики выполнения физико-химических анализов в Почвенном институте имени В.В. Докучаева АН СССР, с которым до сих пор сохраняются и продолжаются тесные творческие связи отдела почвоведения Института биологии. Ия Васильевна в короткие сроки выполнила исследования почвенного покрова верховьев бассейна р. Вычегды, успешно защитила в 1952 г. кандидатскую диссертацию по теме «Почвы бассейна верховьев р. Вычегды», и уже в 1954 г., спустя два года после защиты, возглавила отдел почвоведения Коми филиала АН СССР. Ия Васильевна – молодой, талантливый организатор – совместно с сотрудниками отдела продолжила работы по составлению почвенной карты Республики Коми масштаба 1:1 000 000, которые были начаты еще в 1944 г. под руководством О.А. Полынцевой и Е.Н. Ивановой (рис.4). Организовала исследования сезонной динамики современных почвенных процессов в зональных почвах по выявлению их основных диагностических признаков. Всесторонне содействовала развитию агропочвенных исследований по оценке продуктивности пахотных подзолистых почв разработке системы воспроизводства почвенного плодородия и эффективного применения удобрений.

В 1965 г. Ия Васильевна была рекомендована на должность директора Института биологии Коми филиала АН СССР, которым бессменно руководила в течение последующих 20 лет. В этот период она провела большую организаторскую работу по укреплению и расширению биологических исследований на европейском Северо-Востоке. При ее непосредственном участии были созданы новые направления исследований в Институте, созданы новые лаборатории и отделы. Главное внимание она уделяла не только разработке научных основ рационального использования биологических ресурсов в условиях Севера, но и практическому применению научных рекомендаций в сельскохозяйственном производстве, в лесном хозяй-



Рис.3. Студенты Коми государственного педагогического института. Крайняя справа во втором ряду – И.В.Забоева (1942 г.).



Рис.4. Так начиналась работа по составлению почвенной карты Республики Коми. Сектор почвоведения Коми Базы АН (1947 г.). Слева направо – сидят: Л.А. Макарова, Л.А. Верхованцева, к.б.н. О.А. Полынцева, проф., д.с.-х.н. Е.Н. Иванова, Л.Ф. Тугаринова; стоят: Н.В. Чебыкина, И.В. Забоева, Д.М. Рубцов, Т.А. Стенина, С.В. Беляев, О.С. Смирнова, В.А. Попов.

стве, по охране окружающей среды. В этот период Институтом была выполнена коллективная работа по спасению Коми края от надвигающейся беды – создания системы обширных водохранилищ с затоплением огромных территорий с населенными пунктами с целью переброски части стока Печоры и Вычегды в бассейн Каспийского моря. Биологами были оценены потери земельных и лесных ресурсов, растительного и животного мира. И в том, что Правительством страны было принято решение о прекращении работ по повороту стока северных рек на юг (а эти работы уже были начаты), – есть заслуга и Ии Васильевны Забоевой.

С именем Ии Васильевны связано не только развитие новых направлений в Институте, но и создание школы почвоведов Республики Коми, которая внесла весомый вклад в познание особенностей функционирования и эволюции почв и почвенного покрова на европейском Северо-Востоке. Ия Васильевна всегда уделяла и уделяет особое внимание организации стационарных исследований по изучению процессов и режимов формирования целинных и пахотных почв. На основе именно таких исследований ею впервые были выявлены основные закономерности развития подзолистых и глееподзолистых почв, установлены их генетические, диагностические и агропроизводственные характеристики, особенности их свойств и режимов, разработаны рекомендации по повышению их эффективного плодородия и использованию в сельскохозяйственном производстве. Под ее руководством и при ее непосредственном участии выявлены особенности почвенного покрова РК, дан почвенный состав земельных ресурсов, составлен классификационный список почв республики. Все эти материалы легли в основу докторской диссертации «Почвы и земельные ресурсы Коми АССР», которую Ия Васильевна успешно защитила в 1973 г. в Докучаевском Почвенном институте. А монография, опубликованная спустя два года, по праву считается классическим научным трудом и является настольной книгой вот уже нескольких поколений почвоведов России. Спустя 35 лет после выхода первой крупной монографии о почвах республики, в 2010 г. вышел второй фундаментальный труд – «Атлас почв Республики Коми» (2010 г.), который,

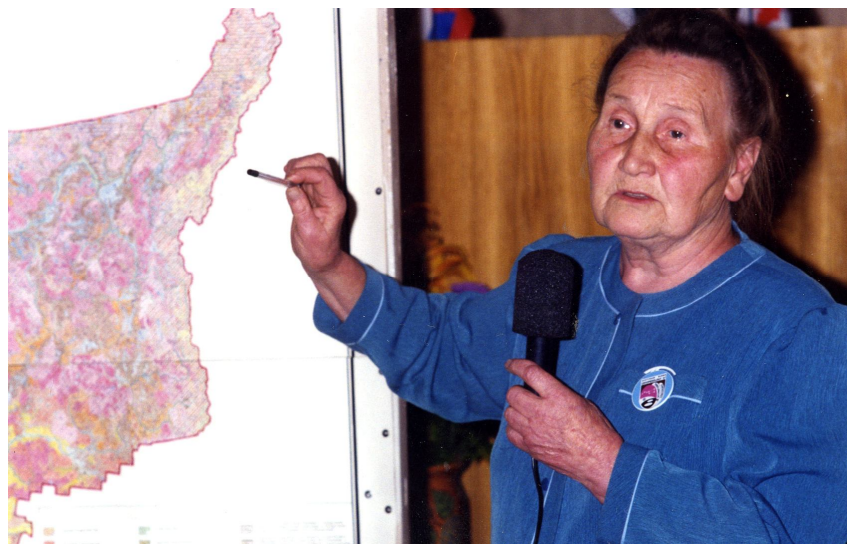


Рис.5. Ия Васильевна Забоева и основной результат ее многолетних исследований – почвенная карта Республики Коми.

по мнению академика Николая Павловича Юшкина, можно считать своего рода почвенным портретом республики.

Без сомнения, самое главное детище Ии Васильевны, основной итог ее многолетнего труда – это почвенная карта Республики Коми (рис.5). Работа над картой объединила не одно поколение почвоведов Коми филиала АН СССР (а в последующем Института биологии Коми НЦ УрО РАН). Шаг за шагом закрывались «белые пятна» на территории Республики Коми, год от года пополнялась база данных о ее почвах, их свойствах и режимах. К настоящему времени поставленная цель выполнена. Опубликованы листы Государственной почвенной карты России масштаба 1:1 000 000 Q-39 (Нарьян-Мар), Q-40 (Печора), Q-41 (Воркута), P-39 (Сыктывкар), P-40 (Красновишерск) и



Рис.6. У разреза типичной подзолистой почвы участники X Международного конгресса почвоведов (1974 г.). Сидит у разреза руководитель отдела земельных ресурсов ФАО-ЮНЕСКО проф. Дюдаль (Франция), справа стоит И.В. Забоева.

пояснительные записки к ним, редактором большинства из которых была Е.Н. Иванова. Почвенная карта востребована на всех уровнях, она раскрывает причинные связи географических процессов и явлений, является важнейшим источником материалов для оценки параметров окружающей среды, прогнозирования изменений ее состояния, является научной основой для целей экологической экспертизы.

Глубокое детальное изучение современных почвенных процессов позволили Ие Васильевне доказать наличие подзолообразовательного процесса на европейском Северо-Востоке, что оспаривалось зарубежными исследователями. На экскурсии, организованной в рамках X Международного конгресса почвоведов в 1974 г. (рис.6), почвоведы всего мира воочию убедились в существовании подзолистых почв на территории Республики Коми. Однако географо-генетические исследования в республике далеко еще не завершены. Они на территории европейского Северо-Востока продолжают в развитии идей Евгении Николаевны Ивановой ее ученицей и последователем Ией Васильевной Забоевой, а теперь и многочисленными учениками самой Ии Васильевны, среди которых один доктор и восемь кандидатов наук (рис.7).

Все, кто общался с Ией Васильевной, знают, какой это замечательный человек – очень доброжелательный, скромный и абсолютно бескорыстный. Ия Васильевна – не только крупный ученый, чуткий пе-



Рис.7. Профессор, д.с.-х.н. Ия Васильевна Забоева и ее ученики – к.г.н. Д.А. Каверин, к.г.н. А.В. Пастухов, к.с.-х.н. Е.В. Жангуров – за обсуждением новых планов по изучению почвенного покрова Республики Коми.



Рис. 8. Выступление И.В.Забоевой на торжественном заседании Президиума Коми НЦ и Ученого совета Института биологии, 26 мая 2014 г.

В этот знаменательный, юбилейный для Ии Васильевны год, мы – ее ученики и коллеги – искренне желаем ей здоровья, терпения, счастья, новых творческих успехов! Нас с Ией Васильевной ждет впереди «Красная книга почв Республики Коми», идею создания которой страстно поддерживал и мечтал ее увидеть светлой памяти Анатолий Иванович Таскаев. Наша задача – задача учеников и коллег Ии Васильевны, вместе с Ией Васильевной воплотить эту мечту в жизнь.

дагог, активный общественный деятель, но и человек огромного личного обаяния. Своей беззаветной преданностью любимой науке она снискала любовь и уважение своих коллег и учеников, широких слоев общественности. Ия Васильевна – замечательная мать, вырастившая двоих дочерей, одна из которых реализовала детскую мечту И.В. Забоевой и стала врачом-офтальмологом, а вторая – пошла по стопам своей матери и пополнила ряды российских почвоведов. Ия Васильевна – любящая бабушка четырех внуков и одной внучки, и теперь уже не только бабушка, но и прабабушка. У Ии Васильевны подрастают два чудесных правнука, ряды которых в ближайшее время пополнятся еще одним потомком И.В. Забоевой и, возможно, еще одним будущим почвоведом.

Зав. отделом почвоведения, к.б.н. Е.М. Лаптева

ЮРИЙ ГРИГОРЬЕВИЧ СОЛОНИН



21 июня 2014 г. исполнилось 75 лет известному российскому ученому в области физиологии, гигиены и экологии человека, доктору медицинских наук, профессору, заведующему лабораторией социальной физиологии Института физиологии Коми НЦ УрО РАН **Юрию Григорьевичу Солонину**.

Ю.Г.Солонин внес существенный вклад в развитие физиологии труда в нашей стране. Он разработал физиолого-гигиенические основы нормирования трудовых нагрузок и подготовил первые в стране и мире методические рекомендации Минздрава СССР (1980) «Физиологические нормы напряжения организма при физическом труде», которые действуют до сих пор и внедрены в производство, научную деятельность, учебный процесс, практическую работу органов Роспотребнадзора.

Деятельность созданной и возглавляемой Ю.Г.Солониным в течение девяти лет Государственной экспертизы условий труда Республики Коми была одобрена Министерством труда и социального развития Российской Федерации.

Юрий Григорьевич на высоком научно-методическом уровне ведет курс «Гигиена с основами экологии человека» в Коми филиале Кировской государственной медицинской академии. За активную пропаганду научных знаний он отмечен благодарственными грамотами общества «Знание» России (1997, 2002).

Ученый успешно развивает актуальные направления в физиологии – широтную физиологию и социальную физиологию. Он впервые выявил у жителей европейского Севера физиологические особенности организма (сниженный уровень физического здоровья и др.) и негативное влияние факторов географической широты на организм человека по мере продвижения на Север. Им доказано влияние социальных факторов (уровень доходов и медицинского обслуживания) на физиологический статус и физическое здоровье

северян. Установлено негативное действие неблагоприятной экологической обстановки на организм подростков в ряде населенных пунктов Республики Коми.

В 2009–2011 гг. Ю.Г.Солонин с сотрудниками обеспечил успешное выполнение медико-физиологических исследований сыктывкарской группы участников международного проекта «Марс-500». У практически здоровых испытуемых-северян в отдельные месяцы длительного мониторинга выявлены донозологические состояния организма, что открывает большие перспективы для внедрения аналогичных исследований в практику здравоохранения.

Ю.Г.Солониным опубликовано четыре монографии (с соавторами), свыше 370 публикаций, в том числе более 100 статей в рецензируемых журналах. Подготовил шесть кандидатов наук. Он неоднократно выступал на международных и всероссийских научных конференциях, читал лекции на школах для ученых.

Ю.Г.Солонин – председатель Сыктывкарского отделения Всероссийского физиологического общества им.И.П.Павлова и член Центрального Совета этого общества, член правления Сыктывкарского отделения геронтологического общества при РАН, член Ученого совета и председатель комитета по биоэтике при Институте физиологии Коми НЦ УрО РАН, член Экспертного совета Республики Коми по охране труда.

Трудовые и научные достижения Ю.Г.Солонина отмечены наградами, среди них медаль «За освоение целинных земель» (1958), дипломы Всесоюзного совета НТО за лучшие НИР по охране труда (1978, 1980), знак «Отличник здравоохранения» (1979), Почетная грамота Минтруда РФ (2001), Почетная грамота РАН (2008). В 2003 г. ему присвоено почетное звание «Заслуженный работник Республики Коми». В 2009 г. он отмечен Почетной грамотой Минздрава Республики Коми и в 2011 г. – знаком «90 лет Республике Коми».

редколлегия

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ журнала «Известия Коми НЦ УрО РАН»*

Журнал публикует научно-аналитические обзоры (объем до 25 м.с.), оригинальные статьи (до 15 м.с.) и краткие сообщения (до 6 м.с.) теоретического и экспериментального характера по проблемам естественных, технических, общественных и гуманитарных наук, в том числе региональной направленности. К публикации также принимаются комментарии к ранее опубликованным работам, информация о научных конференциях, рецензии на книги, хроника событий научной жизни. Статьи должны отражать результаты законченных и методически правильно выполненных работ.

Решение о публикации принимается редакционной коллегией журнала после рецензирования, учитывая новизну, научную значимость и актуальность представленных материалов. Статьи, отклоненные редакционной коллегией, повторно не рассматриваются.

Общие требования к оформлению рукописей

Статьи должны сопровождаться направлением научного учреждения, где была выполнена работа. В необходимых случаях должно быть приложено экспертное заключение. Организация, направляющая статью, как и автор(ы), несет ответственность за её научное содержание, достоверность и оригинальность приводимых данных. Изложение материала статьи должно быть ясным, лаконичным и последовательным. Статья должна быть хорошо отредактирована, тщательно проверена и подписана всеми авторами (автором) с указанием (полностью) фамилии, имени, отчества, домашнего адреса, места работы, служебного и сотового телефонов и e-mail.

В редакцию подается рукопись статьи в двух экземплярах – на бумаге и на диске в редакторе WinWord под Windows. Математические статьи могут подаваться в редакторе TEX. Электронная и бумажная версии статьи должны быть идентичны. Электронный вариант рукописи может быть прислан по электронной почте на адрес редакционной коллегии: journal@presidium.komisc.ru. Текст должен быть набран на компьютере (шрифт Times New Roman, кегль 14) в одну колонку через 1,5 интервала на бумаге форматом А4. По всей статье шрифт должен быть одинаковым. Поля страниц оригинала должны быть не менее: левое – 25 мм, верхнее – 20 мм, правое – 10 мм, нижнее – 25 мм. Объем иллюстраций (таблицы, рисунки, фото) в статье не должен превышать 8-10, а список литературы – 15 наименований. Количество иллюстраций в кратких сообщениях не должно превышать, соответственно, 5.

Первая страница рукописи оформляется следующим образом: в начале статьи указывается индекс Универсальной десятичной классификации (УДК); затем прописными буквами печатается название статьи, которое должно быть максимально кратким (информированным) и не содержать сокращений; далее следуют инициалы и фамилии авторов. Отдельной строкой дается название учреждения и города (для иностранных авторов – также страны). Ниже печатается электронный адрес для переписки. При наличии авторов из нескольких организаций необходимо арабскими цифрами указать их принадлежность. Через один полуторный интервал следует краткая аннотация (8-10 строк), в которой сжато и ясно описываются основные результаты работы. После аннотации через полуторный интервал приводятся ключевые слова (не более 6-8). Далее идут название статьи, аннотация и ключевые слова на английском языке.

Текст статьи состоит, как правило, из введения, основного текста, заключения (резюме) и списка литературы. В статье, описывающей результаты экспериментальных исследований, рекомендуется выделить разделы: «Материал и методы», «Результаты и обсуждение». Отдельно прилагаются подрисовочные подписи.

Во введении (заголовком не выделяется) в максимально лаконичной форме должны быть изложены цель, существо и новизна рассматриваемой задачи с обязательным кратким анализом данных наиболее важных и близких по смыслу работ других авторов. Однако введение не должно быть обзором литературы. В разделе «Материал и методы» должны быть четко и кратко описаны методы и объекты исследования. Единицы измерения следует приводить в Международной системе СИ. Подробно описываются только оригинальные методы исследования, в других случаях указывают только суть метода и дают обязательно ссылку на источник заимствования, а в случае модификации – указывают, в чем конкретно она заключается.

При первом упоминании терминов, неоднократно используемых в статье (однако не в заголовке статьи и не в аннотации), необходимо давать их полное наименование, и сокращение в скобках, в последующем применяя только сокращение. Сокращение проводить по ключевым буквам слов в русском написании. Все используемые, включая общепринятые, аббревиатуры должны быть расшифрованы при первом упоминании. Все названия видов флоры и фауны при первом упоминании в тексте обязательно даются на латыни с указанием авторов.

В разделе «Результаты и обсуждение» полученные данные приводят либо в табличной форме, либо на рисунках, без дублирования одной формы другой, и краткого описания результатов с обсуждением в сопоставлении с данными литературы.

* Включен в перечень ведущих периодических изданий ВАК.

Таблицы должны быть составлены в соответствии с принятым стандартом, без включения в них легко вычисляемых величин. Все результаты измерений должны быть обработаны и оценены с применением методов вариационной статистики. Таблицы нумеруются по мере упоминания в статье, каждой дается тематический заголовок, и размещаются на отдельной странице. Таблицы призваны иллюстрировать текстовый материал, поэтому описывать их содержание в тексте не следует. Ширина таблицы должна быть либо 90 мм (на одну колонку), либо 185 мм (на две колонки). Текст в таблице набирается шрифтом Times New Roman, кегль 9-10, через два интервала. Сокращение слов в шапке таблиц не допускается. Пустые графы в таблицах не допускаются. Они должны быть заменены условными знаками, которые объясняются в примечании. Единицы измерения даются через запятую, а не в скобках: масса, г. Если таблица в статье одна, то ее порядковый номер не ставится и слово «Таблица» не пишется.

Рисунки представляются пригодными для непосредственного воспроизведения, пояснения к ним выносятся в подрисуночные подписи (за исключением кратких цифровых или буквенных обозначений), отдельные фрагменты обозначаются арабскими цифрами или буквами русского алфавита, которые расшифровываются в подрисуночных подписях. На рисунках, выполненных на компьютере, линии должны быть яркими (4-5 рix).

Ширина рисунков должна быть либо 90 мм, либо 185 мм, а высота – не более 240 мм. Шрифт буквенных и цифровых обозначений на рисунках – Times New Roman, кегль – 9-10. На рисунках следует использовать разные типы штриховок с размером шага, допускающим уменьшение, а не оттеночные заливки серого и черного цветов. Каждый рисунок должен быть выполнен на отдельной странице. На обратной стороне рисунка простым карандашом или ручкой указывается фамилия первого автора статьи и номер рисунка.

Карты должны быть выполнены на географической основе ГУГК (контурные или бланковые карты). Транскрипция географических названий должна соответствовать атласу последнего года издания.

Фотографии представляют нескрепленными на белой глянцевой бумаге в двух экземплярах (один из них чистый, без каких-либо надписей) в конверте. Желательно обрезать их до необходимого размера репродукции, чтобы они попадали в размеры страницы. На обратной стороне (на полях) фотографий простым карандашом указываются фамилии первого автора, название статьи, порядковый номер рисунка, его верх или низ. Подрисуночные подписи оформляются на отдельной странице. В подписях к микрофотографиям указываются увеличение объектива и окуляра, метод окраски.

Местоположение каждой таблицы, рисунка, карты, фотографии при первом упоминании их в тексте отмечается на полях рукописи в квадратных рамках простым карандашом.

Математические и химические обозначения и формулы печатаются или вписываются с соблюдением размеров прописных и строчных букв. Во избежание неясности прописные и строчные буквы, имеющие одинаковое начертание (с, k, j, p, u, v, w, x, y, ψ), следует подчеркнуть двумя черточками: прописные – снизу (S), а строчные – сверху (p). Необходимо тщательно вписывать такие буквы, как j («йот») и l («эль»). Греческие буквы обводятся кружком красного цвета. Знак суммы (Σ) красным не обводится. Название неясных букв желательно написать карандашом на полях (например, «эль», «кси», «дзета», «не эль», «и», «йот»).

Математические символы, которые набираются прямым, а не курсивным шрифтом, типа log, lim, max, min, sin, tg, Ri, Im, числа Релея (Re), Россби (Ro), Кибеля (Ki) и другие, а также химические символы, 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 приводить только цифрами в квадратных скобках. Список литературы должен быть представлен на отдельной странице и составлен в порядке упоминания источников в тексте в соответствии со следующими правилами описания. Журнальные публикации: фамилии и инициалы всех авторов, полное название статьи журнала, название журнала (в соответствии с рекомендованным ВИНТИ списком сокращений), год, том, выпуск (номер), страницы (первая и последняя). Книги: фамилии и инициалы всех авторов, полное название книги, инициалы и фамилии редакторов, город, год, страницы (если ссылка не на всю книгу) или число страниц в книге. Сборники: фамилия и инициалы авторов, полные названия статьи и сборника, первая и последние страницы. Если сборник содержит материалы конференций, необходимо указать их форму (труды, доклады, материалы) и название конференции. Диссертации: фамилия и инициалы автора, полное название диссертации, на соискание какой степени, каких наук, город, институт, в котором выполнена работа, год. Ссылки на авторефераты допускаются в исключительных случаях с указанием фамилии и инициалов автора, полного названия работы, места и года защиты, общего количества страниц. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Список литературы оформляется по нижеприведенным примерам (следует обратить особое внимание на знаки препинания):

1. Иванов И.И. Название статьи // Название журнала. 2005. Т.41. № 4. С. 18-26.

2. *Петров П.П.* Название книги. М.: Наука, 2007. Общее число страниц в книге (например, 180 с.) или конкретная страница (например, С. 75.).

3. *Казаков К.К.* Название диссертации: Дис. «...». канд. биол. наук. М.: Название института, 2002. 164 с.

4. *Мартынюк З. П.* Патент RU № 92963 на полезную модель "Фотограмметрическое средство измерений объемов круглых лесоматериалов при проведении погрузо-разгрузочных работ". Патенто-обладатель(и): Учреждение Российской академии наук Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН.

При наличии четырех авторов в списке литературы указываются все, а более четырех – только первые три, а далее пишется «и др.».

Для статей журналов, имеющих русскую и английскую версию, необходимо давать в списке литературы двойную ссылку (под одним номером), например:

1. *Иванов И.И., Петров П.П.* Название статьи // Название журнала. 2008. Т. 47. № 1. (8-18). *Ivanov I., Petrov P.* Article name // Magazine name. 2008. Т. 47. № 1. (4-15).

При несоблюдении этих перечисленных правил статья не рассматривается редакционной коллегией, а возвращается авторам на доработку.

Все статьи проходят рецензирование и в случае необходимости возвращаются авторам на доработку. Рецензирование статьи закрытое. Возможно повторное и параллельное рецензирование. Редакционная коллегия оставляет за собой право редактирования статьи. Статьи публикуются в порядке очередности, но при этом учитывается их тематика и актуальность. Редакционная коллегия сохраняет первоначальную дату поступления статьи, а, следовательно, и очередность публикации, при условии возвращения ее в редакционную коллегию не позднее, чем через 1 месяц. Корректуру принятой в печать статьи редакционная коллегия иногородним авторам рассылает по e-mail. Автор в течение 7-10 дней должен вернуть ее в редакционную коллегию или передать правку по указанному телефону или электронному адресу (e-mail) редакционной коллегии. В случае отклонения материала рукописи, приложения и дискета не возвращаются.

Требования к электронной версии статьи

При подготовке материалов для журнала с использованием компьютера рекомендуются следующие программы и форматы файлов.

Текстовые редакторы: Microsoft Word for Windows. Текст статьи набирается с соблюдением следующих правил:

- набирать текст без принудительных переносов;
- разрядки слов не допускаются;
- уравнения, схемы, таблицы, рисунки и ссылки на литературу нумеруются **в порядке их упоминания в тексте**; нумеровать следует лишь те формулы и уравнения, на которые даются ссылки в тексте;

- в числовых значениях **десятичные разряды отделяются запятой**;

- вставка символов **Symbol**.

Графические материалы: *Растровые рисунки* должны сохраняться только в формате TIFF с разрешением 300 dpi (точек на дюйм) для фотографий и не менее 600 dpi (точек на дюйм) для остальных рисунков (черно-белый). Использование других форматов нежелательно.

Векторные рисунки (не диаграммы) должны предоставляться в формате программы, в которой они созданы: CorelDraw, Adobe Illustrator. Если использованная программа не является распространенной, необходимо сохранить файлы рисунков в формате Enhanced Windows Metafile (EMF) или Windows Metafile (WMF).

Диаграммы: Рекомендуется использовать Microsoft Excel, Origin для Windows (до версии 6.0).

Не рекомендуется пользоваться при работе программой Microsoft Graph и программами Paint из Windows 95, Microsoft Draw.

Рукописи статей **только простым письмом** направлять по адресу:

Ответственному секретарю редакционной коллегии

журнала «Известия Коми НЦ УрО РАН»

Надежде Валериановне Ладановой

167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 24,

Президиум Коми НЦ УрО РАН, каб. 209

Тел. (8212) 24-47-79; тел, факс (8212) 24-17-46

E-mail: journal@presidium.komisc.ru.

www.izvestia.komisc.ru

Научный журнал

ИЗВЕСТИЯ

Коми научного центра
Уральского отделения
Российской академии наук

Вып. 2(18)

Редактор Т.В.Цветкова
Компьютерный дизайн и стилистика Р.А.Микушев
Компьютерное макетирование Н.А.Сулейманова

Лицензия № 0047 от 10.01.1999.
Подписано в печать 19.06.2014. Выход в свет 30.06.2014.
Формат бумаги 60х84¹/₈. Печать офсетная. Бумага офсетная.
Усл.-печ.л. 15. Уч.-изд.л. 15. Тираж 300. Заказ № 24. Цена свободная.

Редакционно-издательский отдел
Коми научного центра УрО РАН.
167982, ГСП, г.Сыктывкар, ул.Первомайская, 48.

Адрес учредителя: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Коми научный центр УрО РАН,
167982, ГСП-2, г.Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 24.