

Научный журнал

Основан в 2010 г.
Выходит 4 раза в год

Учредитель
Коми научный центр
УрО РАН

ИЗВЕСТИЯ

КОМИ НАУЧНОГО ЦЕНТРА
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН

№4(8)

2011

Главный редактор:

член-корреспондент РАН А.М. Асхабов

Редакционная коллегия:

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

Редакционный совет:

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

Адрес редакции:

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

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.

© Коми научный центр УрО РАН, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Н.А. Громов, В.В. Куратов. Контракции квантовых симплектических групп..... 4

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

П.В. Истомин, А.В. Надуткин, В.Э. Грас. Силовое СВС-компактирование непорошковых
слоевых композиций Ti-SiC.....12

П.А. Ситников, И.Н. Васенева, А.Г. Белых, О.Б. Котова, Д.А. Шушков,
Ю.И. Рябков, А.В. Кучин. Моделирование и разработка технологических параметров
получения эпоксидного композиционного материала с содержанием
анальцим-монтмориллонитовой породы.....15

И.В. Пийр, Н.А. Секушин, В.А. Белый. Распределение атомов меди и магния по катионным
позициям в твердых растворах $\text{Bi}_2\text{Mg}_{1-x}\text{Cu}_x\text{Nb}_2\text{O}_{9.8}$ со структурой пирохлора19

Е.И. Истомина, П.В. Истомин, А.В. Надуткин. Влияние стехиометрии карбидов титана
на формирование фазы Ti_3SiC_2 в системе TiC-SiO24

Б.А. Голдин, Ю.И. Рябков, П.А. Ситников, Л.Ю. Назарова, Е.В. Цветкова. Синтез титанатов
со структурой ильменита29

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

С.В. Дёгтева, И.И. Полетаева, Т.Н. Пыстина. Роль системы особо охраняемых природных
территорий Республики Коми в сохранении редких видов.....35

Ю.Н. Минеев, О.Ю. Минеев. Экология лебедя-кликуна (*Cygnus cygnus*)
на европейском Северо-Востоке России42

Т.Ф. Василенко. Метаболическое обеспечение формирования эстральных циклов
у животных в период полового созревания.....48

Н.Г. Варламова. Артериальное давление у мужчин и женщин Севера52

А.М. Канева, Н.Н. Потолицына, Е.Р. Бойко. Роль аполипопротеина-е в развитии
гипертриглицеридемии у жителей европейского Севера России.....56

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Е.Б. Трейвус, Н.Н. Пискунова, Ю.С. Симакова. Скульптура кубических граней
кристаллов пирита из Испании и возможная причина ее возникновения.....60

С.К. Кузнецов, В.П. Лютое, С.Н. Шанина, Е.Н. Светова, Н.В. Сокерина.
Особенности качества жильного кварца уральских месторождений.....65

А.М. Пыстин, Ю.И. Пыстина. Новые данные о возрасте гранитоидов Приполярного Урала
в связи с проблемой выделения Кожимской среднерифейской гранит-риолитовой формации...73

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

О.Н. Бурмистрова, Е.В. Пластинина, М.А. Воронина. Математическая модель
проектирования лесовозных автомобильных дорог с учетом климатических условий
Северо-Западного региона79

ИСТОРИКО-ФИЛОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Г.А. Некрасова. Средства выражения инструмента в финно-угорских языках85

А.В. Самарин. Роль Коми филиала АН СССР в организации
Уральского отделения (предпосылки участия и значение объединения).....89

ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

М.М. Стыров, В.С. Панфилов. Лесной сектор Республики Коми:
управление финансовыми ресурсами и возможности устойчивого развития.....94

В.В. Тихомирова. Роль проекта «от пособия к зарплате» в повышении
экономической активности населения 100

В.Л. Никитенков, О.В. Байбородина, А.А. Поберий. Оптимизация бизнес-процесса
упаковки нарезанных рулонов бумаги..... 106

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТДЕЛ (ЮБИЛЕИ) 111

CONTENTS

PHYSICAL And MATHEMATICAL SCIENCES

N.A.Gromov, V.V.Kuratov. Contractions of quantum symplectic groups.....	4
---	---

CHEMICAL SCIENCES

P.V.Istomin, A.V.Nadutkin, V.E.Grass. Forced SHS-compaction of layered non-powder Ti-SiC compositions.....	12
P.A.Sitnikov, I.N.Vaseneva, A.G.Belykh, O.B.Kotova, D.A.Shushkov, Yu.I.Ryabkov, A.V.Kuchin. Modelling and working out of technological parameters for obtaining of an epoxy composite material containing analtsim-montmorillonit rock	15
I.V.Piir, N.A.Sekushin, V.A.Beliy. Distribution of copper and magnesium atoms on cation sites of the solid solutions $\text{Bi}_2\text{Mg}_{1-x}\text{Cu}_x\text{Nb}_2\text{O}_{9.8}$ with pyrochlore structure	19
E.I.Istomina, P.V.Istomin, A.V.Nadutkin. Effect of titanium carbide stoichiometry on formation of Ti_3SiC_2 in the system TiC-SiO.....	24
B.A.Goldin, Yu.I.Ryabkov, P.A.Sitnikov, L.Yu.Nazarova, E.V.Tsvetkova. Synthesis of titanates with ilmenite structure	29

BIOLOGICAL SCIENCES

S.V.Degteva, I.I.Poletaeva, T.N.Pystina. The role of nature protected areas of the Komi Republic for rare species conservation.....	35
Yu.N.Mineev, O.Yu.Mineev. The ecology of Whooper Swan (<i>Cygnus Cygnus</i>) in the European northeast of Russia.....	42
T.F.Vasilenko. Metabolic maintenance of estrus cycles formation in animals at puberty.....	48
N.G.Varlamova. Arterial pressure in men and women of the North	52
A.M.Kaneva, N.N.Potolitsyna, E.R.Bojko. Role of apolipoprotein-E in development of hypertriglyceridemia in residents of the European North of Russia.....	56

GEOLOGICAL And MINERALOGICAL SCIENCES

E.V.Treivus, N.N.Piskunova, Yu.S.Simakova. Sculpture of cubic faces of pyrite crystals from Spain and the possible reason of its arising	60
S.K.Kuznetsov, V.P.Lutoev, S.N.Shanina, E.N.Svetova, N.V.Sokerina. Peculiarities of vein quartz quality, the Urals deposits	65
A.M.Pystin, Yu.I.Pystina. New data on granitoid ages from the Subpolar Urals in connection with the problem of distinguishing of the Middle Riphean granite-rhyolite Kozhim formation.....	73

TECHNICAL SCIENCES

O.N.Burmistrova, E.V.Plustinina, M.A.Voronina. Mathematical model of designing of forest roads taking into account environmental conditions of northwest region	79
---	----

HISTORICAL And PHILOLOGICAL SCIENCES

G.A.Nekrasova. Means to express an instrument in the Finno-Ugric languages.....	85
A.V.Samarin. Role of the Komi Branch of the USSR Academy of Sciences in the organization of the Ural Branch of the Academy of Sciences (Preconditions for participation and the importance of merging).....	89

SOCIAL SCIENCES

M.M.Styrov, V.S.Panfilov. Wood industry of the Komi Republic: financial resources management and facilities of steady growth.....	94
V.V.Tikhomirova. The guidelines of improvement of targeted public assistance in the Komi Republic.....	100
V.L.Nikitenkov, O.V.Baiborodina, A.A.Pobery. Optimized business process of packing sliced rolls of paper.....	106

OFFICIAL (ANNIVERSARIES)	111
--------------------------------	-----

КОНТРАКЦИИ КВАНТОВЫХ СИМПЛЕКТИЧЕСКИХ ГРУПП

Н.А. ГРОМОВ, В.В. КУРАТОВ

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

Изучаются контракции квантовых симплектических групп $Sp_q(n)$, рассматриваемых как алгебры Хопфа некоммутативных функций над алгебрами с нильпотентными образующими, а также контракции ассоциированных с ними квантовых симплектических пространств Sp_q^{2n} . Развита общая теория для произвольного n , включающая разные сочетания схемы контракций Кэли-Клейна и структуры алгебры Хопфа, которые описываются с помощью перестановок n -го порядка. Общая теория подробно иллюстрируется при $n = 2$.

Ключевые слова: алгебра Хопфа, квантовая симплектическая группа, контракция

N.A. GROMOV, V.V. KURATOV. CONTRACTIONS OF QUANTUM SYMPLECTIC GROUPS

Contractions of the quantum symplectic groups $Sp_q(n)$ and of the quantum symplectic spaces Sp_q^{2n} are investigated. Contracted groups are regarded as Hopf algebras of the noncommutative functions over the algebras with nilpotent generators. The different combinations of the Cayley-Klein scheme of group contractions and the noncommutative quantum structure are studied with the help of permutations of n -th order in the framework of general theory for arbitrary n . The case of $n = 2$ is considered in detail.

Key words: Hopf algebra, quantum symplectic group, contraction

Введение

Теория квантования простых классических групп и алгебр Ли непрерывных серий — ортогональной, унитарной и симплектической — систематически была сформулирована в работе [1], содержащей также мотивировку и краткую историю развития связанных с теорией алгебраических конструкций. С алгебраической точки зрения квантовые группы Ли и квантовые алгебры Ли представляют собой алгебры Хопфа, а их значение, помимо всего прочего, состоит в том, что это были первые нетривиальные примеры некоммутативных и одновременно некокоммутирующих алгебр Хопфа. С 90-х гг. прошлого столетия квантовые группы и алгебры приобрели большую популярность и интенсивно исследовались как математиками, так и физиками. С ними связывались надежды о предсказании и обнаружении эффектов некоммутативности в реальном мире, в частности, в геометрии пространства-времени [2, 3].

Вместе с тем, в теоретической физике используются не только простые, но и неполупростые группы и алгебры Ли. В частности, группа инвариантности релятивистского пространства-времени специальной теории относительности есть неполупростая группа, представляющая собой полупрямое произведение абелевой подгруппы трансляций и группы Ло-

ренца. Поэтому описание некоммутативных квантовых деформаций неполупростых групп Ли и алгебр Ли представляет несомненный интерес как с точки зрения их приложений в физике, так и собственно математический, поскольку отдельная процедура квантования (деформирования) неполупростых групп Ли и алгебр Ли неизвестна. Неполупростые группы Ли можно получить из простых групп методом контракций [4], который состоит во введении в структуру группы одного или нескольких параметров таким образом, чтобы при стремлении этих параметров к нулю групповые аксиомы сохранялись, а изменялось бы лишь групповое умножение.

Альтернативный подход [5] к описанию неполупростых групп Ли заключается в рассмотрении групп над алгебрами, порождаемыми нильпотентными коммутативными образующими. Элементы таких групп представляют собой квадратные матрицы, матричные элементы которых принимают значения в алгебрах с нильпотентными образующими. Этот же подход применим и в случае квантовых групп [6]–[11]. В отличие от [7, 9] в настоящей работе мы рассматриваем разные объединения квантовой структуры (или структуры алгебры Хопфа) и схемы контракций Кэли-Клейна в рамках одного объекта: квантовой симплектической группы или некоммутативного квантового симплектического пространства.

1. Квантовые симплектические группы и пространства

Квантовая симплектическая группа $Sp_q(n)$ определяется [1] вполне аналогично квантовой ортогональной группе. Она ассоциируется с матрицей R_q вида

$$R_q = q \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq i'}}^N e_{ii} \otimes e_{ii} + \sum_{\substack{i,k=1 \\ i \neq k, k'}}^N e_{ii} \otimes e_{kk} + \\ + q^{-1} \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq i'}}^N e_{i'i'} \otimes e_{ii} + \lambda \sum_{\substack{i,k=1 \\ i > k}}^N e_{ik} \otimes e_{ki} - \\ - \lambda \sum_{\substack{i,k=1 \\ i > k}}^N q^{\rho_i - \rho_k} \varepsilon_i \varepsilon_k e_{ik} \otimes e_{i'k'}, \quad (1)$$

где $N = 2n, \lambda = q - q^{-1}, (\rho_1, \dots, \rho_{2n}) = (n, n - 1, \dots, 1, -1, \dots, -n + 1, -n), \varepsilon_i = 1$ при $i = 1, \dots, n$ и $\varepsilon_i = -1$ при $i = n + 1, \dots, N, i' = N + 1 - i$. С помощью числовой матрицы R_q определяются коммутационные соотношения

$$R_q T_1 T_2 = T_2 T_1 R_q, \quad (2)$$

образующих

$$T = \begin{pmatrix} t_{ik} & t_{ik'} \\ t_{i'k} & t_{i'k'} \end{pmatrix}, \quad i, k = 1, \dots, n \quad (3)$$

квантовой группы $Sp_q(n)$, где $T_1 = T \otimes I, T_2 = I \otimes T$, а I — единичная $2n \times 2n$ матрица. В алгебре $Sp_q(n)$ имеют место дополнительные соотношения вида

$$TCT^t = C, \quad T^t C^{-1} T = C^{-1}, \quad (4)$$

где $C = C_0 q^\rho$, причем $\rho = \text{diag}(\rho_1, \dots, \rho_N), (C_0)_{ij} = \varepsilon_i \delta_{i'j}, i, j = 1, \dots, N$ и $C^2 = -I$.

Алгебра функций на квантовой группе $Sp_q(n)$ и является алгеброй Хопфа с коумножением Δ

$$\Delta T = T \otimes T, \quad \Delta t_{ij} = \sum_{k=1}^{2n} t_{ik} \otimes t_{kj}, \quad (5)$$

коединицей ϵ

$$\epsilon(T) = I, \quad \epsilon(t_{ij}) = \delta_{ij} \quad (6)$$

и антиподом S

$$S(T) = CT^t C^{-1}, \quad i, j = 1, \dots, n,$$

$$S(t_{ik}) = q^{i-k} t_{k'i'}, \quad S(t_{ik'}) = -q^{i-k'-1} t_{ki'},$$

$$S(t_{i'k}) = -q^{i'-k+1} t_{k'i}, \quad S(t_{i'k'}) = q^{k-i} t_{ki} = q^{i'-k'} t_{ki}, \quad (7)$$

обладающим свойством

$$S^2(T) = (CC^t)T(CC^t)^{-1}. \quad (8)$$

Выбор многочлена $f(t) = t - q$ в определении квантовых пространств

$$f(\hat{R})(x \otimes x) = 0 \quad (9)$$

приводит к $N = 2n$ -мерному квантовому симплектическому пространству $Sp_q^N(C)$, порождаемому образующими $\hat{x}_1, \dots, \hat{x}_{2n}$ и коммутационными соотношениями

$$\hat{R}_q(\hat{x} \otimes \hat{x}) = q(\hat{x} \otimes \hat{x}), \quad (10)$$

где $\hat{R}_q = PR_q, P(a \otimes b) = b \otimes a$. В явном виде

$$\hat{x}_i \hat{x}_k = q \hat{x}_k \hat{x}_i, \quad 1 \leq i < k \leq 2n, i \neq k', \\ \hat{x}_{i'} \hat{x}_i = \hat{x}_i \hat{x}_{i'} + (q^2 - 1) \sum_{l=1}^{i'-1} q^{\rho_{i'} - \rho_l} \varepsilon_{i'} \varepsilon_l \hat{x}_l \hat{x}_{l'}, \\ 1 \leq i < i' \leq 2n. \quad (11)$$

В алгебре $Sp_q^N(C)$ выполняется равенство

$$\hat{x}^t C \hat{x} = \sum_{k=1}^N q^{-\rho_k} \varepsilon_k \hat{x}_k \hat{x}_{k'} = 0, \quad (12)$$

с учетом которого последние коммутаторы в (11) можно переписать в виде

$$[\hat{x}_i, \hat{x}_{i'}] = \lambda q \sum_{k=1}^i q^{i-k} \hat{x}_{k'} \hat{x}_k, \quad i = 1, \dots, n. \quad (13)$$

Квантовое симплектическое пространство $Sp_q^{2n}(C)$ вкладывается в квантовую группу $Sp_q(n)$ как первый столбец матрицы образующих $\hat{x}_k = t_{k1}, k = 1, \dots, n$. Не зависящее от выбора матрицы R действие δ квантовой группы $Sp_q(n)$ на квантовом симплектическом пространстве $Sp_q^{2n}(C)$

$$\delta(\hat{x}) = T \otimes \hat{x}, \quad \delta(\hat{x}_i) = \sum_{k=1}^n t_{ik} \otimes \hat{x}_k, \quad i = 1, \dots, n \quad (14)$$

сохраняет билинейную форму

$$\hat{x}^t \otimes C \hat{y} = \\ = \sum_{k=1}^n \left(q^{-(n+1-k)} \hat{x}_k \otimes \hat{y}_{k'} - q^{(n+1-k)} \hat{x}_{k'} \otimes \hat{y}_k \right), \quad (15)$$

т.е. $m(\delta \otimes \delta)(\hat{x}^t \otimes C \hat{y}) = 1 \otimes \hat{x}^t \otimes C \hat{y}$, где $m : Sp_q(n) \otimes Sp_q(n) \rightarrow Sp_q(n)$ есть отображение умножения.

2. Разные комбинации квантовой структуры и схемы контракций Кэли-Клейна

Теория квантовых деформаций и схема контракций Кэли-Клейна пространств зависят от выбора базиса — они обе используют в качестве исходного объекта декартовы координаты евклидова пространства. Эти декартовы координаты равноправны в том смысле, что перенумерация координат не меняет геометрические свойства пространства. Вместе с тем и квантовые деформации и контракции нарушают указанную равноправность. При деформации коммутативные декартовы координаты становятся некоммутативными, причем коммутационные соотношения между декартовыми образующими зависят от ее номера. Схема контракций Кэли-Клейна вводится независимым от квантовой деформации способом: $x_k \rightarrow (1, k)x_k$, но она зависит от номера координаты. Две независимые структуры могут быть объединены в одном объекте — квантовой группе или

квантовом пространстве — разными способами [6]. Для этого достаточно изменить только одну из структур, скажем, квантовые деформации с помощью перестановок $\sigma \in S(n)$ индексов декартовых образующих квантового пространства в уравнениях, задающих их коммутационные соотношения, а также перестановок индексов матрицы образующих квантовой группы в RTT -уравнениях. Схему контракций Кэли-Клейна при этом оставляем неизменной.

В случае симплектических групп и пространств это описание выглядит следующим образом. Заменим в уравнениях (10) образующие $\hat{x}^t = (x_1, \dots, x_n, x_{n'}, \dots, x_{1'})$ на $x^t = (x_{\sigma_1}, \dots, x_{\sigma_n}, x_{\sigma'_n}, \dots, x_{\sigma'_1})$ и определим квантовое симплектическое пространство Кэли-Клейна $Sp_v^{2n}(j; \sigma)$ формулами

$$\hat{x}_{\sigma_k} \rightarrow (1, \sigma_k)x_{\sigma_k}, \quad \hat{x}_{\sigma'_k} \rightarrow (1, \sigma_k)x_{\sigma'_k}, \quad k = 1, \dots, n, \quad (16)$$

где образующие $\hat{x}_{\sigma_k}$ принадлежат первому сомножителю $x_{\sigma_k} \in R_n(j)$, а образующие $\hat{x}_{\sigma'_k} \in \tilde{R}_n(j)$ — второму сомножителю в тензорном произведении $R_n(j) \otimes \tilde{R}_n(j)$. Произведение контракционных параметров обозначим символом

$$(\sigma_i, \sigma_k) = \prod_{l=\min(\sigma_i, \sigma_k)}^{\max(\sigma_i, \sigma_k)-1} j_l, \quad (\sigma_k, \sigma_k) \equiv 1. \quad (17)$$

Преобразование образующих следует дополнить преобразованием параметра деформации $q = e^z$ вида $z = Jv$, в котором минимальный множитель J находится из условия определенности всех коммутационных соотношений квантового пространства $Sp_v^{2n}(j; \sigma)$

$$x_{\sigma_i}x_{\sigma_k} = e^{Jv}x_{\sigma_k}x_{\sigma_i}, \quad 1 \leq i < k \leq 2n, \quad i \neq k',$$

$$[x_{\sigma_i}, x_{\sigma'_i}] = \frac{2e^{Jv} \sinh Jv}{(1, \sigma_i)^2} \sum_{k=1}^i e^{J(i-k)v} (1, \sigma_k)^2 x_{\sigma'_k} x_{\sigma_k},$$

$$i = 1, \dots, n \quad (18)$$

и коммутационных соотношений (21) квантовой группы $Sp_v(n; j; \sigma)$. В случае тождественной перестановки $\sigma_0 = (1, 2, \dots, n)$ минимальный множитель $J = (1, n)^2$.

Преобразование образующих квантовой симплектической группы найдем из условия сохранения билинейной формы пространства $Sp_v^{2n}(j; \sigma)$

$$x^t(j; \sigma) \otimes C(j)y(j; \sigma) =$$

$$= \sum_{k=1}^n (1, \sigma_k)^2 \left(e^{-J(n+1-k)v} x_{\sigma_k} \otimes y_{\sigma'_k} - \right.$$

$$\left. - e^{J(n+1-k)v} x_{\sigma'_k} \otimes y_{\sigma_k} \right). \quad (19)$$

В результате получим матрицу образующих квантовой группы $Sp_v(n; j; \sigma)$ вида

$$T(j; \sigma) = \begin{pmatrix} T_{ik} & T_{ik'} \\ T_{i'k} & T_{i'k'} \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} (\sigma_i, \sigma_k)t_{\sigma_i \sigma_k} & (\sigma_i, \sigma_k)t_{\sigma_i \sigma'_k} \\ (\sigma_i, \sigma_k)t_{\sigma'_i \sigma_k} & (\sigma_i, \sigma_k)t_{\sigma'_i \sigma'_k} \end{pmatrix}, \quad (20)$$

где $i, k = 1, \dots, n$. Коммутационные соотношения образующих $T(j; \sigma)$ находятся из системы уравнений (сравни (2))

$$R_v T_1(j; \sigma) T_2(j; \sigma) = T_2(j; \sigma) T_1(j; \sigma) R_v, \quad (21)$$

а дополнительные соотношения (4) принимают вид

$$T(j; \sigma) C(j) T^t(j; \sigma) = C(j),$$

$$T^t(j; \sigma) C^{-1}(j) T(j; \sigma) = C^{-1}(j), \quad (22)$$

где $R_v = R_q(q \rightarrow e^{Jv})$, $C(j) = C(q \rightarrow e^{Jv})$. Структура алгебры Хопфа в алгебре функций на квантовой группе $Sp_v(n; j; \sigma)$ задается соотношениями

$$\Delta T(j; \sigma) = T(j; \sigma) \otimes T(j; \sigma), \quad \epsilon(T(j)) = I,$$

$$S(T(j; \sigma)) = C(j) T^t(j; \sigma) C^{-1}(j). \quad (23)$$

Мы описали общую алгебраическую структуру квантовых симплектических групп $Sp_v(n; j; \sigma)$ и ассоциированных с ними квантовых симплектических пространств $Sp_v^{2n}(j; \sigma)$. Проиллюстрируем полученные соотношения при $n = 2$ — первом нетривиальном случае, допускающем один контракционный параметр.

3. Квантовая симплектическая группа $Sp_v(2; j; \sigma)$ и квантовое пространство $Sp_v^4(j; \sigma)$

При $n = 2$ квантовое симплектическое пространство Sp_q^4 порождается образующими $x_1, x_2, x_{2'}, x_{1'}$. Здесь $i = 1, 2$, $i' = 5 - i$, $i' = 2', 1'$, где $2' = 3$, $1' = 4$. При переходе от Sp_q^4 к $Sp_v^4(j; \sigma)$ применяется преобразование (16), а именно: $x_{\sigma_1} \rightarrow (1, \sigma_1)x_{\sigma_1}$, $x_{\sigma_2} \rightarrow (1, \sigma_2)x_{\sigma_2}$, $x_{\sigma'_2} \rightarrow (1, \sigma_2)x_{\sigma'_2}$, $x_{\sigma'_1} \rightarrow (1, \sigma_1)x_{\sigma'_1}$. В результате коммутационные соотношения запишутся в виде

$$x_{\sigma_1}x_{\sigma_2} = qx_{\sigma_2}x_{\sigma_1}, \quad x_{\sigma_1}x_{\sigma'_1} = qx_{\sigma'_1}x_{\sigma_1},$$

$$x_{\sigma_2}x_{\sigma'_1} = qx_{\sigma'_1}x_{\sigma_2}, \quad x_{\sigma'_1}x_{\sigma'_1} = qx_{\sigma'_1}x_{\sigma'_1},$$

$$x_{\sigma_1}x_{\sigma'_1} = q^2x_{\sigma'_1}x_{\sigma_1},$$

$$x_{\sigma_2}x_{\sigma'_2} - q^2x_{\sigma'_2}x_{\sigma_2} = \frac{(1, \sigma_1)^2}{(1, \sigma_2)^2} \lambda x_{\sigma_1}x_{\sigma'_1}, \quad (24)$$

где $q = e^{Jv}$, $\lambda = q - q^{-1} = 2 \sinh Jv$, $J = j^2$. Для краткости мы используем обозначение j вместо j_1 .

Образующие квантовой симплектической группы $Sp_v(2; j; \sigma)$ преобразуются по правилу (20), где $i, k = 1, 2$. Коммутационные соотношения образующих находятся решением системы уравнений (21) и подразделяются на следующие семь типов:

1. коммутирующие $[a, b] = 0$,

$$[t_{\sigma_1 \sigma_2}, t_{\sigma'_2 \sigma'_1}] = [t_{\sigma_1 \sigma'_2}, t_{\sigma'_2 \sigma_1}] = [t_{\sigma_1 \sigma_2}, t_{\sigma_2 \sigma_1}] =$$

$$= [t_{\sigma'_2 \sigma'_1}, t_{\sigma'_1 \sigma'_2}] = [t_{\sigma'_2 \sigma_2}, t_{\sigma'_1 \sigma_1}] = [t_{\sigma_2 \sigma_1}, t_{\sigma_1 \sigma'_2}] =$$

$$= [t_{\sigma_2 \sigma'_1}, t_{\sigma'_1 \sigma'_2}] = [t_{\sigma'_2 \sigma'_1}, t_{\sigma'_1 \sigma_2}] = [t_{\sigma_2 \sigma'_1}, t_{\sigma'_1 \sigma_2}] =$$

$$= [t_{\sigma_2 \sigma_2}, t_{\sigma'_1 \sigma_1}] = [t_{\sigma_2 \sigma'_2}, t_{\sigma'_1 \sigma_1}] = [t_{\sigma'_2 \sigma'_2}, t_{\sigma'_1 \sigma_1}] =$$

$$= [t_{\sigma_2 \sigma'_2}, t_{\sigma_1 \sigma'_1}] = [t_{\sigma'_2 \sigma_2}, t_{\sigma_1 \sigma'_1}] = [t_{\sigma_2 \sigma_2}, t_{\sigma_1 \sigma'_1}] =$$

$$= [t_{\sigma'_1 \sigma_1}, t_{\sigma_1 \sigma'_1}] = [t_{\sigma'_2 \sigma'_2}, t_{\sigma_1 \sigma'_1}] = 0, \quad (25.a)$$

2. q -коммутирующие $[a, b]_q = 0$ или $ab = qba$,

$$\begin{aligned} [t_{\sigma_1\sigma_1}, t_{\sigma_1\sigma_2}]_q &= 0, & [t_{\sigma_1\sigma_1}, t_{\sigma_1\sigma'_2}]_q &= 0, \\ [t_{\sigma_1\sigma'_2}, t_{\sigma_1\sigma'_1}]_q &= 0, & [t_{\sigma_2\sigma'_2}, t_{\sigma_2\sigma'_1}]_q &= 0, \\ [t_{\sigma_1\sigma'_1}, t_{\sigma_2\sigma'_1}]_q &= 0, & [t_{\sigma_1\sigma'_1}, t_{\sigma'_2\sigma'_1}]_q &= 0, \\ [t_{\sigma_1\sigma'_2}, t_{\sigma_2\sigma'_2}]_q &= 0, & [t_{\sigma'_1\sigma'_2}, t_{\sigma'_1\sigma'_1}]_q &= 0, \\ [t_{\sigma_1\sigma_1}, t_{\sigma_2\sigma_1}]_q &= 0, & [t_{\sigma_1\sigma_1}, t_{\sigma'_2\sigma_1}]_q &= 0, \\ [t_{\sigma_2\sigma_1}, t_{\sigma'_1\sigma_1}]_q &= 0, & [t_{\sigma_2\sigma_2}, t_{\sigma'_1\sigma_2}]_q &= 0, \\ [t_{\sigma_1\sigma_2}, t_{\sigma_2\sigma_2}]_q &= 0, & [t_{\sigma_2\sigma_1}, t_{\sigma_2\sigma_2}]_q &= 0, \\ [t_{\sigma'_2\sigma_1}, t_{\sigma'_2\sigma_2}]_q &= 0, & [t_{\sigma'_1\sigma_1}, t_{\sigma'_1\sigma'_2}]_q &= 0, \\ [t_{\sigma'_2\sigma_1}, t_{\sigma'_1\sigma_1}]_q &= 0, & [t_{\sigma'_2\sigma_2}, t_{\sigma'_1\sigma_2}]_q &= 0, \\ [t_{\sigma'_1\sigma_1}, t_{\sigma'_1\sigma_2}]_q &= 0, & [t_{\sigma'_2\sigma_1}, t_{\sigma'_2\sigma'_2}]_q &= 0, \\ [t_{\sigma'_2\sigma'_2}, t_{\sigma'_1\sigma'_2}]_q &= 0, & [t_{\sigma'_2\sigma'_1}, t_{\sigma'_1\sigma'_1}]_q &= 0, \\ [t_{\sigma'_2\sigma'_2}, t_{\sigma'_2\sigma'_1}]_q &= 0, & [t_{\sigma_2\sigma_1}, t_{\sigma_2\sigma'_2}]_q &= 0, \\ [t_{\sigma'_1\sigma_1}, t_{\sigma'_2\sigma'_1}]_q &= 0, & [t_{\sigma'_1\sigma_1}, t_{\sigma_2\sigma'_1}]_q &= 0, \\ [t_{\sigma_1\sigma_2}, t_{\sigma'_1\sigma_1}]_q &= 0, & [t_{\sigma_1\sigma'_2}, t_{\sigma'_1\sigma_1}]_q &= 0, \\ [t_{\sigma_2\sigma_1}, t_{\sigma_1\sigma'_1}]_q &= 0, & [t_{\sigma'_2\sigma_1}, t_{\sigma_1\sigma'_1}]_q &= 0, \\ [t_{\sigma_1\sigma'_1}, t_{\sigma'_1\sigma_2}]_q &= 0, & [t_{\sigma_1\sigma'_1}, t_{\sigma'_1\sigma'_2}]_q &= 0, \\ [t_{\sigma_2\sigma_2}, t_{\sigma_2\sigma'_1}]_q &= 0, & [t_{\sigma'_2\sigma_2}, t_{\sigma'_2\sigma'_1}]_q &= 0, \\ [t_{\sigma'_1\sigma_2}, t_{\sigma'_1\sigma'_1}]_q &= 0, & [t_{\sigma_2\sigma_2}, t_{\sigma'_1\sigma_2}]_q &= 0, \\ [t_{\sigma_2\sigma'_2}, t_{\sigma'_1\sigma'_2}]_q &= 0, & [t_{\sigma_2\sigma'_1}, t_{\sigma'_1\sigma'_1}]_q &= 0, \\ [t_{\sigma_1\sigma_2}, t_{\sigma_1\sigma'_1}]_q &= 0, & [t_{\sigma_2\sigma'_2}, t_{\sigma_2\sigma'_1}]_q &= 0, \end{aligned} \quad (25.b)$$

3. q^2 -коммутирующие $[a, b]_{q^2} = 0$ или $ab = q^2ba$,

$$\begin{aligned} [t_{\sigma_1\sigma_1}, t_{\sigma'_1\sigma_1}]_{q^2} &= 0, & [t_{\sigma_1\sigma_2}, t_{\sigma'_1\sigma_2}]_{q^2} &= 0, \\ [t_{\sigma_1\sigma'_2}, t_{\sigma'_1\sigma'_2}]_{q^2} &= 0, & [t_{\sigma_1\sigma'_1}, t_{\sigma'_1\sigma'_1}]_{q^2} &= 0, \\ [t_{\sigma_1\sigma_1}, t_{\sigma_1\sigma'_1}]_{q^2} &= 0, & [t_{\sigma_2\sigma_1}, t_{\sigma_2\sigma'_1}]_{q^2} &= 0, \\ [t_{\sigma'_2\sigma_1}, t_{\sigma'_2\sigma'_1}]_{q^2} &= 0, & [t_{\sigma'_1\sigma_1}, t_{\sigma'_1\sigma'_1}]_{q^2} &= 0, \end{aligned} \quad (25.c)$$

4. $[a, b] = \lambda cd$,

$$\begin{aligned} [t_{\sigma_1\sigma_1}, t_{\sigma_2\sigma_2}] &= (\sigma_1, \sigma_2)^2 \lambda t_{\sigma_2\sigma_1} t_{\sigma_1\sigma_2}, \\ [t_{\sigma_1\sigma_1}, t_{\sigma'_2\sigma'_2}] &= (\sigma_1, \sigma_2)^2 \lambda t_{\sigma'_2\sigma_1} t_{\sigma_1\sigma'_2}, \\ [t_{\sigma_1\sigma_1}, t_{\sigma'_2\sigma_2}] &= (\sigma_1, \sigma_2)^2 \lambda t_{\sigma'_2\sigma_1} t_{\sigma_1\sigma_2}, \\ [t_{\sigma_1\sigma_2}, t_{\sigma_2\sigma'_1}] &= \frac{\lambda}{(\sigma_1, \sigma_2)^2} t_{\sigma_1\sigma'_1} t_{\sigma_2\sigma_2}, \\ [t_{\sigma_1\sigma'_2}, t_{\sigma'_2\sigma'_1}] &= \frac{\lambda}{(\sigma_1, \sigma_2)^2} t_{\sigma_1\sigma'_1} t_{\sigma'_2\sigma'_2}, \\ [t_{\sigma_1\sigma'_2}, t_{\sigma_2\sigma'_1}] &= \frac{\lambda}{(\sigma_1, \sigma_2)^2} t_{\sigma_1\sigma'_1} t_{\sigma_2\sigma'_2}, \\ [t_{\sigma_1\sigma_1}, t_{\sigma_2\sigma'_2}] &= (\sigma_1, \sigma_2)^2 \lambda t_{\sigma_2\sigma_1} t_{\sigma_1\sigma'_2}, \\ [t_{\sigma_1\sigma_2}, t_{\sigma'_2\sigma'_1}] &= \frac{\lambda}{(\sigma_1, \sigma_2)^2} t_{\sigma_1\sigma'_1} t_{\sigma'_2\sigma_2}, \\ [t_{\sigma_2\sigma'_2}, t_{\sigma'_1\sigma'_1}] &= (\sigma_1, \sigma_2)^2 \lambda t_{\sigma'_1\sigma'_2} t_{\sigma_2\sigma'_1}, \\ [t_{\sigma'_2\sigma_2}, t_{\sigma'_1\sigma'_1}] &= (\sigma_1, \sigma_2)^2 \lambda t_{\sigma'_1\sigma_2} t_{\sigma'_2\sigma'_1}, \\ [t_{\sigma'_2\sigma'_2}, t_{\sigma'_1\sigma'_1}] &= (\sigma_1, \sigma_2)^2 \lambda t_{\sigma'_1\sigma'_2} t_{\sigma'_2\sigma'_1}, \end{aligned}$$

$$[t_{\sigma'_2\sigma_1}, t_{\sigma'_1\sigma_2}] = \frac{\lambda}{(\sigma_1, \sigma_2)^2} t_{\sigma'_1\sigma_1} t_{\sigma'_2\sigma_2},$$

$$[t_{\sigma_2\sigma_1}, t_{\sigma'_1\sigma_2}] = \frac{\lambda}{(\sigma_1, \sigma_2)^2} t_{\sigma'_1\sigma_1} t_{\sigma_2\sigma_2},$$

$$[t_{\sigma_2\sigma_2}, t_{\sigma'_1\sigma'_1}] = (\sigma_1, \sigma_2)^2 \lambda t_{\sigma'_1\sigma_2} t_{\sigma_2\sigma'_1},$$

$$[t_{\sigma'_2\sigma_1}, t_{\sigma'_1\sigma'_2}] = \frac{\lambda}{(\sigma_1, \sigma_2)^2} t_{\sigma'_1\sigma_1} t_{\sigma'_2\sigma'_2},$$

$$[t_{\sigma_2\sigma_1}, t_{\sigma'_1\sigma'_2}] = \frac{\lambda}{(\sigma_1, \sigma_2)^2} t_{\sigma'_1\sigma_1} t_{\sigma_2\sigma'_2},$$

$$[t_{\sigma'_1\sigma_2}, t_{\sigma_1\sigma'_2}] = \frac{\lambda}{(\sigma_1, \sigma_2)^2} t_{\sigma_1\sigma'_1} t_{\sigma'_1\sigma_1},$$

$$[t_{\sigma_2\sigma'_1}, t_{\sigma'_2\sigma_1}] = \frac{\lambda}{(\sigma_1, \sigma_2)^2} t_{\sigma_1\sigma'_1} t_{\sigma'_1\sigma_1}, \quad (25.d)$$

5. $[a, b]_q = \lambda cd$,

$$[t_{\sigma'_1\sigma_2}, t_{\sigma'_2\sigma'_2}]_q = \lambda t_{\sigma'_1\sigma_1} t_{\sigma'_2\sigma'_1},$$

$$[t_{\sigma_2\sigma'_1}, t_{\sigma'_2\sigma'_2}]_q = \lambda t_{\sigma_1\sigma'_1} t_{\sigma'_1\sigma'_2},$$

$$[t_{\sigma'_1\sigma_2}, t_{\sigma_2\sigma'_2}]_q = \lambda t_{\sigma'_1\sigma_1} t_{\sigma_2\sigma'_1},$$

$$[t_{\sigma'_2\sigma_2}, t_{\sigma_1\sigma'_2}]_q = \lambda t_{\sigma'_2\sigma_1} t_{\sigma_1\sigma'_1},$$

$$[t_{\sigma_2\sigma_2}, t_{\sigma_1\sigma'_2}]_q = \lambda t_{\sigma_2\sigma_1} t_{\sigma_1\sigma'_1},$$

$$[t_{\sigma_2\sigma_2}, t_{\sigma'_2\sigma'_1}]_q = \lambda t_{\sigma_1\sigma_2} t_{\sigma'_1\sigma_1},$$

$$[t_{\sigma_1\sigma'_2}, t_{\sigma'_1\sigma'_1}]_q = \lambda t_{\sigma_1\sigma'_1} t_{\sigma'_1\sigma'_2},$$

$$[t_{\sigma_1\sigma_1}, t_{\sigma'_1\sigma'_2}]_q = \lambda t_{\sigma_1\sigma_2} t_{\sigma'_1\sigma_1},$$

$$[t_{\sigma_1\sigma_1}, t_{\sigma_2\sigma'_1}]_q = \lambda t_{\sigma_2\sigma_1} t_{\sigma_1\sigma'_1},$$

$$[t_{\sigma_2\sigma'_1}, t_{\sigma'_2\sigma'_2}]_q = \lambda t_{\sigma_1\sigma'_1} t_{\sigma'_1\sigma_2},$$

$$[t_{\sigma_2\sigma'_2}, t_{\sigma'_2\sigma'_1}]_q = \lambda t_{\sigma_1\sigma'_2} t_{\sigma'_1\sigma_1},$$

$$[t_{\sigma_2\sigma_1}, t_{\sigma'_1\sigma'_1}]_q = \lambda t_{\sigma'_1\sigma_1} t_{\sigma_2\sigma'_1},$$

$$[t_{\sigma_1\sigma_1}, t_{\sigma'_2\sigma'_1}]_q = \lambda t_{\sigma'_2\sigma_1} t_{\sigma_1\sigma'_1},$$

$$[t_{\sigma_1\sigma_1}, t_{\sigma'_1\sigma'_2}]_q = \lambda t_{\sigma_1\sigma'_2} t_{\sigma'_1\sigma_1},$$

$$[t_{\sigma'_2\sigma_1}, t_{\sigma'_1\sigma'_1}]_q = \lambda t_{\sigma'_1\sigma_1} t_{\sigma'_2\sigma'_1},$$

$$[t_{\sigma_1\sigma_2}, t_{\sigma'_1\sigma'_1}]_q = \lambda t_{\sigma_1\sigma'_1} t_{\sigma'_1\sigma_2}, \quad (25.e)$$

6. $[a, b]_{q^2} = \lambda cd$,

$$[t_{\sigma_1\sigma_2}, t_{\sigma_1\sigma'_2}]_{q^2} = \frac{\lambda}{(\sigma_1, \sigma_2)^2} t_{\sigma_1\sigma_1} t_{\sigma_1\sigma'_1},$$

$$[t_{\sigma_2\sigma_1}, t_{\sigma'_2\sigma'_1}]_{q^2} = \frac{\lambda}{(\sigma_1, \sigma_2)^2} t_{\sigma_1\sigma_1} t_{\sigma'_1\sigma'_1},$$

$$[t_{\sigma'_1\sigma_2}, t_{\sigma'_1\sigma'_2}]_{q^2} = \frac{\lambda}{(\sigma_1, \sigma_2)^2} t_{\sigma'_1\sigma_1} t_{\sigma'_1\sigma'_1},$$

$$[t_{\sigma_2\sigma_2}, t_{\sigma'_2\sigma'_2}]_{q^2} = (\sigma_1, \sigma_2)^2 \lambda t_{\sigma_1\sigma_2} t_{\sigma'_1\sigma'_2},$$

$$[t_{\sigma'_2\sigma_2}, t_{\sigma'_2\sigma'_2}]_{q^2} = (\sigma_1, \sigma_2)^2 \lambda t_{\sigma'_2\sigma_1} t_{\sigma'_2\sigma'_1},$$

$$[t_{\sigma_2\sigma_2}, t_{\sigma_2\sigma'_2}]_{q^2} = (\sigma_1, \sigma_2)^2 \lambda t_{\sigma_2\sigma_1} t_{\sigma_2\sigma'_1},$$

$$[t_{\sigma_2\sigma'_2}, t_{\sigma'_2\sigma'_2}]_{q^2} = (\sigma_1, \sigma_2)^2 \lambda t_{\sigma_1\sigma'_2} t_{\sigma'_1\sigma'_2},$$

$$[t_{\sigma_2\sigma'_1}, t_{\sigma'_2\sigma'_1}]_{q^2} = \frac{\lambda}{(\sigma_1, \sigma_2)^2} t_{\sigma_1\sigma'_1} t_{\sigma'_1\sigma'_1}, \quad (25.f)$$

7. остальные

$$\begin{aligned}
 [t_{\sigma_1\sigma_1}, t_{\sigma'_1\sigma'_1}]q^2 &= \lambda q(t_{\sigma_1\sigma'_1}t_{\sigma'_1\sigma_1} - 1), \\
 [t_{\sigma_2\sigma_2}, t_{\sigma'_2\sigma'_2}] &= \lambda \left((\sigma_1, \sigma_2)^2 t_{\sigma_1\sigma_2}t_{\sigma'_1\sigma'_2} + \right. \\
 &\quad \left. + (q + q^{-1})t_{\sigma'_2\sigma_2}t_{\sigma_2\sigma'_2} \right), \\
 [t_{\sigma_2\sigma'_2}, t_{\sigma'_2\sigma_2}] &= (\sigma_1, \sigma_2)^2 \lambda \left(t_{\sigma_1\sigma'_2}t_{\sigma'_1\sigma_2} - t_{\sigma'_2\sigma_1}t_{\sigma_2\sigma'_1} \right), \\
 [t_{\sigma_2\sigma_1}, t_{\sigma'_2\sigma'_1}] &= \\
 &\quad \frac{\lambda}{(\sigma_1, \sigma_2)^2} \left(q^{-2}t_{\sigma_1\sigma'_1}t_{\sigma'_1\sigma_1} + \right. \\
 &\quad \left. + (\sigma_1, \sigma_2)^2 (q + q^{-1})t_{\sigma_2\sigma'_1}t_{\sigma'_2\sigma_1} \right), \\
 [t_{\sigma_1\sigma_2}, t_{\sigma'_1\sigma'_2}] &= \\
 &\quad \frac{\lambda}{(\sigma_1, \sigma_2)^2} \left(q^{-2}t_{\sigma_1\sigma'_1}t_{\sigma'_1\sigma_1} + \right. \\
 &\quad \left. + (\sigma_1, \sigma_2)^2 (q + q^{-1})t_{\sigma'_1\sigma_2}t_{\sigma_1\sigma'_2} \right), \\
 [t_{\sigma_2\sigma_1}, t_{\sigma'_2\sigma'_2}]q &= \lambda \left(t_{\sigma_1\sigma_1}t_{\sigma'_1\sigma_2} + qt_{\sigma'_2\sigma_1}t_{\sigma_2\sigma_2} \right), \\
 [t_{\sigma'_2\sigma_2}, t_{\sigma'_1\sigma'_2}]q &= \lambda \left(t_{\sigma'_2\sigma_2}t_{\sigma'_1\sigma_2} + qt_{\sigma'_2\sigma_1}t_{\sigma'_1\sigma'_2} \right), \\
 [t_{\sigma_2\sigma'_2}, t_{\sigma'_2\sigma'_1}]q &= \lambda \left(t_{\sigma_1\sigma'_2}t_{\sigma'_1\sigma'_1} + qt_{\sigma'_2\sigma'_2}t_{\sigma_2\sigma'_1} \right), \\
 [t_{\sigma_1\sigma_2}, t_{\sigma_2\sigma'_2}]q &= \lambda \left(qt_{\sigma_1\sigma'_2}t_{\sigma_2\sigma_2} + t_{\sigma_1\sigma_1}t_{\sigma_2\sigma'_1} \right), \\
 [t_{\sigma_2\sigma_2}, t_{\sigma'_2\sigma'_1}]q &= \lambda \left(t_{\sigma_1\sigma_2}t_{\sigma'_1\sigma'_1} + qt_{\sigma'_2\sigma_2}t_{\sigma_2\sigma'_1} \right), \\
 [t_{\sigma_2\sigma_2}, t_{\sigma'_1\sigma'_2}]q &= \lambda \left(t_{\sigma_2\sigma_1}t_{\sigma'_1\sigma'_1} + qt_{\sigma_2\sigma'_2}t_{\sigma'_1\sigma_2} \right), \\
 [t_{\sigma_1\sigma_2}, t_{\sigma'_2\sigma'_2}]q &= \lambda \left(t_{\sigma_1\sigma_1}t_{\sigma'_2\sigma'_1} + qt_{\sigma_1\sigma'_2}t_{\sigma'_2\sigma_2} \right), \\
 [t_{\sigma_2\sigma_1}, t_{\sigma'_2\sigma'_2}]q &= \lambda \left(t_{\sigma_1\sigma_1}t_{\sigma'_1\sigma'_2} + qt_{\sigma'_2\sigma_1}t_{\sigma_2\sigma'_2} \right).
 \end{aligned}
 \tag{25.g}$$

Кроме того, образующие удовлетворяют дополнительным соотношениям (22) вида:

$$\begin{aligned}
 T(j; \sigma)C(j)T^t(j; \sigma) &= C(j), \\
 q^{-2}t_{\sigma_1\sigma_1}t_{\sigma'_1\sigma'_1} + (\sigma_1, \sigma_2)^2 q^{-1}t_{\sigma_1\sigma_2}t_{\sigma'_1\sigma'_2} - \\
 - (\sigma_1, \sigma_2)^2 qt_{\sigma_1\sigma'_2}t_{\sigma'_1\sigma_2} - q^2t_{\sigma_1\sigma'_1}t_{\sigma'_1\sigma_1} &= q^{-2}, \\
 (\sigma_1, \sigma_2)^2 q^{-2}t_{\sigma_2\sigma_1}t_{\sigma'_2\sigma'_1} + q^{-1}t_{\sigma_2\sigma_2}t_{\sigma'_2\sigma'_2} - \\
 - qt_{\sigma_2\sigma'_2}t_{\sigma'_2\sigma_2} - (\sigma_1, \sigma_2)^2 q^2t_{\sigma_2\sigma'_1}t_{\sigma'_2\sigma_1} &= q^{-1}, \\
 (\sigma_1, \sigma_2)^2 q^{-2}t_{\sigma'_2\sigma_1}t_{\sigma_2\sigma'_1} + q^{-1}t_{\sigma'_2\sigma_2}t_{\sigma_2\sigma'_2} - \\
 - qt_{\sigma'_2\sigma'_2}t_{\sigma_2\sigma_2} - (\sigma_1, \sigma_2)^2 q^2t_{\sigma'_2\sigma'_1}t_{\sigma_2\sigma_1} &= -q, \\
 q^{-2}t_{\sigma'_1\sigma_1}t_{\sigma_1\sigma'_1} + (\sigma_1, \sigma_2)^2 q^{-1}t_{\sigma'_1\sigma_2}t_{\sigma_1\sigma'_2} - \\
 - (\sigma_1, \sigma_2)^2 qt_{\sigma'_1\sigma'_2}t_{\sigma_1\sigma_2} - q^2t_{\sigma'_1\sigma'_1}t_{\sigma_1\sigma_1} &= -q^2, \\
 q^{-2}t_{\sigma_1\sigma_1}t_{\sigma_1\sigma'_1} + (\sigma_1, \sigma_2)^2 q^{-1}t_{\sigma_1\sigma_2}t_{\sigma_1\sigma'_2} - \\
 - (\sigma_1, \sigma_2)^2 qt_{\sigma_1\sigma'_2}t_{\sigma_1\sigma_2} - q^2t_{\sigma_1\sigma'_1}t_{\sigma_1\sigma_1} &= 0, \\
 q^{-2}t_{\sigma_1\sigma_1}t_{\sigma_2\sigma'_1} + q^{-1}t_{\sigma_1\sigma_2}t_{\sigma_2\sigma'_2} -
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 -qt_{\sigma_1\sigma'_2}t_{\sigma_2\sigma_2} - q^2t_{\sigma_1\sigma'_1}t_{\sigma_2\sigma_1} &= 0, \\
 q^{-2}t_{\sigma_1\sigma_1}t_{\sigma'_2\sigma'_1} + q^{-1}t_{\sigma_1\sigma_2}t_{\sigma'_2\sigma'_2} - \\
 - qt_{\sigma_1\sigma'_2}t_{\sigma'_2\sigma_2} - q^2t_{\sigma_1\sigma'_1}t_{\sigma'_2\sigma_1} &= 0, \\
 q^{-2}t_{\sigma_2\sigma_1}t_{\sigma_1\sigma'_1} + q^{-1}t_{\sigma_2\sigma_2}t_{\sigma_1\sigma'_2} - \\
 - qt_{\sigma_2\sigma'_2}t_{\sigma_1\sigma_2} - q^2t_{\sigma_2\sigma'_1}t_{\sigma_1\sigma_1} &= 0, \\
 (\sigma_1, \sigma_2)^2 q^{-2}t_{\sigma_2\sigma_1}t_{\sigma_2\sigma'_1} + q^{-1}t_{\sigma_2\sigma_2}t_{\sigma_2\sigma'_2} - \\
 - qt_{\sigma_2\sigma'_2}t_{\sigma_2\sigma_2} - (\sigma_1, \sigma_2)^2 q^2t_{\sigma_2\sigma'_1}t_{\sigma_2\sigma_1} &= 0, \\
 q^{-2}t_{\sigma_2\sigma_1}t_{\sigma'_1\sigma'_1} + q^{-1}t_{\sigma_2\sigma_2}t_{\sigma'_1\sigma'_2} - \\
 - qt_{\sigma_2\sigma'_2}t_{\sigma'_1\sigma_2} - q^2t_{\sigma_2\sigma'_1}t_{\sigma'_1\sigma_1} &= 0, \\
 q^{-2}t_{\sigma'_2\sigma_1}t_{\sigma_1\sigma'_1} + q^{-1}t_{\sigma'_2\sigma_2}t_{\sigma_1\sigma'_2} - \\
 - qt_{\sigma'_2\sigma'_2}t_{\sigma_1\sigma_2} - q^2t_{\sigma'_2\sigma'_1}t_{\sigma_1\sigma_1} &= 0, \\
 (\sigma_1, \sigma_2)^2 q^{-2}t_{\sigma'_2\sigma_1}t_{\sigma'_2\sigma'_1} + q^{-1}t_{\sigma'_2\sigma_2}t_{\sigma'_2\sigma'_2} - \\
 - qt_{\sigma'_2\sigma'_2}t_{\sigma'_2\sigma_2} - (\sigma_1, \sigma_2)^2 q^2t_{\sigma'_2\sigma'_1}t_{\sigma'_2\sigma_1} &= 0, \\
 q^{-2}t_{\sigma'_2\sigma_1}t_{\sigma'_1\sigma'_1} + q^{-1}t_{\sigma'_2\sigma_2}t_{\sigma'_1\sigma'_2} - \\
 - qt_{\sigma'_2\sigma'_2}t_{\sigma'_1\sigma_2} - q^2t_{\sigma'_2\sigma'_1}t_{\sigma'_1\sigma_1} &= 0, \\
 q^{-2}t_{\sigma'_1\sigma_1}t_{\sigma_2\sigma'_1} + q^{-1}t_{\sigma'_1\sigma_2}t_{\sigma_2\sigma'_2} - \\
 - qt_{\sigma'_1\sigma'_2}t_{\sigma_2\sigma_2} - q^2t_{\sigma'_1\sigma'_1}t_{\sigma_2\sigma_1} &= 0, \\
 q^{-2}t_{\sigma'_1\sigma_1}t_{\sigma'_1\sigma'_1} + (\sigma_1, \sigma_2)^2 q^{-1}t_{\sigma'_1\sigma_2}t_{\sigma'_1\sigma'_2} - \\
 - (\sigma_1, \sigma_2)^2 qt_{\sigma'_1\sigma'_2}t_{\sigma'_1\sigma_2} - q^2t_{\sigma'_1\sigma'_1}t_{\sigma'_1\sigma_1} &= 0, \\
 q^{-2}t_{\sigma'_1\sigma_1}t_{\sigma'_2\sigma'_1} + q^{-1}t_{\sigma'_1\sigma_2}t_{\sigma'_2\sigma'_2} - \\
 - qt_{\sigma'_1\sigma'_2}t_{\sigma'_2\sigma_2} - q^2t_{\sigma'_1\sigma'_1}t_{\sigma'_2\sigma_1} &= 0,
 \end{aligned}
 \tag{26}$$

а также соотношениям вида:

$$\begin{aligned}
 T^t(j; \sigma)C^{-1}(j)T(j; \sigma) &= C^{-1}(j), \\
 -q^{-2}t_{\sigma_1\sigma_1}t_{\sigma'_1\sigma'_1} - (\sigma_1, \sigma_2)^2 q^{-1}t_{\sigma_2\sigma_1}t_{\sigma'_2\sigma'_1} + \\
 + (\sigma_1, \sigma_2)^2 qt_{\sigma'_2\sigma_1}t_{\sigma_2\sigma'_1} + q^2t_{\sigma'_1\sigma_1}t_{\sigma_1\sigma'_1} &= -q^{-2}, \\
 -(\sigma_1, \sigma_2)^2 q^{-2}t_{\sigma_1\sigma_2}t_{\sigma'_1\sigma'_2} - q^{-1}t_{\sigma_2\sigma_2}t_{\sigma'_2\sigma'_2} + \\
 + qt_{\sigma'_2\sigma_2}t_{\sigma_2\sigma'_2} + (\sigma_1, \sigma_2)^2 q^2t_{\sigma'_1\sigma_2}t_{\sigma_1\sigma'_2} &= -q^{-1}, \\
 -(\sigma_1, \sigma_2)^2 q^{-2}t_{\sigma_1\sigma'_2}t_{\sigma'_1\sigma_2} - q^{-1}t_{\sigma_2\sigma'_2}t_{\sigma'_2\sigma_2} + \\
 + qt_{\sigma'_2\sigma'_2}t_{\sigma_2\sigma_2} + (\sigma_1, \sigma_2)^2 q^2t_{\sigma'_1\sigma'_2}t_{\sigma_1\sigma_2} &= q, \\
 -q^{-2}t_{\sigma_1\sigma'_1}t_{\sigma'_1\sigma_1} - (\sigma_1, \sigma_2)^2 q^{-1}t_{\sigma_2\sigma'_1}t_{\sigma'_2\sigma_1} + \\
 + (\sigma_1, \sigma_2)^2 qt_{\sigma'_2\sigma'_1}t_{\sigma_2\sigma_1} + q^2t_{\sigma'_1\sigma'_1}t_{\sigma_1\sigma_1} &= q^2, \\
 -q^{-2}t_{\sigma_1\sigma_1}t_{\sigma'_1\sigma'_1} - (\sigma_1, \sigma_2)^2 q^{-1}t_{\sigma_2\sigma_1}t_{\sigma'_2\sigma'_1} + \\
 + (\sigma_1, \sigma_2)^2 qt_{\sigma'_2\sigma_1}t_{\sigma_2\sigma_1} + q^2t_{\sigma'_1\sigma'_1}t_{\sigma_1\sigma_1} &= 0, \\
 -q^{-2}t_{\sigma_1\sigma_1}t_{\sigma'_1\sigma'_2} - q^{-1}t_{\sigma_2\sigma_1}t_{\sigma'_2\sigma'_2} + \\
 + qt_{\sigma'_2\sigma'_2}t_{\sigma_2\sigma_2} + q^2t_{\sigma'_1\sigma'_1}t_{\sigma_1\sigma_2} &= 0, \\
 -q^{-2}t_{\sigma_1\sigma_1}t_{\sigma'_1\sigma'_2} - q^{-1}t_{\sigma_2\sigma_1}t_{\sigma'_2\sigma'_2} + \\
 + qt_{\sigma'_2\sigma'_2}t_{\sigma_2\sigma_2} + q^2t_{\sigma'_1\sigma'_1}t_{\sigma_1\sigma'_2} &= 0,
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & -q^{-2}t_{\sigma_1\sigma_2}t_{\sigma'_1\sigma'_1} - q^{-1}t_{\sigma_2\sigma_2}t_{\sigma'_2\sigma'_1} + \\
 & + qt_{\sigma'_2\sigma_2}t_{\sigma_2\sigma_1} + q^2t_{\sigma'_1\sigma_2}t_{\sigma_1\sigma_1} = 0, \\
 & -(\sigma_1, \sigma_2)^2 q^{-2}t_{\sigma_1\sigma_2}t_{\sigma'_1\sigma'_2} - q^{-1}t_{\sigma_2\sigma_2}t_{\sigma'_2\sigma'_2} + \\
 & + qt_{\sigma'_2\sigma_2}t_{\sigma_2\sigma_2} + (\sigma_1, \sigma_2)^2 q^2t_{\sigma'_1\sigma_2}t_{\sigma_1\sigma_2} = 0, \\
 & -q^{-2}t_{\sigma_1\sigma_2}t_{\sigma'_1\sigma'_1} - q^{-1}t_{\sigma_2\sigma_2}t_{\sigma'_2\sigma'_1} + \\
 & + qt_{\sigma'_2\sigma_2}t_{\sigma_2\sigma'_1} + q^2t_{\sigma'_1\sigma_2}t_{\sigma_1\sigma'_1} = 0, \\
 & -q^{-2}t_{\sigma_1\sigma'_2}t_{\sigma'_1\sigma'_1} - q^{-1}t_{\sigma_2\sigma'_2}t_{\sigma'_2\sigma'_1} + \\
 & + qt_{\sigma'_2\sigma'_2}t_{\sigma_2\sigma_1} + q^2t_{\sigma'_1\sigma'_2}t_{\sigma_1\sigma_1} = 0, \\
 & -(\sigma_1, \sigma_2)^2 q^{-2}t_{\sigma_1\sigma'_2}t_{\sigma'_1\sigma'_2} - q^{-1}t_{\sigma_2\sigma'_2}t_{\sigma'_2\sigma'_2} + \\
 & + qt_{\sigma'_2\sigma'_2}t_{\sigma_2\sigma'_2} + (\sigma_1, \sigma_2)^2 q^2t_{\sigma'_1\sigma'_2}t_{\sigma_1\sigma'_2} = 0, \\
 & -q^{-2}t_{\sigma_1\sigma'_2}t_{\sigma'_1\sigma'_1} - q^{-1}t_{\sigma_2\sigma'_2}t_{\sigma'_2\sigma'_1} + \\
 & + qt_{\sigma'_2\sigma'_2}t_{\sigma_2\sigma'_1} + q^2t_{\sigma'_1\sigma'_2}t_{\sigma_1\sigma'_1} = 0, \\
 & -q^{-2}t_{\sigma_1\sigma'_1}t_{\sigma'_1\sigma'_2} - q^{-1}t_{\sigma_2\sigma'_1}t_{\sigma'_2\sigma'_2} + \\
 & + qt_{\sigma'_2\sigma'_1}t_{\sigma_2\sigma_2} + q^2t_{\sigma'_1\sigma'_1}t_{\sigma_1\sigma_2} = 0, \\
 & -q^{-2}t_{\sigma_1\sigma'_1}t_{\sigma'_1\sigma'_1} - (\sigma_1, \sigma_2)^2 q^{-1}t_{\sigma_2\sigma'_1}t_{\sigma'_2\sigma'_1} + \\
 & + (\sigma_1, \sigma_2)^2 qt_{\sigma'_2\sigma'_1}t_{\sigma_2\sigma'_1} + q^2t_{\sigma'_1\sigma'_1}t_{\sigma_1\sigma'_1} = 0, \\
 & -q^{-2}t_{\sigma_1\sigma'_1}t_{\sigma'_1\sigma'_2} - q^{-1}t_{\sigma_2\sigma'_1}t_{\sigma'_2\sigma'_2} + \\
 & + qt_{\sigma'_2\sigma'_1}t_{\sigma_2\sigma'_2} + q^2t_{\sigma'_1\sigma'_1}t_{\sigma_1\sigma'_2} = 0. \quad (27)
 \end{aligned}$$

Не все эти дополнительные соотношения независимы. Часть из них сводится к коммутационным соотношениям для образующих, а остальные позволяют выделить независимые образующие квантовой симплектической группы $Sp_v(2; j; \sigma)$.

При $n = 2$ группа перестановок $S(2)$ содержит два элемента: тождественную перестановку $\sigma_0 = (1, 2)$ и перестановку $\hat{\sigma} = (2, 1)$. Разным перестановкам отвечают разные комбинации квантовой деформации и единственной контракции по параметру j . Рассмотрим обе возможности отдельно.

3.1. Квантовая симплектическая группа $Sp_v(2; j)$ и квантовое симплектическое пространство $Sp_v^4(j)$

В случае тождественной перестановки будем обозначать квантовое пространство символом $Sp_v^4(j)$ и квантовую группу символом $Sp_v(2; j)$, опуская σ_0 в обозначениях. Формулы, описывающие эти объекты, получаются из формул предыдущего раздела, если положить в последних $\sigma_k = k$, $k = 1, 2$. При переходе от Sp_q^4 к $Sp_v^4(j)$ образующие $x_1, x_{1'}$ не меняются, а остальные умножаются на j : $x_2 \rightarrow jx_2$, $x_{2'} \rightarrow jx_{2'}$. В результате коммутационные соотношения (24) запишутся в виде

$$\begin{aligned}
 x_1x_2 &= qx_2x_1, & x_1x_{2'} &= qx_{2'}x_1, & x_2x_{1'} &= qx_{1'}x_2, \\
 x_{2'}x_{1'} &= qx_{1'}x_{2'}, & x_1x_{1'} &= q^2x_{1'}x_1, \\
 x_2x_{2'} - q^2x_{2'}x_2 &= \frac{\lambda}{j^2}x_1x_{1'}, \quad (28)
 \end{aligned}$$

где $q = e^{Jv}$, $\lambda = q - q^{-1} = 2 \sinh Jv$. Чтобы последний коммутатор имел смысл при $j = 1$, необходимо выбрать множитель $J = j^2$.

В соответствии с (20) часть образующих квантовой симплектической группы умножается на параметр j :

$$\begin{aligned}
 t_{12} &\rightarrow jt_{12}, & t_{21} &\rightarrow jt_{21}, & t_{12'} &\rightarrow jt_{12'}, & t_{2'1} &\rightarrow jt_{2'1}, \\
 t_{21'} &\rightarrow jt_{21'}, & t_{1'2} &\rightarrow jt_{1'2}, & t_{2'1'} &\rightarrow jt_{2'1'}, & t_{1'2'} &\rightarrow jt_{1'2'}, \quad (29)
 \end{aligned}$$

а остальные не изменяются. Чтобы избежать повторения громоздких формул, для квантовой группы $Sp_v(2; j)$ мы выпишем только те коммутаторы, полученные из (25), которые в явном виде содержат контракционный параметр

$$[t_{11}, t_{22}] = j^2 \lambda t_{21} t_{12}, \quad [t_{11}, t_{33}] = j^2 \lambda t_{31} t_{13},$$

$$[t_{11}, t_{32}] = j^2 \lambda t_{31} t_{12}, \quad [t_{12}, t_{24}] = \frac{\lambda}{j^2} t_{14} t_{22},$$

$$[t_{13}, t_{34}] = \frac{\lambda}{j^2} t_{14} t_{33}, \quad [t_{13}, t_{24}] = \frac{\lambda}{j^2} t_{14} t_{23},$$

$$[t_{11}, t_{23}] = j^2 \lambda t_{21} t_{13}, \quad [t_{12}, t_{34}] = \frac{\lambda}{j^2} t_{14} t_{32},$$

$$[t_{23}, t_{44}] = j^2 \lambda t_{43} t_{24}, \quad [t_{32}, t_{44}] = j^2 \lambda t_{42} t_{34},$$

$$[t_{33}, t_{44}] = j^2 \lambda t_{43} t_{34}, \quad [t_{31}, t_{42}] = \frac{\lambda}{j^2} t_{41} t_{32},$$

$$[t_{21}, t_{42}] = \frac{\lambda}{j^2} t_{41} t_{22}, \quad [t_{22}, t_{44}] = j^2 \lambda t_{42} t_{24},$$

$$[t_{31}, t_{43}] = \frac{\lambda}{j^2} t_{41} t_{33}, \quad [t_{21}, t_{43}] = \frac{\lambda}{j^2} t_{41} t_{23},$$

$$[t_{42}, t_{13}] = \frac{\lambda}{j^2} t_{14} t_{41}, \quad [t_{24}, t_{31}] = \frac{\lambda}{j^2} t_{14} t_{41},$$

$$[t_{12}, t_{13}]_{q^2} = \frac{\lambda}{j^2} t_{11} t_{14}, \quad [t_{21}, t_{31}]_{q^2} = \frac{\lambda}{j^2} t_{11} t_{41},$$

$$[t_{42}, t_{43}]_{q^2} = \frac{\lambda}{j^2} t_{41} t_{44}, \quad [t_{22}, t_{32}]_{q^2} = j^2 \lambda t_{12} t_{42},$$

$$[t_{32}, t_{33}]_{q^2} = j^2 \lambda t_{31} t_{34}, \quad [t_{22}, t_{23}]_{q^2} = j^2 \lambda t_{21} t_{24},$$

$$[t_{23}, t_{33}]_{q^2} = j^2 \lambda t_{13} t_{43}, \quad [t_{24}, t_{34}]_{q^2} = \frac{\lambda}{j^2} t_{14} t_{44},$$

$$t_{11}t_{44} - q^2t_{44}t_{11} = \lambda q(t_{14}t_{41} - 1),$$

$$[t_{22}, t_{33}] = \lambda \left(j^2 t_{12} t_{43} + (q + q^{-1}) t_{32} t_{23} \right),$$

$$[t_{23}, t_{32}] = j^2 \lambda (t_{13} t_{42} - t_{31} t_{24}),$$

$$[t_{21}, t_{34}] = \frac{\lambda}{j^2} \left(q^{-2} t_{14} t_{41} + j^2 (q + q^{-1}) t_{24} t_{31} \right),$$

$$[t_{12}, t_{43}] = \frac{\lambda}{j^2} \left(q^{-2} t_{14} t_{41} + j^2 (q + q^{-1}) t_{42} t_{13} \right). \quad (30)$$

Дополнительные соотношения, которые находятся из (26), (27), мы выписывать не будем.

3.2. Квантовая симплектическая группа $Sp_v(2; \iota)$ и квантовое симплектическое пространство $Sp_v^4(\iota)$

Контрактивное квантовое симплектическое пространство $Sp_v^4(\iota)$ и квантовая симплектическая группа $Sp_v(2; \iota)$ получаются, если в формулах предыдущего раздела выбрать нильпотентное значение параметра $j = \iota$. При этом параметр деформации $q = e^{j^2 v}|_{j=\iota} = 1$, а $\frac{\lambda}{j^2} = \frac{2}{j^2} \sinh j^2 v|_{j=\iota} = 2v$. Поскольку при контракции большинство коммутаторов обращается в нуль, мы будем выписывать только отличные от нуля.

Контрактивное квантовое симплектическое пространство характеризуется только одним ненулевым коммутатором

$$Sp_v^4(\iota) = \{[x_2, x_{2'}] = 2vx_1x_{1'}\}. \quad (31)$$

Оно представляет собой некоммутативный аналог расслоенного симплектического пространства с коммутативной базой $\{x_1, x_{1'}\}$ и некоммутативным слоем $\{x_2, x_{2'}\}$.

Квантовая симплектическая группа $Sp_v(2; \iota)$ имеет следующие ненулевые коммутационные соотношения образующих

$$\begin{aligned} [t_{12}, t_{21'}] &= 2vt_{11'}t_{22}, & [t_{12'}, t_{2'1'}] &= 2vt_{11'}t_{2'2'}, \\ [t_{12'}, t_{21'}] &= 2vt_{11'}t_{22'}, & [t_{12}, t_{2'1'}] &= 2vt_{11'}t_{2'2'}, \\ [t_{2'1}, t_{1'2}] &= 2vt_{1'1}t_{2'2}, & [t_{2'1}, t_{1'2'}] &= 2vt_{1'1}t_{2'2'}, \\ [t_{21}, t_{1'2}] &= 2vt_{1'1}t_{22}, & [t_{21'}, t_{2'1}] &= 2vt_{11'}t_{1'1}, \\ [t_{1'2}, t_{12'}] &= 2vt_{11'}t_{1'1}, & [t_{21}, t_{1'2'}] &= 2vt_{1'1}t_{22'}, \\ [t_{12}, t_{13}] &= 2vt_{11}t_{11'}, & [t_{21}, t_{2'1}] &= 2vt_{11}t_{1'1}, \\ [t_{1'2}, t_{1'2'}] &= 2vt_{1'1}t_{1'1'}, & [t_{21'}, t_{2'1'}] &= 2vt_{11'}t_{1'1'}, \\ [t_{21}, t_{2'1'}] &= 2vt_{11'}t_{1'1}, & [t_{12}, t_{1'2'}] &= 2vt_{11'}t_{1'1}. \end{aligned} \quad (32)$$

Кроме того, образующие удовлетворяют дополнительным соотношениям

$$\begin{aligned} t_{11}t_{1'1'} - t_{11'}t_{1'1} &= 1, & t_{22}t_{2'2'} - t_{22'}t_{2'2} &= 1, \\ t_{11}t_{21'} + t_{12}t_{22'} - t_{12'}t_{22} - t_{11'}t_{21} &= 0, \\ t_{11}t_{2'1'} + t_{12}t_{2'2'} - t_{12'}t_{2'2} - t_{11'}t_{2'1} &= 0, \\ t_{21}t_{1'1'} + t_{22}t_{1'2'} - t_{22'}t_{1'2} - t_{21'}t_{1'1} &= 0, \\ t_{2'1}t_{1'1'} + t_{2'2}t_{1'2'} - t_{2'2'}t_{1'2} - t_{2'1'}t_{1'1} &= 0, \\ -t_{11}t_{1'2} - t_{21}t_{2'2} + t_{2'1}t_{22} + t_{1'1}t_{12} &= 0, \\ -t_{11}t_{1'2'} - t_{21}t_{2'2'} + t_{2'1}t_{22'} + t_{1'1}t_{12'} &= 0, \\ -t_{12}t_{1'1'} - t_{22}t_{2'1'} + t_{2'2}t_{21'} + t_{1'2}t_{11'} &= 0, \\ -t_{12'}t_{1'1'} - t_{22'}t_{2'1'} + t_{2'2'}t_{21'} + t_{1'2'}t_{11'} &= 0, \end{aligned} \quad (33)$$

с помощью которых количество независимых образующих уменьшается до десяти.

3.3. Квантовая симплектическая группа $Sp_v(2; j; \hat{\sigma})$ и квантовое пространство $Sp_v^4(j; \hat{\sigma})$

Здесь мы рассмотрим квантовое пространство и квантовую группу, отвечающие перестановке $\hat{\sigma} = (2, 1)$. Для этого в формулах раздела 3 положим $\sigma_1 = 2, \sigma_2 = 1$. Квантовое симплектическое пространство $Sp_v^4(j; \hat{\sigma})$ получим из формул (24). Оно порождается образующими с коммутационными соотношениями

$$\begin{aligned} [x_2, x_1]_q &= 0, & [x_2, x_{1'}]_q &= 0, & [x_1, x_{2'}]_q &= 0, \\ [x_{1'}, x_{2'}]_q &= 0, & [x_2, x_{2'}]_{q^2} &= 0, & q &= \exp(j^2 v), \\ [x_1, x_{1'}]_{q^2} &= j^2 \lambda x_2 x_{2'}, & \lambda &= 2 \sinh j^2 v. \end{aligned} \quad (34)$$

Из условия определенности коммутационных соотношений для образующих квантовой симплектической группы (см. ниже (35)) получаем, что $J = j^2$. Интересно отметить, что параметр деформации преобразуется так же, как и в случае тождественной перестановки. К сожалению, мы не можем утверждать, что подобное имеет место при произвольном n .

Чтобы избежать повторения громоздких формул, мы выпишем только те коммутаторы квантовой симплектической группы $Sp_v(2; j; \hat{\sigma})$, которые содержат контракционный параметр в явном виде

$$\begin{aligned} [t_{22}, t_{11}] &= j^2 \lambda t_{12} t_{21}, & [t_{22}, t_{1'1'}] &= j^2 \lambda t_{1'2} t_{2'1'}, \\ [t_{22}, t_{1'1}] &= j^2 \lambda t_{1'2} t_{21}, & [t_{21}, t_{12'}] &= \frac{\lambda}{j^2} t_{22'} t_{11}, \\ [t_{21'}, t_{1'2'}] &= \frac{\lambda}{j^2} t_{22'} t_{1'1'}, & [t_{21'}, t_{12'}] &= \frac{\lambda}{j^2} t_{22'} t_{11'}, \\ [t_{22}, t_{11'}] &= j^2 \lambda t_{12} t_{21'}, & [t_{21}, t_{1'2'}] &= \frac{\lambda}{j^2} t_{22'} t_{1'1}, \\ [t_{11'}, t_{2'2'}] &= j^2 \lambda t_{2'1'} t_{12'}, & [t_{1'1}, t_{2'2'}] &= j^2 \lambda t_{2'1} t_{1'2'}, \\ [t_{1'1'}, t_{2'2'}] &= j^2 \lambda t_{2'1'} t_{1'2'}, & [t_{1'2}, t_{2'1}] &= \frac{\lambda}{j^2} t_{2'2} t_{1'1}, \\ [t_{12}, t_{2'1}] &= \frac{\lambda}{j^2} t_{2'2} t_{11}, & [t_{11}, t_{2'2'}] &= j^2 \lambda t_{2'1} t_{12'}, \\ [t_{1'2}, t_{2'1'}] &= \frac{\lambda}{j^2} t_{2'2} t_{1'1'}, & [t_{12}, t_{2'1'}] &= \frac{\lambda}{j^2} t_{2'2} t_{11'}, \\ [t_{2'1}, t_{21'}] &= \frac{\lambda}{j^2} t_{22'} t_{2'2}, & [t_{12'}, t_{1'2}] &= \frac{\lambda}{j^2} t_{22'} t_{2'2}, \\ [t_{21}, t_{21'}]_{q^2} &= \frac{\lambda}{j^2} t_{22} t_{22'}, & [t_{12}, t_{1'2}]_{q^2} &= \frac{\lambda}{j^2} t_{22} t_{2'2}, \\ [t_{2'1}, t_{2'1'}]_{q^2} &= \frac{\lambda}{j^2} t_{2'2} t_{2'2'}, & [t_{11}, t_{1'1}]_{q^2} &= j^2 \lambda t_{21} t_{2'1}, \\ [t_{1'1}, t_{1'1'}]_{q^2} &= j^2 \lambda t_{1'2} t_{1'2'}, & [t_{11}, t_{11'}]_{q^2} &= j^2 \lambda t_{12} t_{12'}, \\ [t_{11'}, t_{1'1'}]_{q^2} &= j^2 \lambda t_{21'} t_{2'1'}, & [t_{12'}, t_{1'2'}]_{q^2} &= \frac{\lambda}{j^2} t_{22'} t_{2'2'}, \\ [t_{11}, t_{1'1'}] &= \lambda \left(j^2 t_{21} t_{2'1'} + (q + q^{-1}) t_{1'1} t_{11'} \right), \\ [t_{21}, t_{2'1'}] &= \frac{\lambda}{j^2} \left(q^{-2} t_{22'} t_{2'2} + j^2 (q + q^{-1}) t_{2'1} t_{21'} \right), \\ [t_{12}, t_{1'2'}] &= \frac{\lambda}{j^2} \left(q^{-2} t_{22'} t_{2'2} + j^2 (q + q^{-1}) t_{12'} t_{1'2} \right), \\ [t_{11'}, t_{1'1}] &= j^2 \lambda (t_{21'} t_{2'1} - t_{1'2} t_{12'}). \end{aligned} \quad (35)$$

Кроме того, образующие удовлетворяют дополнительным соотношениям (26),(27), часть из которых сводится к коммутационным соотношениям для образующих, а остальные позволяют выделить независимые образующие квантовой симплектической группы $Sp_v(2; j; \hat{\sigma})$.

3.4. Квантовая симплектическая группа $Sp_v(2; \iota; \hat{\sigma})$ и квантовое пространство $Sp_v^4(\iota; \hat{\sigma})$

При контракции $j = \iota$ получаем $q = 1$, $\lambda = 2v$ и, как это следует из (34), пространство $Sp_v^4(\iota; \hat{\sigma})$ становится коммутативным. Вместе с тем квантовая группа $Sp_v(2; \iota; \hat{\sigma})$ имеет ненулевые коммутационные соотношения образующих:

$$\begin{aligned} [t_{21}, t_{12'}] &= 2vt_{22'}t_{11}, & [t_{21'}, t_{1'2'}] &= 2vt_{22'}t_{1'1'}, \\ [t_{21'}, t_{12'}] &= 2vt_{22'}t_{11'}, & [t_{21}, t_{1'2'}] &= 2vt_{22'}t_{1'1'}, \\ [t_{1'2}, t_{2'1}] &= 2vt_{2'2}t_{1'1}, & [t_{12}, t_{2'1}] &= 2vt_{2'2}t_{11}, \\ [t_{1'2}, t_{2'1'}] &= 2vt_{2'2}t_{1'1'}, & [t_{12}, t_{2'1'}] &= 2vt_{2'2}t_{11'}, \\ [t_{2'1}, t_{21'}] &= 2vt_{22'}t_{2'2}, & [t_{12'}, t_{1'2}] &= 2vt_{22'}t_{2'2}, \\ [t_{21}, t_{21'}]_{q^2} &= 2vt_{22}t_{22'}, & [t_{12}, t_{1'2}]_{q^2} &= 2vt_{22}t_{2'2}, \\ [t_{2'1}, t_{2'1'}]_{q^2} &= 2vt_{2'2}t_{2'2'}, & [t_{12'}, t_{1'2'}]_{q^2} &= 2vt_{2'2}t_{2'2'}, \\ [t_{12}, t_{1'2'}] &= 2vt_{22'}t_{2'2}, & [t_{21}, t_{2'1'}] &= 2vt_{22'}t_{2'2}. \end{aligned} \quad (36)$$

Кроме того, образующие удовлетворяют дополнительным соотношениям вида:

$$\begin{aligned} t_{11}t_{21'} - t_{21}t_{11'} + t_{12}t_{22'} - t_{12'}t_{22} &= 0, \\ t_{21}t_{1'1'} - t_{21'}t_{1'1} + t_{22}t_{1'2'} - t_{22'}t_{1'2} &= 0, \\ t_{11}t_{2'1'} - t_{11'}t_{2'1} + t_{12}t_{2'2'} - t_{12'}t_{2'2} &= 0, \\ t_{2'1}t_{1'1'} - t_{1'1}t_{2'1'} + t_{2'2}t_{1'2'} - t_{2'2'}t_{1'2} &= 0, \\ t_{11}t_{1'2} - t_{12}t_{1'1} + t_{21}t_{2'2} - t_{22}t_{2'1} &= 0, \\ t_{12}t_{1'1'} - t_{11'}t_{1'2} + t_{22}t_{2'1'} - t_{21'}t_{2'2} &= 0, \\ t_{11}t_{1'2'} - t_{12'}t_{1'1} + t_{21}t_{2'2'} - t_{22'}t_{2'1} &= 0, \\ t_{12'}t_{1'1'} - t_{11'}t_{1'2'} + t_{22'}t_{2'1'} - t_{21'}t_{2'2'} &= 0, \\ t_{22}t_{2'2'} - t_{22'}t_{2'2} = 1, & \quad t_{11}t_{1'1'} - qt_{11'}t_{1'1} = 1. \end{aligned} \quad (37)$$

Данный пример показывает, что контрактированная квантовая симплектическая группа с некоммутативными образующими может действовать на коммутативном симплектическом пространстве, в отличие от раздела 3.2, где контрактированное симплектическое пространство порождалось некоммутативными образующими.

Литература

1. Решетихин Н.Ю., Тахмаджян Л.А., Фаддеев Л.Д. Квантование групп Ли и алгебр Ли // Алгебра и анализ, 1989. Т.1. Вып.1. С.178-206.
2. Gromov N.A., Kuratov V.V. Possible quantum kinematics // J. Math. Phys., 2006. Vol. 47. № 1. P.013502-1-9.
3. Gromov N.A. Possible quantum kinematics. II. Non-minimal case // J. Math. Phys., 2010. Vol. 51. № 8. P.083515-1-12; arXiv:1001.3978.
4. Inönü E., Wigner E.P. On the contraction of groups and their representations // Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1953. Vol.39. P.510-524.
5. Громов Н.А. Контракции и аналитические продолжения классических групп. Единый подход. Сыктывкар: Коми НЦ УрО АН СССР, 1990. 220 с.
6. Gromov N.A. Contraction of algebraical structures and different couplings of Cayley-Klein and Hopf structures // Turkish J. Phys., 1997. Vol.3. P.377-383; q-alg/9602003.
7. Gromov N.A., Kostyakov I.V., Kuratov V.V. The quantum symplectic Cayley-Klein groups // Int. J. Mod. Phys. A, 1997. Vol. 12. № 1. P.177-182; q-alg/9610010.
8. Gromov N.A., Kostyakov I.V., Kuratov V.V. Quantum orthogonal Cayley-Klein groups in Cartesian basis // Int. J. Mod. Phys. A, 1997. Vol. 12. № 1. P.33-41; q-alg/9610011.
9. Громов Н.А., Костяков И.В., Куратов В.В. Квантовые симплектические группы Кэли-Клейна $Fun(Sp_q(n; j))$ // Алгебра, дифференциальные уравнения и теория вероятностей. Сыктывкар, 1997. С.30-43. (Труды Коми НЦ УрО РАН, № 151).
10. Громов Н.А., Куратов В.В. Квантовые группы Кэли-Клейна $SO_v(N; j; \sigma)$ в ортогональном базисе // Алгебра, геометрия и дифференциальные уравнения. Сыктывкар, 2003. С.4-31. (Труды Коми НЦ УрО РАН, № 174).
11. Gromov N.A., Kuratov V.V. All possible Cayley-Klein contractions of quantum orthogonal groups // Ядерная физика, 2005. Т.68. № 10. С.1752-1762; Phys. At. Nucl., 2005. Vol. 68. № 10. P.1689-1699.

Статья поступила в редакцию 22.03.2011.

УДК 661.665:666.3.015:666.3.022

СИЛОВОЕ СВС-КОМПАКТИРОВАНИЕ НЕПОРОШКОВЫХ СЛОЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ Ti-SiC

П.В. ИСТОМИН, А.В. НАДУТКИН, В.Э. ГРАСС

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

С целью получения керамического композита с наноламинатной матрицей на основе Ti_3SiC_2 , армированной частицами SiC, экспериментально продемонстрированы возможности использования силового СВС-компактирования многослойного пакета регулярно уложенных слоёв титановой фольги и полимерной плёнки, наполненной частицами карбида кремния. Исследованы особенности фазового состава и микроструктура полученного материала.

Ключевые слова: Ti_3SiC_2 , самораспространяющийся высокотемпературный синтез, СВС-компактирование

P.V. ISTOMIN, A.V. NADUTKIN, V.E. GRASS. FORCED SHS-COMPACTING OF LAYERED NON-POWDER Ti-SiC COMPOSITIONS

A new technique for fabrication of ceramic composite with nanolaminate Ti_3SiC_2 -based matrix reinforced by SiC particles is developed. The proposed method consists in the force SHS-compacting of multilayer stack comprising of alternate layers of titanium foils and SiC-filled polymer films. Analysis of the phase composition and microstructure of prepared material is presented.

Key words: Ti_3SiC_2 , self-propagating high-temperature synthesis, SHS-compaction

Характерной особенностью керамических материалов на основе карбидосилицида титана Ti_3SiC_2 являются высокая трещиностойкость, нечувствительность к термоудару, а также хорошая механическая обрабатываемость. Проявление подобных свойств главным образом обусловлено слоистостью кристаллической структуры Ti_3SiC_2 , выражающейся в относительно слабой связи между карбидными слоями $[Ti_3C_2]_{\infty}$ и разделяющими их слоями атомов кремния $[Si]_{\infty}$. Благодаря такому наноламинатному строению зёрна Ti_3SiC_2 при нагрузке способны сильно деформироваться, локализуя механические повреждения материала, препятствуя тем самым его макроскопическому разрушению [1, 2].

Несмотря на очевидный инновационный потенциал материалов на основе Ti_3SiC_2 , их промышленное освоение сдерживается высокой стоимостью и технической сложностью известных методов получения: горячего изостатического прессования [3–6], искрового плазменного спекания [7, 8], химического осаждения из газовой фазы [9, 10] и т.п. Поиск технологически и экономически эффективных способов производства – одна из наиболее актуальных задач современного этапа исследований. Перспективным направлением её решения может стать применение методов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) в сочетании с использованием слоевых реакционных

композиций, представляющих собой пакеты регулярно уложенных реагентов в виде плёнок и фольг. Техничко-экономические преимущества подобного подхода выражаются в характерном для СВС низком уровне энергетических и временных затрат, а также высокой технологичности использования непорошковых реагентов при производстве крупногабаритных изделий.

В настоящей работе изложены результаты лабораторных экспериментов по получению керамики Ti_3SiC_2 - $TiSi_2$ -SiC путём силового СВС-компактирования слоевой реакционной композиции Ti-SiC.

Методика эксперимента

В качестве источника титана применялась фольга ВТ 1-0 толщиной 55 мкм. Источником кремния и углерода служила полимерная плёнка толщиной 135 мкм, изготовленная на основе поливинилового спирта (ПВС) с наполнением изометричными частицами карбида кремния, средний размер которых составлял 20 мкм, массовая доля SiC – 70 %. Образцы, сформированные путём многослойной укладки реагентов, как показано на рис. 1, подвергались вакуумной термообработке под механической нагрузкой 200 кН/м². Температурный режим включал два изотермических участка: 1) при 400 °С в течение 30 мин для удаления ПВС; 2) при 1340 °С в течение 15 мин для проведения синтеза.

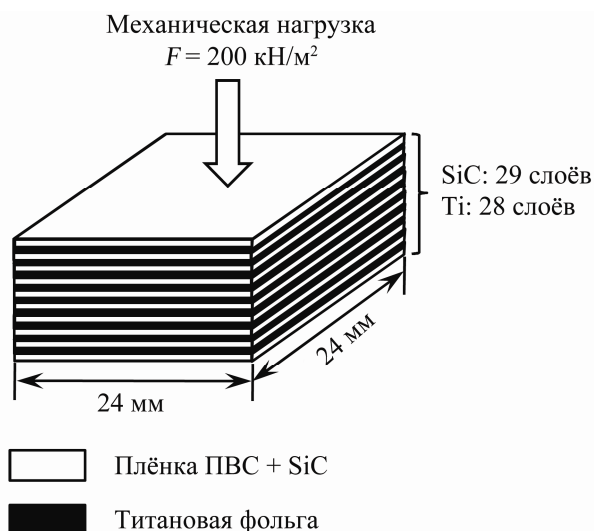
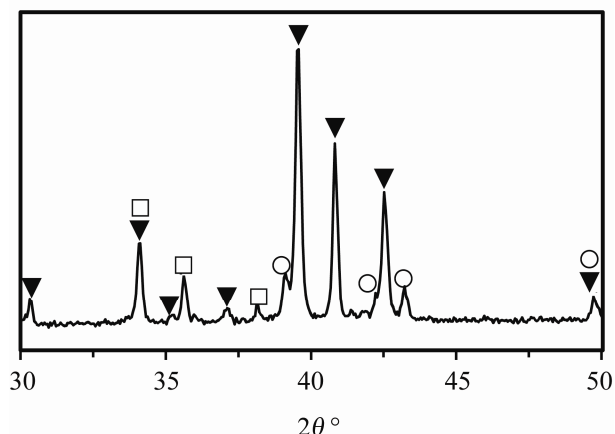


Рис. 1. Схема укладки исходных реагентов.

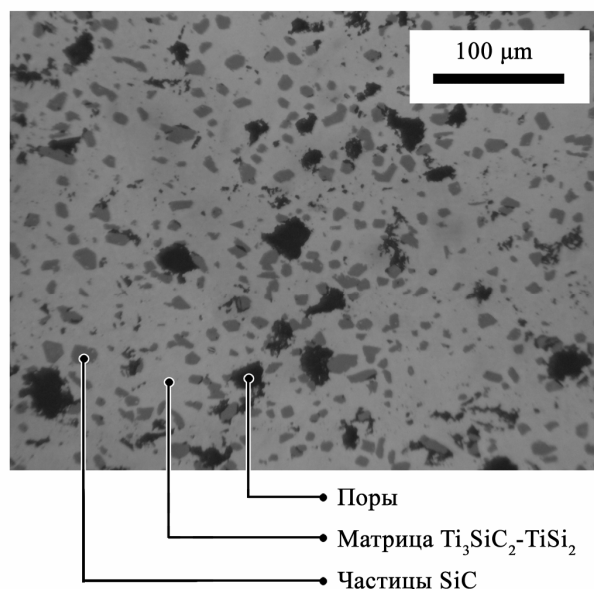
Состав продуктов синтеза контролировался методами рентгенофазового анализа с использованием дифрактометра Shimadzu XRD-6000 (CuK_α излучение, Ni-фильтр). Анализ дифрактограмм проводился с помощью программы POWDER CELL [11]. Для исследования микроструктуры использовался оптический микроскоп ЛОМО Полам Р-312.

Результаты и обсуждение

В ходе экспериментов установлено, что в процессе термообработки слоевой композиции Ti-SiC при температуре 1320 °C происходит инициирование реакции СВС, которая сопровождается саморазогревом образца, что наблюдается визуально. Рентгенофазовый анализ продуктов синтеза, как видно из рис. 2, обнаруживает присутствие Ti_3SiC_2 , TiSi_2 и SiC в количествах 65 об.%, 14 об.% и 18 об.%, соответственно, а также следы TiC и $\text{Ti}_5\text{Si}_3\text{C}_x$. Линейная усадка в направлении приложения нагрузки достигает 25–30 %, в то время как планарные размеры образца при термообработке практически не изменяются. Кажущаяся плотность полученного материала составляет 3.36 г/см³, что соответствует 80% от теоретического значения.

Рис. 2. Дифрактограмма продуктов синтеза.
▼ – Ti_3SiC_2 ; ○ – TiSi_2 ; □ – SiC.

Относительно высокая остаточная пористость, по-видимому, обусловлена тем, что приложенная при СВС-компактировании нагрузка оказалась недостаточной для эффективного уплотнения материала. Микроструктура синтезированного композита характеризуется равномерным распределением частиц SiC и изолированных пор в матрице Ti_3SiC_2 - TiSi_2 . Фрагмент микроструктуры полученного образца представлен на рис. 3.

Рис. 3. Микрофотография поперечного среза синтезированного керамического композита Ti_3SiC_2 - TiSi_2 -SiC.

Основываясь на сопоставлении полученных результатов с известными литературными данными [12, 13], можно заключить, что механизм фазообразования в исследуемой слоевой системе Ti-SiC в целом не отличается от имеющего место в случае порошковых реакционных смесей элементов и бинарных соединений системы Ti-Si-C. При достижении температуры 1320 °C взаимодействие исходных реагентов, протекавшее до этого по диффузионному механизму, переключается в режим СВС. Стадия горения сопровождается образованием титан-кремний-углеродного расплава с последующей кристаллизацией Ti_3SiC_2 и TiSi_2 при его остывании. Под действием приложенной механической нагрузки происходит уплотнение материала. При этом непрореагировавший SiC оказывается равномерно распределён в матрице Ti_3SiC_2 - TiSi_2 . Согласно диаграмме фазовых равновесий системы Ti-Si-C [14], достигаемый состав продуктов близок к равновесному при температуре термообработки. В целом процесс может быть представлен брутто-реакцией:



Заключение

Таким образом, экспериментально обоснована принципиальная возможность использования силового СВС-компактирования слоевых непорошковых композиций Ti-SiC для получения керамических композитов с матрицей на основе Ti_3SiC_2 .

Дальнейшее совершенствование предложенного метода предполагает оптимизацию его технологических параметров, включая поиск эффективных способов пакетирования и оптимальной конфигурации реакционных композиций, определение оптимальной величины механической нагрузки при СВС-компактировании, а также рационализацию температурно-временных режимов процесса.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 11-03-00529-а).

Литература

1. Barsoum M. W., El-Raghy T. Synthesis and Characterization of a Remarkable Ceramic: Ti_3SiC_2 // J. Amer. Ceram. Soc., 1996. Vol. 79 [7]. P. 1953-1956.
2. Разработка наноструктурированных керамических композитов / Б.А.Голдин, В.Э.Грасс, П.В.Истоин, Н.А.Секушин, Ю.И.Рябков // Известия Коми НЦ УрО РАН, 2010. № 1. С. 16-23.
3. Gao N. F., Miyamoto Y., Zhang D. Dense Ti_3SiC_2 Prepared by Reactive HIP // J. Mater. Sci., 1999. Vol. 34 [18]. P. 4385-4392.
4. Zhou Y. C., Sun Z. M., Chen S. Q., Zhang Y. In-Situ Hot Pressing / Solid-Liquid Reaction Synthesis of Dense Titanium Silicon Carbide Bulk Ceramics // Mater. Res. Innov., 1998. № 2. P. 142-146.
5. Feng A., Orling T., Munir Z. A. Field-Activated Pressure-Assisted Combustion Synthesis of Polycrystalline Ti_3SiC_2 // J. Mater. Res., 1999. Vol. 14 [3]. P. 925-939.
6. Bai Y. L., He X. D., Zhu C. C., Qian X. K. Preparation of Ternary Layered Ti_3SiC_2 Ceramic by SHS/PHIP // Key Eng. Mater., 2008. Vols. 368-372. P. 1851-1854.
7. Zou Y., Sun Z. M., Tada S., Hashimoto H. Synthesis Reactions for Ti_3SiC_2 through Pulse Discharge Sintering $\text{TiH}_2/\text{Si}/\text{TiC}$ Powder Mixture // Mater. Res. Bull., 2008. Vol. 43 [4]. P. 968-975.
8. Konoplyuk S., Abe T., Uchimoto T., Takagi T. $\text{Ti}_3\text{SiC}_2/\text{TiC}$ Composites Prepared by PDS // J. Mater. Sci., 2005. Vol. 40 [13]. P. 3409-3413.
9. Goto T., Hirai T. Chemically Vapor Deposited Ti_3SiC_2 // Mater. Res. Bull., 1987. Vol. 22 [9]. P. 1195-1201.
10. Jacques S., Fakih H., Viala J.-C. Reactive Chemical Vapor Deposition of Ti_3SiC_2 with and without Pressure Pulses: Effect on the Ternary Carbide Texture // Thin Solid Films. 2010. Vol. 518 [18]. P. 5071-5077.
11. Kraus W., Nolze G. Powder Cell – A Program for the Representation and Manipulation of Crystal Structures and Calculation of the X-Ray Powder Patterns // J. Appl. Cryst., 1996. Vol. 29 [3]. P. 301-303.
12. Riley D. P., Kisi E. H., Hansen T. C., Hewat A. W. Self-Propagating High-Temperature Synthesis of Ti_3SiC_2 : I. Ultra-High Speed Neutron Diffraction Study of the Reaction Mechanism // J. Amer. Ceram. Soc., 2002. Vol. 85 [10]. P. 2417-2424.
13. Cyrdoba J. M., Sayagués M. J., Alcalá M. D., Gotor F. J. Synthesis of Ti_3SiC_2 Powders: Reaction Mechanism // J. Amer. Ceram. Soc., 2007. Vol. 90 [3]. P. 825-830.
14. Materials Science International Team (MSIT), Du Y., Huang B., Liu H., Liu Y., Pan Z., Xu H. C-Si-Ti (Carbon - Silicon - Titanium) / Ternary Alloy Systems: Phase Diagrams, Crystallographic and Thermodynamic Data. V. IV/11A4: Light Metal Systems. Part 4. Eds. Ilyenko S., Effenberg G. Springer Materials – The Landolt-Börnstein Database. Berlin, New York: Springer-Verlag. 2006.

Статья поступила в редакцию 01.07.2011.

УДК 547.912.4.678

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЭПОКСИДНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА С СОДЕРЖАНИЕМ АНАЛЬЦИМ-МОНТМОРИЛЛОНИТОВОЙ ПОРОДЫ

П.А. СИТНИКОВ, И.Н. ВАСЕНЕВА, А.Г. БЕЛЫХ, О.Б. КОТОВА*, Д.А. ШУШКОВ*, Ю.И. РЯБКОВ, А.В. КУЧИН

Институт химии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

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

sitnikov-pa@chemi.komisc.ru

Проведено изучение условий получения композиционного материала в системе эпоксиангидридная полимерная матрица – анальцимсодержащая порода. Введение наполнителя в количествах от 0,5 до 25% (мас.) позволяет повысить прочностные характеристики и теплостойкость материала на 20–25%.

Ключевые слова: эпоксидный композиционный материал, анальцим, монтмориллонит

P.A.SITNIKOV, I.N.VASENEVA, A.G.BELYKH, O.B.KOTOVA, D.A.SHUSHKOV, YU.I.RYABKOV, A.V.KUCHIN. MODELLING AND WORKING OUT OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS FOR OBTAINING OF AN EPOXY COMPOSITE MATERIAL CONTAINING ANALTSIM-MONTMORILLONIT ROCK

Conditions of synthesis of a composite material in the system of epoxyanhydride polymeric matrix/analtsim-montmorillonit are studied. Introduction of filler (from 0,5 to 25%) allows to raise strength and heat resistance characteristics by 20-25 %.

Key words: composite material, epoxypolymer matrix, analtsim, montmorillonit

Установление физико-химических закономерностей процессов формирования структуры композиционных материалов на основе полимерных матриц и высокодисперсных наполнителей позволяет проектировать материалы с заданными свойствами. Изучено множество систем эпоксидная смола – неорганический наполнитель, для которых доказано значительное влияние строения наполнителя на свойства композиционного продукта.

Одним из перспективных направлений модификации эпоксиполимерной матрицы является использование природных слоистых и пористых силикатов, в частности, монтмориллонита и цеолитов [1 – 4]. Кристаллическая структура монтмориллонита такова, что использование различных ПАВ (поверхностно активных веществ), например, четвертичных аммониевых оснований, позволяет увеличить размеры межслоевых пустот и интеркалировать в них молекулы «гостей» [5]. При этом в зависимости от количества посторонних молекул возможно либо «набухание» решеток, либо увеличение объема внутрикристаллических полостей. Это может приводить к эксфолиации частицы наполнителя по межслоевым фрагментам структуры с формированием гибридного нанокомпозита [6].

Цеолиты – алюмосиликаты щелочных и щелочноземельных металлов – представляют собой пористые тела, характеризующиеся определенной структурой каркаса и регулярной геометрией пор (внутрикристаллических полостей и каналов), в которые после дегидратации могут проникать другие молекулы. Варьируя обмениваемые катионы и подбирая алюмосиликатный каркас (т.е. варьируя тип цеолита), можно регулировать физико-химические взаимодействия с участием сорбированных молекул [7].

В связи с этим определенный интерес представляет сочетание двух типов наполнителей, например пород, содержащих и монтмориллонит, и цеолит. Кроме того, разработка минералонаполненных полимерных композиционных материалов с новыми эксплуатационными свойствами и функциональными возможностями является важным фактором в решении экономических проблем, таких как освоение природного сырья и создание новых ресурсосберегающих технологий.

В предлагаемой работе проведено изучение физико-химических особенностей синтеза полимерного композиционного материала в системе эпоксиполимерная матрица/порода, содержащая цеолит и монтмориллонит.

Экспериментальная часть

Исходные компоненты. В качестве полимерной матрицы в работе использовали хорошо известную систему эпоксидиановый олигомер (ЭО) ЭД-20 – изо-метилтетрагидрофталевый ангидрид (изо-МТГФА). Минеральный состав породы [8], содержащей анальцим и монтмориллонит, представлен в табл. 1.

Таблица 1

**Минеральный состав
анальцим-монтмориллонитовой породы
(Тиманская цуалитоносная провинция)**

Минерал	Содержание минерала в породе, % (мас.)
Кварц	20
Монтмориллониты	35
Полевые шпаты	10
Каолинит	5
Кальцит	5
Анальцим	25

Методы исследования. Химические превращения, протекающие при температурном воздействии на породу, содержащую анальцим и монтмориллонит, исследовали на дериватографе MOM Q-1500D (скорость подъема температуры составляла 5 град/мин). Для изучения фазового состава проводили рентгенофазовый анализ на дифрактометре ДРОН-4М (с использованием $\text{CuK}\alpha$ излучением, $\lambda=1,5418 \text{ \AA}$). Идентификацию порошковых рентгенограмм осуществляли по рентгенометрическим данным картотеки Международного Центра Дифракционных Данных (JPCD-ICDD). Относительное содержание кристаллических фаз в материале вычисляли с помощью программы для рентгенофазового анализа Powder Cell. Погрешность определения количества кристаллических фаз составила $\pm 5 \%$ при доверительной вероятности 0,95.

Исследование процессов, протекающих при получении композиционного материала, проводили методами дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) на приборе Schimadzu DSC-60 и химического анализа на функциональные группы. Содержание эпоксидных групп в ЭО и карбоксильных групп в изо-МТГФА определяли методом химического анализа по стандартным методикам (ГОСТ 10587-84). Прочностные свойства изучали на разрывной машине ИР 5057-60, обеспечивающей растяжение образца с заданной постоянной скоростью перемещения активного захвата и измерения нагрузки с погрешностью не более 1 % от измеряемой величины.

Результаты и обсуждение

По данным рентгенофазового анализа представительного образца, минеральный состав анальцимсодержащей породы состоит из ~ 35 % глинистого монтмориллонита, 20 – кварца, 25 % анальцима (табл. 1.). Анальцим – алюмосиликатный минерал, относящийся к классу цеолитов. Доля свободного объема анальцима, определенная по

содержанию воды в гидротированном цеолите, равна 0.18 [9]. Однако размер входного окна для анальцима составляет 0,26 нм, что позволяет ему сорбировать только небольшие молекулы, такие как ацетилен, вода. В работе [10] показано, что при термической или кислотной обработке анальцим-монтмориллонитовой породы ионообменная емкость увеличивается до 34-40%.

Дифференциальный термический анализ представительного образца породы, содержащей анальцим и монтмориллонит, показал, что при температуре около 140°C происходит удаление адсорбционной воды: при 520°C удаляется кристаллизационная вода, а при 750°C происходит экзотермический процесс. Он связан с окислительными реакциями, протекающими в образце после удаления гидроксильных групп, а также со структурными изменениями.

На данном этапе исследовательской работы породу, содержащую анальцим и монтмориллонит, кроме предварительного нагрева до 200°C никакой дополнительной обработке не подвергали. После ситового анализа (рассеиватель ЭЛСА-М) была отобрана фракция с размером частиц менее 40 мкм. Методом ДСК изучены системы: ЭД-20/ порода, содержащая анальцим и монтмориллонит; изо-МТГФА/анальцим-монтмориллонит содержащая порода; фенилглицидиловый эфир/анальцим-монтмориллонит содержащая порода (рис. 1).

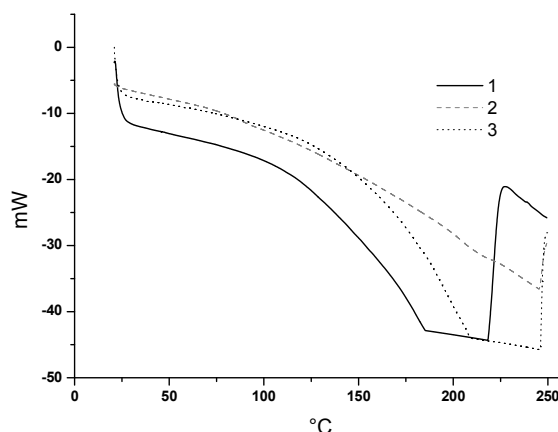


Рис. 1. Кривые ДСК для систем: 1 – фенилглицидиловый эфир/анальцим-монтмориллонит содержащая порода; 2 – изо-МТГФА/анальцим-монтмориллонит содержащая порода; 3 – ЭД-20/анальцим-монтмориллонит содержащая порода.

Данные, полученные методами ДСК и химического анализа на функциональные группы, показывают, что взаимодействия между компонентами полимерной матрицы и частицами наполнителя не происходит, т.е. можно говорить, что улучшение эксплуатационных свойств материала осуществляется за счет физической адсорбции, обусловленной водородными связями, образующими дополнительную прочную сетку, компенсирующую рост неоднородности и дефектности в граничных слоях.

На рис. 2 представлен характерный вид кривых ДСК процесса отверждения при получении композиционного материала. В табл. 2 указаны тем-

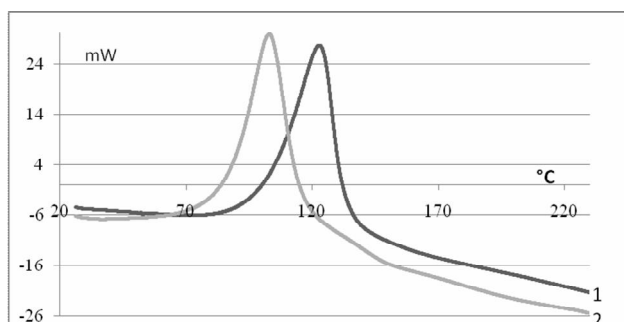


Рис. 2. Кривые ДСК процесса полимеризации в системах: 1 – ЭД-20 + изо-МТГФА; 2 – ЭД-20 + изо-МТГФА + 0,5 % (мас.) анальцим-монтмориллонит содержащая порода.

Таблица 2

ДСК данные процесса получения исследуемого композиционного материала

Содержание анальцим-монтмориллонит содержащей породы, % (мас.)	$T_{\text{нач.}}^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{max}}^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{кон.}}^{\circ}\text{C}$	Энергетический эффект, Дж/г
	81	123	149	222
0,5	60	105	126	246
1	81	124	140	229
5	83	127	163	218
10	85	128	161	236
15	90	130	160	211

пературы начала, максимума и конца экзотермического пика, а также наблюдаемый при этом экзотермический эффект реакции. Отмечается, что с увеличением содержания анальцима от 1 до 15% (мас.) наблюдается незначительное повышение температур начала реакции при получении композиционного материала (табл. 2). В то же время для системы ЭД-20 + изо-МТГФА + анальцим-монтмориллонит содержащая порода при малых концентрациях наполнителя (около 0,5% (мас.)), вероятно, происходит упорядочение молекул олигомера в адсорбционном слое за счет ориентации его полярных групп (глицидиловых, гидроксильных) относительно частиц анальцим-монтмориллонит содержащей породы, что создает в нем «кинетически выгодный» порядок и катализирует процесс отверждения, который начинается при температуре на 20°C ниже. Температурно-временной режим отверждения составлял при: 100°C – 2 ч, 120°C – 2 ч, 160°C – 3 ч.

Изучение эксплуатационных характеристик композиционного материала (табл. 3), таких как теплостойкость по Мартенсу (T_M), прочность на изгиб ($\sigma_{\text{изг}}$), прочность на разрыв (σ_r), показало, что наилучшие результаты у образцов с наполнением 0,5% (мас.), т.е. действует эффект малых добавок. В этом случае улучшение эксплуатационных характеристик связывают с образованием частицами наполнителя армирующего каркаса, ориентацией макромолекул и переходом их в тонкие упрочненные пленки, но главным фактором является адгезия полимера к твердым поверхностям. Как правило, адгезия в полимерах обусловлена физическими

Таблица 3

Физико-химические характеристики композиционного материала с наполнителем, содержащим анальцим и монтмориллонит

Содержание наполнителя, % (мас.)	$T_M, ^\circ\text{C}$	$\sigma_r, \text{МПа}$	$\sigma_{\text{изг}}, \text{МПа}$
0	110 ± 2	44 ± 4	110 ± 5
0,5	132 ± 2	63 ± 4	145 ± 5
1	123 ± 2	55 ± 4	125 ± 5
5	123 ± 2	53 ± 4	125 ± 5
10	118 ± 2	50 ± 4	120 ± 5
15	115 ± 2	45 ± 4	110 ± 5
25	105 ± 2	35 ± 4	100 ± 5

(в том числе водородными) связями, образующими дополнительную прочную сетку, компенсирующую рост неоднородности и дефектности в граничных слоях. Однако с увеличением взаимодействия полимера с поверхностью частиц наполнителя растут и внутренние напряжения, ослабляющие композицию. Это же взаимодействие изменяет структуру и свойства полимера в граничных слоях, вклад которых с увеличением удельной поверхности раздела фаз возрастает.

Увеличение содержания наполнителя (от 1 до 10% (мас.)) приводит к снижению модифицирующего эффекта, а наполнение более 15% (мас.) ухудшает свойства полимерной матрицы.

Выводы

В результате проведенного исследования были изучены условия получения композиционного полимерного материала в системе эпоксигидридная матрица/анальцим-монтмориллонит содержащая порода. Методами химического анализа, дифференциальной сканирующей калориметрии доказано, что между исходными компонентами химического взаимодействия нет. Поэтому улучшение эксплуатационных свойств композиционных материалов может быть объяснено физической адсорбцией. Методом ДСК показано, что при содержании анальцим-монтмориллонит содержащей породы в количестве 0,5–1% (мас.) температура начала реакции отверждения снижается на 20°C, а показатели эксплуатационных свойств образцов имеют наилучшие значения, что можно объяснить эффектом «малых добавок».

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН (2009–2011 гг.) «Основы фундаментальных исследований нанотехнологий и наноматериалов»; «Природные наноструктурированные материалы: строение, свойства, генезис, синтез искусственных аналогов»; интеграционных и совместных проектов фундаментальных исследований, выполняемых в Учреждении Российской академии наук Уральском отделении РАН в 2009–2011 гг. и финансируемых из средств Уральского отделения РАН в 2009–2011 гг.

Литература

1. Акимбаева А.М., Ергожин Е.Е. Особенности сорбции паров различных веществ модифицированным природным цеолитом // Изв. ВУЗов. Химия и хим. Технология. 2006. Т. 49. № 6. С. 127-128.
2. Куличихин В.Г., Антонов С.В., Макарова В.В. и др. Нанокompозитные гидроколлоидные адгезивы для биомедицинского применения // Российские нанотехнологии. 2006. Т.1. №1-2. С. 17-182.
3. Ломакин С.М., Заиков Г.Е. Полимерные нанокompозиты пониженной горючести на основе слоистых силикатов // Высокомолекуляр. соединения. 2005. Т. 47. № 1. С. 104-120.
4. Герасин В.А., Зубова Т.А., Бахов Ф.Н. и др. Структура нанокompозитов полимер/ Na^+ -монтмориллонит, полученных смешением в расплаве // Российские нанотехнологии. 2007. Т. 2. № 1-2. С. 90-105.
5. Schaak R.E., Mallouk T.E. Designer materials: retrosynthesis of new inorganic solids, nanomaterials and thin films with controlled structures and morphologies // Chem. Mater. 2002.V. 14. No. 4. P. 1455-1471.
6. Помогайло А.Д. Синтез и интеркаляционная химия гибридных органо-неорганических нанокompозитов// Высокомолекуляр. соединения. Сер. С. 2006. Т. 48. № 7. С. 1318-1351.
7. Treacy M.M.J., Foster M.D., Randall K.H. An efficient method for determining zeolite vertex symbols// Microporous and Mesoporous Materials. 2006.Vol. 87. P. 255-260.
8. Шушков Д.А., Носков А.В. Анальцимсодержащие породы Среднего Тимана // Литология и полезные ископаемые. 2007. № 5. С. 530-535.
9. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. М.: Мир, 1976. 781 с.
10. Шушков Д.А. Минералого-технологические свойства анальцимсодержащих пород Тимана. Сыктывкар: Геопринт, 2007. 40 с.

Статья поступила в редакцию 18.07.2011.

УДК 544.6.018.462

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АТОМОВ МЕДИ И МАГНИЯ ПО КАТИОННЫМ ПОЗИЦИЯМ В ТВЕРДЫХ РАСТВОРАХ $\text{Bi}_2\text{Mg}_{1-x}\text{Cu}_x\text{Nb}_2\text{O}_{9.5}$ СО СТРУКТУРОЙ ПИРОХЛОРА

И.В. ПИЙР, Н.А. СЕКУШИН, В.А. БЕЛЫЙ

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

Осуществлен синтез и проведено исследование различными методами твердых растворов медь- и магнийсодержащих ниобатов висмута. Методами дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), термической гравиметрии (ТГ) и пикнометрии определено распределение катионов Cu^{2+} и Mg^{2+} по двум катионным подрешеткам структуры пирохлора. На основании полученных данных была рассчитана дефектность по кислороду.

Ключевые слова: сложный ниобат висмута, структура пирохлора, дифференциальная сканирующая калориметрия, термогравиметрия

I.V. PIIR, N.A. SEKUSHIN, V.A. BELIY. DISTRIBUTION OF COPPER AND MAGNESIUM ATOMS ON CATION SITES OF THE SOLID SOLUTIONS $\text{Bi}_2\text{Mg}_{1-x}\text{Cu}_x\text{Nb}_2\text{O}_{9.5}$ WITH PYROCHLORE STRUCTURE

Solid solutions of copper and magnesium in bismuth niobates were synthesized and studied with different methods. Distribution of cations Cu^{2+} and Mg^{2+} on two cation's sub lattices was determined by means of differential scanning calorimetry (DSC), thermal gravimetry (TG) and measuring compactness with the help of densimeter. The oxygen deficiency was calculated on the basis of obtained data.

Key words: mixed bismuth niobates, pyrochlore structure, differential scanning calorimetry, thermal gravimetry

Введение

В последние десятилетия ведутся активные исследования сложных ниобатов висмута, которые благодаря набору ценных электрических и магнитных свойств представляют как практический интерес, так и теоретический – для химии и физики твердого тела. Особенностью этих соединений является разнообразие структурных типов при близком химическом составе. Известны флюоритоподобные структуры, пирохлор, слоистые перовскитоподобные соединения [1–4]. В бинарной системе $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--Nb}_2\text{O}_5$ при мольном отношении $\text{Bi}/\text{Nb} \geq 1$ формируется несколько оксидных соединений, имеющих различное кристаллическое строение. Среди них – орторомбический BiNbO_4 , $\text{Bi}_5\text{Nb}_3\text{O}_{15}$ со структурой типа слоистого перовскита и флюоритоподобный Bi_3NbO_7 [1–3, 5, 6]. Структура типа пирохлора с общей формульной единицей $\text{A}_2\text{B}_2\text{O}_6\text{O}^*$ в бинарной системе не реализуется. В случае добавления соизмеримых молярных количеств оксидов других металлов образуются соединения с общей брутто-формулой $\text{Bi}_2\text{MNb}_2\text{O}_{9.5}$, которые кристаллизуются по типу пирохлора, либо имеют структуру слоистого перовскита в зависимости от размеров атомов металла М [4]. В том случае, когда атомы М имеют большой ионный радиус (например, барий,

стронций, ртуть), кристаллизация сложного оксида проходит с образованием слоистого перовскита, когда М – атомы 3d-металлов, а также магния или цинка, кристаллизация идет с образованием структуры типа пирохлора. Особенностью структуры пирохлора является независимое сосуществование двух решеток: A_2O^* и BO_6 . А-позиции крупных катионов, например висмута, окружены атомами кислорода O^* и обе (катионная и анионная) подрешетки могут быть дефектными [7]. Катионы, располагающиеся в В-позициях, находятся в октаэдрической координации из атомов кислорода О (второй анионной подрешетки), и эти катионная и анионная позиции полностью заселены атомами металлов и кислорода. Атомы металлов –М– в структуре типа пирохлора могут распределяться по двум катионным подрешеткам (позициям) [7]. Тогда брутто-формулу $\text{Bi}_2\text{MNb}_2\text{O}_{9.5}$ можно преобразовать в вид формульной единицы пирохлора $\text{A}_2\text{B}_2\text{O}_6\text{O}^*$ с неопределенным распределением атомов М – $(\text{Bi}_2\text{M}_{1-x})_{2/(2+x)}(\text{M}_x\text{Nb}_2)_{2/(2+x)}\text{O}_{9.5}$, что позволяет рассматривать подобные соединения как твердые растворы замещения.

Соединения $\text{Bi}_2\text{Mg}_{1-x}\text{Cu}_x\text{Nb}_2\text{O}_{9.5}$ ($x=0\text{--}1$) при совместном присутствии меди и магния синтезированы и изучены нами впервые [8, 9]. Ранее исследованы условия образования и структура медьсодержащего ниобата висмута со структурой типа пи-

рохлора [10]. В недавно вышедшей работе [11] приведены результаты исследования структуры и импеданс-спектры упомянутых твердых растворов. Возможная ионная проводимость многокомпонентных ниобатов висмута со структурой пирохлора должна определяться дефектностью анионной или катионной подрешеток, что зависит от распределения металла (М) с меньшей степенью окисления по катионным подрешеткам.

В настоящей работе предложен оригинальный способ, позволяющий установить не только распределение катионов меди и магния по позициям в кристаллической структуре, но и определить концентрацию как катионных, так и анионных вакансий. Следует отметить, что прямыми физическими методами (рентгеновской дифракцией порошка с полнопрофильным анализом) эту задачу однозначно решить не удастся, поскольку в висмутсодержащих пирохлорах, кроме структурного разупорядочения, возможно смещение атомов висмута и подвижного кислорода со своих позиций. При уточнении структуры наблюдается взаимная зависимость заселенности позиций, температурных параметров и смещений.

Разработанная методика в полном объеме применена для трех наиболее интересных с точки зрения электрофизики твердых растворов [10].

Экспериментальная часть

Синтез образцов осуществлялся керамическим методом в соответствии с химической реакцией:

$\text{Bi}_2\text{O}_3 + (x-1)\text{MgO} + x\text{CuO} + \text{Nb}_2\text{O}_5 = \text{Bi}_2\text{Mg}_{1-x}\text{Cu}_x\text{Nb}_2\text{O}_9$,
где $x = 0,25; 0,75; 1$.

Навески оксидов висмута, ниобия, магния и меди квалификации «ос.ч.» в соотношениях, соответствующих стехиометрии реакции, тщательно перемешивали в яшмовой ступке для получения однородной смеси и далее запрессовывали в таблетки диаметром 12 мм и толщиной 2,5 мм. Термообработку препаратов проводили в три стадии: предварительное прокаливание при 650°C в течение 6 ч и последующий обжиг при температурах $(1000 \pm 10)^\circ\text{C}$ в течение 20 ч, а затем при $(1100 \pm 10)^\circ\text{C}$ в течение 6 ч. Между обжигами осуществлялся рентгенофазовый анализ образцов с целью проверки результатов синтеза. После высокотемпературного прокаливания были получены практически однофазные материалы. Определение содержания висмута, ниобия, магния, меди в полученных после высокотемпературной обработки образцах проводили методом атомно-эмиссионной спектроскопии на спектрометре SPECTRO CIROS с индуктивно-связанной плазмой. Состав всех твердых растворов по катионам после синтеза соответствует заданной стехиометрии. Данные по рентгеновской дифракции порошков были получены с помощью дифрактометра Shimadzu на $\text{Cu K}\alpha$ излучении в области 2θ : $10-80^\circ$. Проведенный анализ показал, что все синтезированные материалы имели в своем составе единственную фазу со структурой типа кубического пирохлора $\text{Fd}3\text{m}$ с постоянной решетки $10,60 \text{ \AA}$ [10].

Для порошкообразных образцов выполнено измерение пикнометрической плотности при постоянной температуре с использованием в качестве рабочей жидкости толуола. Экспериментальные значения плотности (ρ_n) сравнивались со значениями плотности, рассчитанными для определенной модели катионного распределения в конкретном твердом растворе (ρ_p).

Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) и термогравиметрия (ТГ) образцов твердых растворов проводились на приборе синхронного термического анализа STA 409 PC Luxx (ФРГ). Результаты термогравиметрического анализа представлены на рис. 1 и 2.

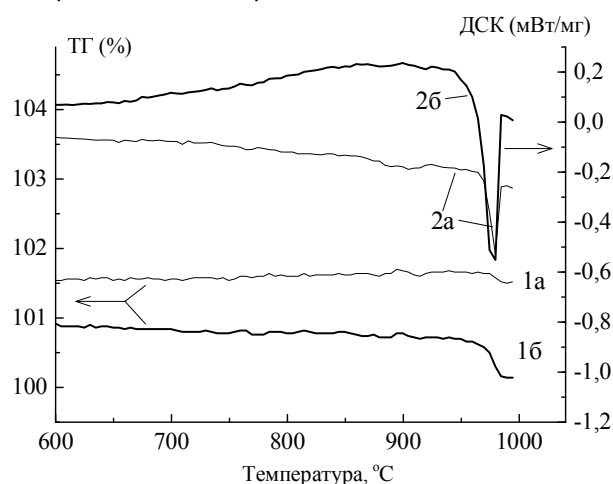


Рис. 1. Термическая гравиметрия (1) и дифференциальная сканирующая калориметрия (2) твердых растворов $\text{Bi}_2\text{Mg}_{0,75}\text{Cu}_{0,25}\text{Nb}_2\text{O}_{9,5}$ (a) и $\text{Bi}_2\text{Mg}_{0,25}\text{Cu}_{0,75}\text{Nb}_2\text{O}_{9,5}$ (б).

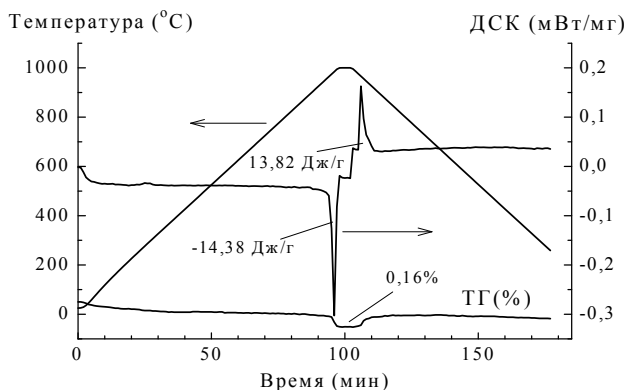


Рис. 2. Термическая гравиметрия и дифференциальная сканирующая калориметрия твердых растворов $\text{Bi}_2\text{Mg}_{0,75}\text{Cu}_{0,25}\text{Nb}_2\text{O}_{9,5}$, выполненная в режиме «нагревание – охлаждение».

Результаты и обсуждение

Задачей настоящего исследования являлось экспериментальное определение распределения меди и магния по катионным подрешеткам в твердых растворах ниобата висмута со структурой типа пирохлора. Оба катиона при добавлении их к оксидам висмута и ниобия приводят к образованию и стабилизации структуры пирохлора после соответ-

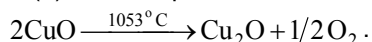
ствующей термообработки. По своим характеристикам и химическим свойствам они существенно отличаются. В табл. 1 приведены характеристики ионов меди и магния, входящих в состав исследуемых образцов.

Таблица 1
Электроотрицательность по Олреду – Рохову и радиус ионов

Ион	Ионный радиус, Å	Электроотрицательность
Bi^{3+}	1,03	1,7
Nb^{5+}	0,64	1,2
Mg^{2+}	0,72	1,2
Cu^{2+}	0,73	1,8
O^{2-}	1,46	3,5

Распределение меди и магния по двум катионным позициям структуры пироклора в исследуемых твердых растворах может осуществляться несколькими способами. Оба катиона занимают В-позиции (подрешетка ниобия) и тогда А-подрешетка (висмута) на треть вакантна. Дефектность А-подрешетки будет меньше, если некоторая доля магния и (или) меди займет А-позиции. Эта модель обуславливает существенно пониженную плотность соединений по сравнению с плотностью для идеальной структуры пироклора. Другой вариант распределения предполагает полную заселенность обеих катионных позиций с равновероятным или хаотическим распределением меди и магния по позициям А и В.

Для медьсодержащих соединений может быть использована известная реакция разложения оксида меди (II) на кислород и оксид меди (I):



Стандартная энтальпия процесса $\text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Cu}^+$ равна: $\Delta H_{298} = 75,5$ кДж/моль. Процесс восстановления сопровождается уменьшением массы образца из-за потери кислорода. Очевидно, что температура восстановления зависит от прочности кристаллической решетки, длины и энергии связи «медь – кислород» и в случае структуры пироклора – от подвижности атомов кислорода. Если предположить, что в медьсодержащих ниобатах висмута медь восстанавливается при температуре около 1000°C , то такая реакция наиболее вероятна для меди, распределенной в $\text{A}_2\text{O}^{\cdot}$ (висмутовой) подрешетке, поскольку анионы кислорода $\text{O}^{\cdot}$ способны легко покинуть эту подрешетку. Аналогичный процесс в более прочной BO_6 (ниобиевой) подрешетке начинается при более высоких температурах и, по-видимому, будет сопровождаться разрушением структуры. Длины связи $\text{Bi}-\text{O}^{\cdot}$ и $\text{Nb}-\text{O}$ равны 2.280 Å и 2.027 Å, соответственно [10], и медь в позициях висмута менее прочно связана с кислородом.

На кривых ДСК при температуре T (табл. 2, столбец 3) наблюдается эндотермический пик. По площади пика была рассчитана энтальпия процесса ΔH (табл. 2, столбец 6). При этой же температуре на кривой ТГ зарегистрировано уменьшение массы образца Δm . В табл. 2 (столбец 5) приведено отно-

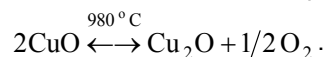
Таблица 2

Результаты синхронного термического анализа

Образцы	M (г/моль)	T °C	m (мг)	$\Delta m/m$ (%)	ΔH (Дж/г)	ω % по Δm	ω % по ΔH
1	2	3	4	5	6	7	8
$\text{Bi}_2\text{Mg}_{0,25}\text{Cu}_{0,75}\text{Nb}_2\text{O}_9$	802	980	60,03	0,50	47,48	66	67
$\text{Bi}_2\text{Mg}_{0,75}\text{Cu}_{0,25}\text{Nb}_2\text{O}_9$	782	971	10,01	0,14	13,15	54	52
			63,0	0,16	14,38	61	58
$\text{Bi}_2\text{CuNb}_2\text{O}_9$	812	970	10,65	0,138	13,25	14	14

сительное изменение массы в % (m – начальная масса образца). Погрешность определения массы составляет $\pm 1 \cdot 10^{-6}$ г.

На рис. 2 приведены результаты термического анализа образца $\text{Bi}_2\text{Mg}_{0,75}\text{Cu}_{0,25}\text{Nb}_2\text{O}_{10-8}$, в режиме «нагревание – охлаждение». Из экспериментальных данных, представленных на рисунке, следует, что процесс восстановления меди является обратимым:



При измерении ДСК в аргоне экзотермический пик не наблюдается, что можно объяснить малым парциальным давлением кислорода. Из данных ТГ и ДСК была рассчитана доля катионов меди ω , способных переходить в одновалентное состояние (восстанавливаться). Результаты расчетов приведены в табл. 2 (столбцы 7 и 8). Получены достаточно близкие значения. Таким образом, можно предположить, что при температуре 980°C вся медь в подрешетке А переходит в одновалентное состояние. Этот процесс сопровождается убылью кислорода $\text{O}^{\cdot}$ в висмутовой подрешетке. Аналогичный процесс затруднен в подрешетке В ввиду её более высокой устойчивости (жесткости) и отсутствия кислородных вакансий. Зная распределение меди по двум типам позиций, можно определить дефектность в подрешетке висмута для соединения $\text{Bi}_2\text{CuNb}_2\text{O}_9$, что и отражено в табл. 3 (последняя строка).

Если же твердый раствор содержит одновременно медь и магний, то данных ДСК и ТГ становится недостаточно для определения дефектности. В этом случае недостающую информацию дает сопоставление теоретической и пикнометрической плотностей образцов. Если подрешетка висмута имеет катионные вакансии, то это приведет к снижению плотности. В табл. 3 (столбец 2, первая строка) приведена брутто-формула соединения, а во второй её строке – преобразование к формульной единице пироклора. Теоретическая (расчетная) плотность (столбец 4) определяется путем деления массы всех атомов, приходящихся на 8- формульных единиц пироклора, входящих в элементарную ячейку, на объем элементарной ячейки. Соответствие экспериментальной (пикнометрической) и расчетной плотностей твердых растворов подтверждает правильность полученных термогравиметрическим методом данных по распределению атомов меди и магния по кристаллографическим позициям.

Таблица 3

Результаты расчета распределения меди и магния по подрешеткам пироклора, дефектности и теоретической плотности для трех соединений

Соединения	Формулы соединений, учитывающие позиции катионов и вакансии	ρ_p , г/см ³	ρ_n , г/см ³
$\text{Bi}_2\text{Mg}_{0,25}\text{Cu}_{0,75}\text{Nb}_2\text{O}_9$	$(\text{Bi}_{2,0}\text{Cu}_{0,5})(\text{Cu}_{0,25}\text{Mg}_{0,25}\text{Nb}_2)\text{O}_9^*$ $(\text{Bi}_{1,6}\text{Cu}_{0,4})(\text{Cu}_{0,2}\text{Mg}_{0,2}\text{Nb}_{1,6})\text{O}_{7,2}^{**}$	6,46	$6,40 \pm 0,15$
$\text{Bi}_2\text{Mg}_{0,75}\text{Cu}_{0,25}\text{Nb}_2\text{O}_9$	$(\text{Bi}_2\text{Cu}_{0,15}\text{Mg}_{0,25})(\text{Cu}_{0,1}\text{Mg}_{0,75}\text{Nb}_2)\text{O}_9^*$ $(\text{Bi}_{1,4}\text{Cu}_{0,1}\text{Mg}_{0,2}\text{Nb}_{1,3})(\text{Cu}_{0,1}\text{Mg}_{0,5}\text{Nb}_{1,4})\text{O}_{6,5}^*$	6,30	$6,18 \pm 0,10$
$\text{Bi}_2\text{CuNb}_2\text{O}_9$	$(\text{Bi}_2\text{Cu}_{0,14})(\text{Cu}_{0,86}\text{Nb}_2)\text{O}_9^*$ $(\text{Bi}_{1,4}\text{Cu}_{0,1}\text{Nb}_{0,5})(\text{Cu}_{0,6}\text{Nb}_{1,4})\text{O}_{6,3}^*$	6,49	$6,40 \pm 0,11$

Прмечания. * – формула, учитывающая распределение катионов по подрешеткам ниобия и висмута; ** – кристаллохимическая формула, нормированная к формульной единице пироклора; ρ_p – расчетная (теоретическая) плотность; ρ_n – пикнометрическая плотность.

Так, образец $\text{Bi}_2\text{CuNb}_2\text{O}_9$ интересен тем, что имеет только один тип примеси, что позволяет определить дефектность как по синхронному термическому анализу, так и по плотности. В табл. 3 (столбец 2) приведена формульная единица этого соединения с указанием среднего количества дефектов в виде символа $\square$, используемого при составлении кристаллографических формул. Электронейтральность соединения обеспечивается избытком кислорода в кристаллической решетке. Знание формульной единицы $\text{Bi}_2\text{CuNb}_2\text{O}_9$ позволяет определить теоретическую плотность. Полученное значение $6,49 \text{ г/см}^3$, рассчитанное с учетом дефектности (табл. 3), достаточно близко к пикнометрической плотности ($6,40 \pm 0,11 \text{ г/см}^3$).

У соединений, имеющих оба типа катионов (меди и магния), распределение Mg по подрешеткам можно определить из анализа данных, полученных методами ДСК, ТГ и пикнометрии. Это связано с тем, что при перемещении Mg из одной подрешетки в другую изменяется дефектность висмутовой подрешетки, а следовательно, и пикнометрическая плотность образцов. Вместе с тем, введение двухвалентных катионов в структуру пироклора увеличивает концентрацию вакансий во второй кислородной подрешетке – $\text{O}^\cdot$. Пусть количество катиона M^{2+} в формульной единице пироклора равно z . В этом случае можно химическую формулу ниобата висмута представить в следующем виде: $(\text{Bi}_{2-\frac{z}{2}}\text{M}_{\frac{z}{2}})(\text{Nb}_{2-\frac{z}{2}}\text{M}_{\frac{z}{2}})\text{O}_{7+\delta}$. Из условия электронейтральности соединения можно определить параметр δ . Несложные расчеты дают следующую величину:

$$\delta = \frac{4 - 3z}{4 + z}.$$

Как указывалось выше, способностью к перемещению обладает один из семи ионов кислорода $\text{A}_2\text{B}_2\text{O}_7$. Из теории перколяции следует, что наибольшая проводимость по кислороду возникает при одинаковой концентрации вакансий и носителей заряда (O^{2-}), что соответствует $\delta = 0$. В этом случае

$z = 4/3$. В работе [11] были исследованы соединения с $z = 1, 2$ и 3. Для этих трех случаев $\delta = 1/5, -1/3$ и $-5/7$.

Таким образом, можно ожидать достаточно высокую кислородную проводимость у соединений с уровнем допирования $z=1$ или 2, что и было подтверждено данными импеданс-спектроскопии [11].

Заключение

Применение методов ДСК, ТГ и пикнометрии, как показало проведенное исследование, позволяет в рассматриваемых твердых растворах со структурой пироклора определять распределение катионов меди и магния по подрешеткам висмута и ниобия. В настоящее время неизвестны другие физические методы, способные решить эту задачу. Полученные данные свидетельствуют о том, что при синтезе ниобатов висмута могут формироваться как бездефектные структуры с равномерным распределением катионов меди и магния по двум подрешеткам, так и дефектные структуры с неравномерным распределением этих катионов. Это открывает новые возможности в исследовании влияния примесей и дефектности структуры на электрофизические свойства ниобатов висмута.

Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории «Экоаналит» Института биологии Коми НЦ УрО РАН за выполнение химического анализа на содержание металлов.

Литература

1. Keve E.T., Skapski A.C. The crystal structure of triclinic $\beta\text{-BiNbO}_4$ // J. Solid State Chem. 1973. Vol.8. P.159–165.
2. Keve E.T., Skapski A.C. The structure of triclinic BiNbO_4 and BiTaO_4 // Chem. Commun. 1967. No.2. P.281–283.
3. Subramanian M.A., Calabrese J.C. Crystal structure of the low temperature form of bismuth niobium oxide // Mater. Res. Bull. 1993. Vol.28. P.523–529.
4. Miida R., Tanaka M. Modulated structure in a fluorite-type fast-ion-conductor $\Delta(\text{Bi}_2\text{O}_3)_{1-x}(\text{Nb}_2\text{O}_5)_x$ // Jap. J. of Appl. Physics, 1990. Vol.29. No.10. P.1132–1138.
5. The new oxygen-deficient fluorite Bi_3NbO_7 : synthesis, electrical behavior and structural approach / A. Castro, E. Aguado, J. M. Rojo, P. Herrero, R. Enjalbert, J. Galy // Mater. Res. Bull. 1998. Vol.33. P.31–41.

6. *Valant M., Suvorov D.* Dielectric properties of the fluorite-like $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5$ solid solution and the tetragonal Bi_3NbO_7 // *J. Amer. Ceramic Soc.* 2003. Vol.86. P.939–944.
7. *Cann D.P., Randall C.A.* Dielectric properties of Bismuth Pyrochlores // *Solid State Commun.* 1996. Vol. 100, No.7. P.529–534.
8. *Пийр И.В., Секушин Н.А., Трофимов А.Л.* Структура и электрические свойства твердых растворов $\text{Bi}_2\text{Mg}_{(1-x)}\text{Cu}_x\text{Nb}_2\text{O}_9$ ($x=0\text{--}0.5$) // *Материалы Междунар. науч.-техн. конф. “Межфазная релаксация в полиматериалах”*. Ч. 2. М.: МИРЭА, 2003. С.129–131.
9. *Голдин Б.А., Жук Н.А., Пийр И.В., Секушин Н.А.* Влияние температуры на реактивную составляющую проводимости сложных ниобатов висмута $\text{Bi}_2\text{Mg}_x\text{Cu}_y\text{Nb}_2\text{O}_{8+x+y}$ ($x+y=2,3$) // 15 Российское совещание по экспериментальной минералогии: Материалы совещания. Сыктывкар, 2005. С.226–228.
10. *Piir I.V., Prikhodko D.A., Ignatchenko S.V., Schukariov A.V.* Preparation and structural investigation of mixed bismuth niobates, containing transition metals // *Solid State Ionics*, 1997. Vol.101–103. P.1141–1146.
11. *Секушин Н.А., Пийр И.В.* Синтез, структура и релаксационные процессы в ионопроводящей керамике $\text{Bi}_2\text{Mg}_{1-x}\text{Cu}_x\text{Nb}_2\text{O}_9$ // *Электрохимия*, 2011. Т. 47, № 6. С. 757–765.

Статья поступила в редакцию 20.09.2011.

УДК 541.1-16

ВЛИЯНИЕ СТЕХИОМЕТРИИ КАРБИДОВ ТИТАНА НА ФОРМИРОВАНИЕ ФАЗЫ Ti_3SiC_2 В СИСТЕМЕ TiC-SiO

Е.И. ИСТОМИНА, П.В. ИСТОМИН, А.В. НАДУТКИН

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

Изучено влияние стехиометрии карбидов титана на формирование фазы Ti_3SiC_2 в системе TiC-SiO при 1350°C в условиях динамического вакуума. В качестве реакционного источника SiO использовалась порошковая смесь кремния и диоксида кремния. Исследования проводились на образцах различного состава TiC_x (где $0.69 \leq x \leq 1.41$). Особое внимание уделялось однофазности реагентов. Продуктами взаимодействия являются Ti_3SiC_2 , TiSi_2 , Ti_5Si_3 и SiC , причём фазовый состав продуктов существенно зависит от стехиометрии исходных карбидов титана. В случае использования карбидов титана с низким содержанием углерода ($x < 0.80$) единственным продуктом силицирования является Ti_5Si_3 . Для карбидов титана с содержанием углерода близким к стехиометрическому ($x \rightarrow 1$), силицирование приводит к образованию Ti_3SiC_2 , на поверхности которого затем начинают формироваться другие силицидные фазы: Ti_5Si_3 и TiSi_2 . Для образцов с высоким содержанием углерода ($x > 1$) в продуктах обработки наряду с титансодержащими фазами Ti_3SiC_2 , TiSi_2 и Ti_5Si_3 присутствует SiC .

Ключевые слова: МАХ-фазы, карбиды титана, Ti_3SiC_2 , карботермическое восстановление, динамический вакуум

E.I. ISTOMINA, P.V. ISTOMIN, A.V. NADUTKIN. EFFECT OF TITANIUM CARBIDE STOICHIOMETRY ON FORMATION OF Ti_3SiC_2 IN THE SYSTEM TiC-SiO

High temperature silicidation of titanium carbides with different stoichiometry by gaseous SiO at 1350°C under vacuum condition are studied. The reaction mixture of $\text{SiO}_2 + \text{Si}$ was used to generate SiO . The study was carried out using TiC_x samples with different composition ($0.69 < x < 1.41$). Special attention was paid to single phase states of starting reagents. It was found that main products of interaction are Ti_3SiC_2 , TiSi_2 , Ti_5Si_3 and SiC . The content of products is strongly depended on titanium carbide stoichiometry. The phase of Ti_5Si_3 is a single product forming during silicidation of titanium carbides with low carbon content ($x < 0.80$). In case of carbides which carbon content is closed to stoichiometry ($x \rightarrow 1$) the silicidation process gives rise to formation of Ti_3SiC_2 . Afterward the other silicide phases, namely Ti_5Si_3 and TiSi_2 , are forming on surfaces of Ti_3SiC_2 . Besides Ti_3SiC_2 , TiSi_2 and Ti_5Si_3 which contain titanium atoms, the SiC phase presents the products obtained from carbides with high carbon content ($x > 1$).

Key words: MAX-phases, titanium carbides, Ti_3SiC_2 , carbothermal reduction, vacuum condition

В последнее время в научном мире ведется активное изучение Ti_3SiC_2 , как типичного представителя МАХ-фаз. Такие соединения имеют слоистую кристаллическую решётку, в которой карбидные или нитридные блоки $[\text{M}_{n+1}\text{X}_n]_\infty$ разделены монослоями атомов IIIA и IVA элементов. На рис. 1 представлена структура Ti_3SiC_2 . Слоистость на уровне кристаллической структуры приводит к тому, что зёрна МАХ-фаз и, в частности, Ti_3SiC_2 имеют выраженное нанопластинчатое строение. Такое строение дает возможность локально в зоне концентрации механических напряжений деформировать зерна без макроскопического разрушения материала. Это обеспечивает материалам на основе

Ti_3SiC_2 высокие прочностные характеристики, трещиностойкость и нечувствительность к термоудару в сочетании с хорошей механической обрабатываемостью и химической стойкостью. Такое сочетание свойств является уникальным.

Ранее установлено [1], что Ti_3SiC_2 может образовываться при совместном карботермическом восстановлении оксидов титана и кремния активированным углем. Было выдвинуто предположение, что формирование Ti_3SiC_2 является результатом химического взаимодействия промежуточных продуктов: карбида титана TiC и газообразного монооксида кремния SiO . Этот процесс ранее никем не изучался и невыясненным оставался вопрос о влия-

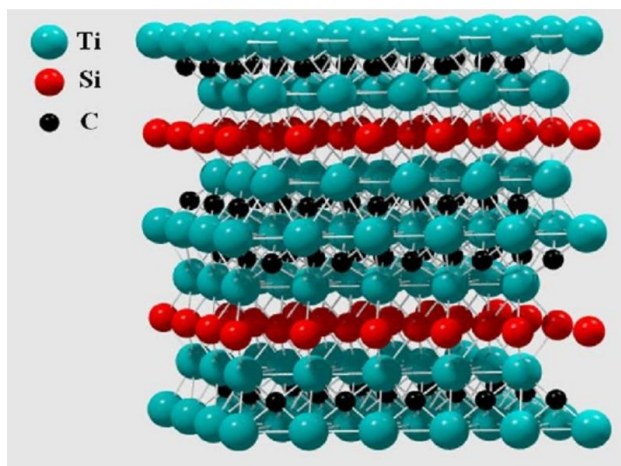


Рис. 1. Кристаллическая структура МАХ-фаз.

нии на фазообразование нестехиометрии по карбиду титана. Исходя из этого, цель данной работы состоит в изучении влияния стехиометрии карбидов на формирование фазы Ti_3SiC_2 при высокотемпературном взаимодействии с парами SiO .

Материал и методы

В качестве исходных реагентов для синтеза карбидов титана различной стехиометрии использовались порошки титана марки ТПП-7 (содержание титана не менее 99%) и активированного угля марки БАУ-А (содержание углерода в минеральной части не менее 99%). Порошки смешивались и компактировались с добавлением поливинилового спирта в качестве временной технологической связки. С целью получения однофазных образцов синтез карбидов осуществляли в несколько стадий. На первой стадии проводили термическую обработку смеси $Ti + 0.50 C$ в вакуумной электропечи при $1380^\circ C$ и давлении в вакуумной камере 10^{-3} Па в течение 3 час. Полученный продукт обозначали далее КТ50. Для синтеза карбидов различного стехиометрического состава порошки КТ50, измельченные до размера зёрен менее 90 мкм, подшихтовывали активированным углем в расчёте на получение образцов TiC_x с содержанием углерода $x = 0.67; 0.80; 0.91; 0.96; 0.99$ и с присутствием свободного углерода $x = 1.30; 1.50$. Смеси тщательно перемешивали, компактировали и обжигали в условиях вакуума при $1500^\circ C$. Полученные образцы обозначали КТ67, КТ80, КТ91, КТ96, КТ99, КТ130 и КТ150 соответственно. Процедуру измельчения, компактирования и обжига повторяли несколько раз до достижения однофазности карбидов. Однофазность образцов контролировалась после каждого цикла термообработки по виду рентгеновского дифракционного пика, отвечающего кристаллографической плоскости (422) кристаллической решётки карбида титана. На рис. 2 показаны соответствующие участки дифрактограмм образцов КТ80 после первичного, промежуточного и конечного обжигов. Характеристики полученных нестехиометрических карбидов титана представлены в табл. 1. Синтезированные образцы дробились и из них отбирались

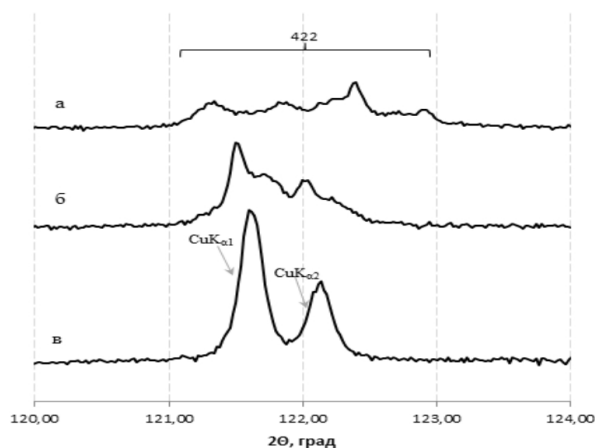


Рис. 2. Участок дифрактограмм образца КТ80, отвечающий кристаллографической плоскости (422) кристаллической решётки карбида титана: а – после первой термической обработки; б – после промежуточной; в – после конечной термообработки.

Таблица 1

Состав шихты, брутто-формула (по данным ТГА) и параметр элементарной ячейки (по данным РФА) синтезированных карбидов титана

Образец	Состав шихты	Брутто-формула по данным ТГА	Параметр ячейки по данным РФА, нм
КТ50	$Ti + 0,50C$	-	$4,301 < a < 4,318$
КТ67	$[КТ50] + 0,17C$	$TiC_{0,69}$	$4,316 \pm 0,001$
КТ80	$[КТ50] + 0,30C$	$TiC_{0,80}$	$4,322 \pm 0,001$
КТ91	$[КТ80] + 0,11C$	$TiC_{0,91}$	$4,327 \pm 0,001$
КТ96	$[КТ80] + 0,16C$	$TiC_{0,94}$	$4,328 \pm 0,001$
КТ99	$[КТ80] + 0,19C$	$TiC_{0,96}$	$4,328 \pm 0,001$
КТ130	$[КТ80] + 0,50C$	$TiC_{1,21}$	$4,327 \pm 0,001$
КТ150	$[КТ96] + 0,56C$	$TiC_{1,41}$	$4,327 \pm 0,001$

кусочки изометрической формы размером 1 – 2 мм для экспериментов по силицированию.

Для создания газовой атмосферы SiO использовалась компактированная реакционная смесь $Si + SiO_2$. Согласно экспериментальным данным, приведённым в работе [2], реакционная пара $Si - SiO_2$ является эффективным источником паров SiO с практически полным отсутствием других компонентов в газовой фазе. Температурная зависимость парциального давления SiO над системой $Si - SiO_2$ описывается уравнением:

$$\lg P_{SiO} = 13,613 - 17850/T, [Па] \quad (1270 K < T < 1600 K) \quad [2].$$

Согласно этим данным, при $1350^\circ C$ парциальное давление SiO над системой $Si - SiO_2$ составляет примерно 400 Па.

Эксперименты по силицированию карбидов титана проводили в условиях динамического вакуума при остаточном давлении в вакуумной камере $10^{-3} \div 10^{-2}$ Па. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 3. Образец карбида ти-

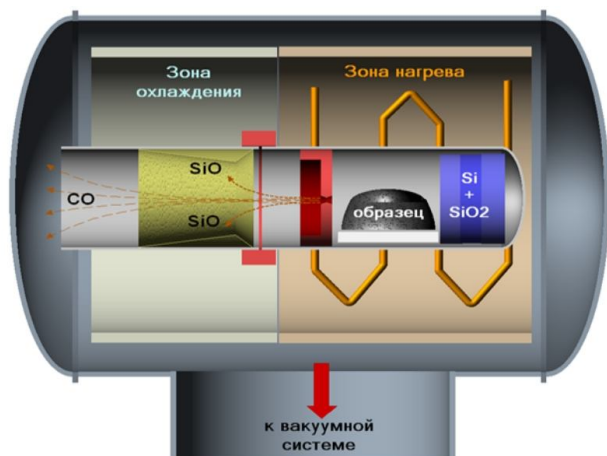


Рис. 3. Схема экспериментальной установки.

титана помещался вместе с реакционным источником паров SiO в аундовую трубу с глухим концом. Второй конец трубы прикрывался керамической заглушкой с эффузионным отверстием диаметром 1 мм для создания в зоне реакции квазизамкнутого объема. После заглушки газообразные продукты по аундовой трубе проходили через зону охлаждения и далее откачивались вакуумной системой. В зоне охлаждения пары SiO конденсировались на стенках трубы. Режим термообработки включал в себя: нагрев со скоростью 500 °C/час; изотермическую выдержку при 1350 °C; охлаждение со скоростью 1000 °C/час до температуры 700 °C и далее свободное охлаждение с выключенной печью. Масса загрузки карбида титана составляла 0,48–0,50 г. Количество реакционной смеси Si + SiO₂ зависело от продолжительности силицирования и подбиралось таким образом, чтобы на образование SiO расходовалось 30 – 50 % от исходной загрузки. Во всех экспериментах контролировалось изменение массы образцов до и после термической обработки.

Синтезированные карбиды титана и продукты силицирования исследовали методом рентгенофазового анализа на дифрактометре SHIMADZU XRD 6000 (CuK α -излучение, Ni-фильтр). Количественное содержание кристаллических фаз оценивали по дифракционным данным с помощью программы Powder Cell 2.4 [3]. Параметр решетки карбидов титана рассчитывали по рефлексу (422) с использованием рефлекса (620) для кремния в качестве внутреннего стандарта. Элементное содержание кремния и титана в продуктах силицирования определялось методом рентгенофлуоресцентного анализа на энергодисперсионном спектрометре NoriBaMESA 500. Количественно степень силицирования (S) оценивалась как атомное отношение кремния к титану в продуктах $S = \text{Si/Ti}$, [ат.%/ат.%]. Термогравиметрический анализ образцов карбида титана проводили на приборе NETZSCHSTA 409 PS/PG. Силицированные продукты исследовали на автоэмиссионном сканирующем электронном микроскопе «Ultra 55» с энергодисперсионным микроанализатором INCA. Характеристики продуктов силицирования представлены в табл. 2.

Таблица 2

Данные весового, рентгенофазового и рентгенофлуоресцентного анализа для силицированных образцов карбида титана

Исходный карбид титана	Время силицирования, мин	Прибавка массы Δm , %	Брутто-формула (по весовому анализу)	Молярное отношение Si/Ti, моль/моль	Фазовый состав (по данным РФА), об. %				
					TiC	Ti ₅ Si ₃	Ti ₃ SiC ₂	TiSi ₂	SiC
КТ67	30	-	-	-	71	29	-	-	-
	60	12,0	TiSi _{0.42} C _{0.27}	0,33	54	46	-	-	-
	240	-	-	-	44	56	-	-	-
КТ80	60	12,5	TiSi _{0.45} C _{0.35}	0,50	31	67	2	-	-
КТ91	60	11,7	TiSi _{0.49} C _{0.42}	0,55	20	70	10	-	-
КТ96	60	13,3	TiSi _{0.49} C _{0.45}	0,62	20	55	12	12	-
КТ99	15	4,7	TiSi _{0.17} C _{0.78}	-	65	-	35	-	-
	30	6,3	TiSi _{0.23} C _{0.72}	0,26	47	-	47	6	-
	60	13,0	TiSi _{0.48} C _{0.47}	0,38	47	12	30	11	-
	120	15,5	TiSi _{0.58} C _{0.38}	0,50	43	22	13	22	-
	240	20,5	TiSi _{0.76} C _{0.2}	0,65	40	25	5	30	-
КТ130	15	7,4	TiSi _{0.29} C _{0.92}	-	30	-	38	11	21
	30	9,7	TiSi _{0.38} C _{0.83}	-	24	13	30	26	7
	60	14,6	TiSi _{0.57} C _{0.64}	-	24	26	9	38	2
	120	19,3	TiSi _{0.75} C _{0.46}	-	19	30	1	50	-
КТ150	0,25	6,3	TiSi _{0.26} C _{1.15}	-	88	-	12	-	-
	15	11,7	TiSi _{0.48} C _{0.93}	-	31	-	41	11	17
	60	17,4	TiSi _{0.71} C _{0.70}	-	30	-	11	46	13

Результаты и обсуждение

Полученные результаты указывают на протекание процессов силицирования при высокотемпературной обработке карбидов титана парами SiO. Присутствие кремния в образцах подтверждается данными рентгенофлуоресцентного анализа. Для всех образцов при увеличении времени обработки наблюдается увеличение степени силицирования. Так, для образца КТ99 с содержанием углерода $x = 0.96$, степень силицирования уже после 30 мин термической обработки составляет 0.26, а после 240 мин величина S достигает значения 0.65. Для других нестехиометрических карбидов степень силицирования также имеет высокие значения. В частности, при продолжительности термической обработки 60 мин степень силицирования изменяется от

$S = 0.33$ для образца КТ67 ($x = 0.69$) до $S = 0.62$ – для образца КТ96 ($x = 0.94$).

По данным рентгенофазового анализа (РФА) в продуктах силицирования обнаружены только бескислородные кристаллические фазы: Ti_3SiC_2 , Ti_5Si_3 , $TiSi_2$ и SiC . На рис. 4 представлены гистограммы фазового состава продуктов обработки карбидов титана различной стехиометрии (время обработки 60 мин), рассчитанные по данным РФА. Для образцов с низким содержанием углерода ($x < 0.8$) единственным продуктом силицирования является Ti_5Si_3 . Для карбидов титана с содержанием углерода близким к стехиометрическому ($x \rightarrow 1$), силицирование приводит к образованию Ti_3SiC_2 , на поверхности которого затем начинают формироваться другие силицидные фазы: Ti_5Si_3 и $TiSi_2$. Для образцов с высоким содержанием углерода ($x > 1$) в продуктах силицирования наряду с титансодержащими фазами Ti_3SiC_2 , $TiSi_2$ и Ti_5Si_3 присутствует фаза SiC .

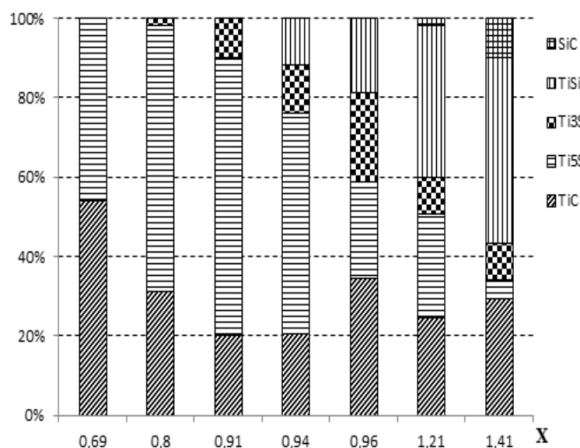


Рис. 4. Фазовый состав продуктов силицирования TiC_x различной стехиометрии при 60 мин обработке, рассчитанный по данным РФА.

При силицировании образцов с высоким содержанием углерода ($x > 1.2$) первым продуктом силицирования по данным РФА является Ti_3SiC_2 . Уже в первые 15 сек. образуется 12 об.% фазы Ti_5Si_3 . Гистограммы фазового состава продуктов силицирования образца КТ150, рассчитанные по данным РФА, представлены на рис. 5. Дальнейшее силицирование данного образца приводит к тому, что доминантной фазой становится $TiSi_2$, как фаза с наибольшим содержанием кремния, причем ее увеличение наблюдается не только за счет сокращения фазы TiC , но и за счет уменьшения Ti_3SiC_2 . При силицировании образцов с низким содержанием углерода ($x < 0.8$) первым и единственным продуктом силицирования является Ti_3SiC_2 . Гистограммы фазового состава продуктов силицирования образца КТ67 ($x = 0.69$), рассчитанные по данным РФА представлены на рис. 6.

Различия в фазовом составе продуктов силицирования карбидов проявляются также на уровне микроструктуры. Так, на микрофотографии образца КТ80, силицированного в течение 60 мин, (рис. 7 а) поверхность представлена зернами изометрической формы со средним размером ~ 2 мкм,

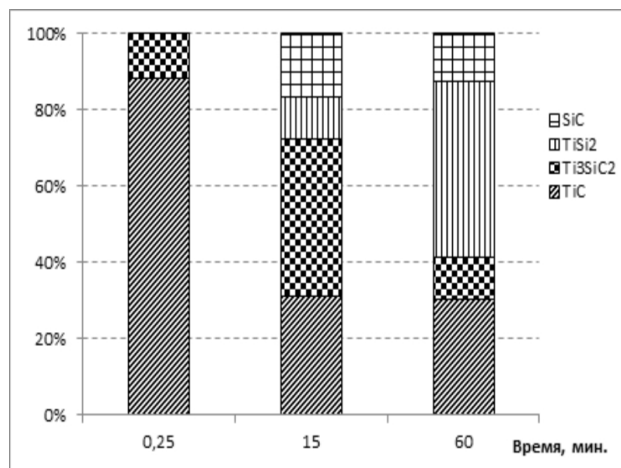


Рис. 5. Фазовый состав продуктов силицирования образца КТ150, рассчитанный по данным РФА.

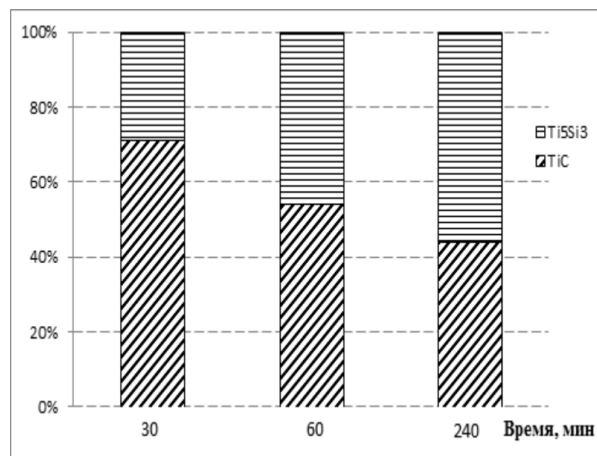


Рис. 6. Фазовый состав продуктов силицирования образца КТ67, рассчитанный по данным РФА.

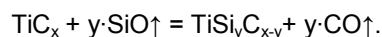
плотно спечёнными друг с другом. Элементный состав зёрен по данным энергодисперсионного микроанализа соответствует фазе Ti_5Si_3 (спектры 1 – 3 в табл. 3). Это согласуется с данными РФА, который также идентифицирует Ti_5Si_3 как основной продукт силицирования КТ80. Микрофотография образца КТ99 после обработки в парах SiO в течение 30 мин представлена на рис. 7 б. Для этого образца методом РФА выявлено присутствие слоистой фазы Ti_3SiC_2 и малых количеств $TiSi_2$. На микрофотографии можно наблюдать области, составленные из зёрен со слоистым строением, которые по данным микроанализа соответствуют Ti_3SiC_2 (спектры 5 и 7 в табл. 3). Характерно, что слои преимущественно ориентированы вглубь образца, что, по-видимому, обусловлено спецификой роста зёрен Ti_3SiC_2 . Остальная часть образца покрыта силицидным слоем, в котором по данным микроанализа содержание кремния составляет около 50 ат.%. При увеличении времени силицирования до 60 мин вся поверхность образца КТ99 покрыта плотным слоем кремнийсодержащих фаз (рис. 7 в). Энергодисперсионный микроанализ показал, что поверхностный слой соответствует фазе $TiSi_2$ (спектры 8 –

Таблица 3

**Нормированный локальный элементный состав
продуктов силицирования по данным
энергодисперсионного микроанализа**

Образец	Точка	C, % ат.	Si, % ат.	Ti, % ат.
КТ80 время силицирования 60 мин	Спектр 1	-	32	68
	Спектр 2	-	40	60
	Спектр 3	-	20	80
КТ99, время силицирования 30 мин	Спектр 4	-	52	48
	Спектр 5	29	16	55
	Спектр 6	-	51	49
	Спектр 7	38	13	49
КТ99, время силицирования 60 мин	Спектр 8	-	67	33
	Спектр 9	-	66	34
	Спектр 10	-	67	33
	Спектр 11	-	62	38

Наиболее вероятным газообразным продуктом, образующимся в результате гетерофазного взаимодействия между карбидом титана и SiO в условиях высокого вакуума, по-видимому, является CO. Процесс силицирования должен включать хемадсорбцию SiO, обменную реакцию на поверхности образца, десорбцию CO, а также процессы диффузии кремния и углерода вглубь образца и к его поверхности, соответственно. В общем виде силицирование может быть описано суммарной реакцией:



Брутто-составы образцов, рассчитанные по прибавке массы в соответствии с приведённой реакцией, представлены в табл. 2. Эти данные хорошо согласуются с результатами рентгенофлуоресцентного и рентгенофазового анализов продуктов силицирования, что свидетельствует в пользу обменного характера взаимодействия между карбидом титана и SiO. Однако для более детального выяснения механизма силицирования требуется специальное исследование, предполагающее проведение прецизионных кинетических экспериментов в условиях высоких температур и регулируемого состава газовой фазы.

Литература

1. Истомин П.В., Надуткин А.В., Рябков Ю.И., Голдин Б.А. Восстановительный твердофазный синтез карбосилицида титана Ti_3SiC_2 // Неорганические материалы. 1997. Т. 33. №6. С. 691-693.
2. Казенас Е.К., Цветков Ю.В. Испарение оксидов. М.: Наука, 1997. 543 с.
3. Kraus W., Nolze G. Powder Cell – A Program for the Representation and Manipulation of Crystal Structures and Calculation of the X-ray Powder Patterns // J. Appl. Cryst. 1996. Vol. 29. P. 301.

Статья поступила в редакцию 01.07.2011.

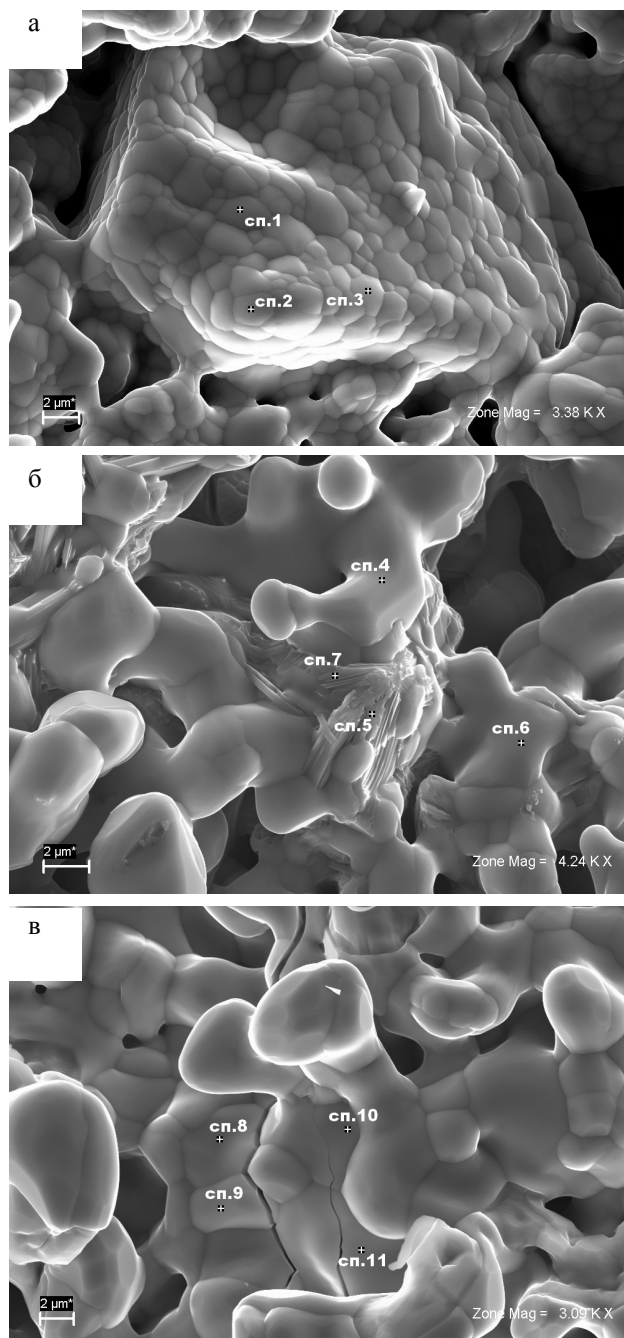


Рис. 7. Микрофотографии зерен продуктов силицирования образцов: а - КТ80 – время обработки 60 мин.; б - КТ99 – время обработки 30 мин; в - КТ99 – время обработки 60 мин.

11 в табл. 3). Очевидно, что на поверхности, находящейся в контакте с газообразным силицирующим агентом SiO, должна концентрироваться фаза с самым высоким содержанием кремния, т.е. TiSi_2 . При продолжительности силицирования 60 мин образуется достаточное количество TiSi_2 , чтобы покрыть всю поверхность образца. Соответственно, другие продукты силицирования (Ti_3SiC_2 и Ti_5Si_3), присутствие которых выявлено методом РФА, находятся под слоем TiSi_2 и не обнаруживаются электронной микроскопией.

УДК 549.641.23

СИНТЕЗ ТИТАНАТОВ СО СТРУКТУРОЙ ИЛЬМЕНИТА**Б.А. ГОЛДИН, Ю.И. РЯБКОВ, П.А. СИТНИКОВ, Л.Ю. НАЗАРОВА,
Е.В. ЦВЕТКОВА***Институт химии Коми НЦ УрО РАН, г.Сыктывкар
ryabkov-yi@chemi.komisc.ru*

Впервые синтезированы разбавленные твердые растворы титанатов кобальта и никеля, содержащих атомы железа и магния. Разработан способ получения марганецсодержащих титанатов (MnTiO_3) со структурой ильменита на основе цитратных комплексов. Изучение природных и синтетических соединений со структурой ильменита позволит расширить области применения титанооксидных материалов и стимулировать развитие технологий переработки титановых месторождений.

Ключевые слова: химический синтез, титанат кобальта, титанат никеля, титанат марганца, ильменит

B.A. GOLDIN, Yu.I. RYABKOV, P.A. SITNIKOV, L.Yu. NAZAROVA, E.V. TSVETKOVA. SYNTHESIS OF TITANATES WITH ILMENITE STRUCTURE

For the first time solid solutions of titanates of cobalt and nickel containing iron and magnesium atoms are synthesized. The way of synthesis of Mn-containing titanates (MnTiO_3) with ilmenite structure on the basis of citrate complexes is developed. Studying of ilmenites and compounds with ilmenite structure gives possibilities for development of technology for processing and development of titanic deposits.

Key words: chemical synthesis, cobalt titanate, nickel titanate, manganese titanate, ilmenite

Титанаты железа уже многие годы интересуют специалистов-материаловедов химиков, физиков, металлургов [1-3]. Развитие и широкое применение микроволновой техники вызвало необходимость в создании нового вида керамических композиционных материалов, проявляющих радиопоглощающие или радиопрозрачные свойства. Заметное поглощение СВЧ излучения достигается при использовании ферритов с гексагональной структурой, в которых наблюдаются большие магнитные потери [4]. В этих материалах за один акт отражения может быть поглощено до 50% энергии электромагнитной волны.

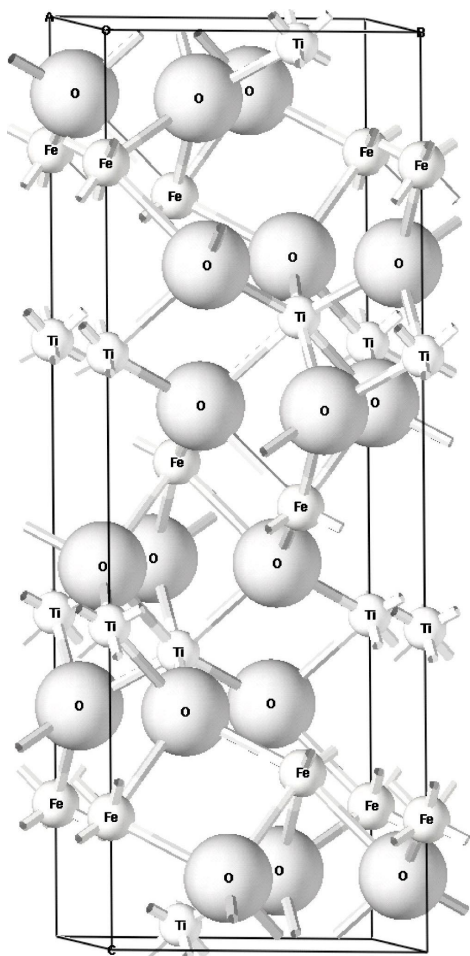
В последние годы наблюдается повышенный интерес к изучению физико-химических свойств ильменита и соединений с ильменитоподобной структурой. Это связано, с одной стороны, с распространением природных ильменитов – важного сырья для получения титана и титановых материалов, с другой стороны – с особенностями формирования магнитных подрешеток в ильменитоподобной структуре и возможностью регулировать магнитные характеристики материалов на основе ильменитов путем варьирования химического состава синтетических ильменитоподобных соединений. Например, считается перспективным использование подобных соединений в качестве основы в производстве материалов для радиационно-устойчивых магнитоэлектронных и спинтронных уст-

ройств [5]. В чистом виде при обычной температуре ильменит немагнитен, что имеет важное значение при его промышленном извлечении. Кристаллы, содержащие более 25 % Fe_2O_3 в виде [твердого раствора](#), магнитны [6]. В настоящее время разрабатываются новые технологии переработки и извлечения полезных ископаемых на основе направленного изменения их физико-химических свойств, для чего применяется термическая обработка руды, воздействие различных физических полей – электромагнитных, радиационных (или их комбинации) [7]. В наших работах предложены подходы к разработке физико-химических основ технологии получения из природного минерального сырья керамических материалов с заданным уровнем механических, электро-, радиофизических и других свойств, включая выбор условий синтеза (давление, температура, состав среды) фаз с заданным составом и структурой [8].

Ильменит кристаллизуется в тригональной сингонии (ромбоэдрический вид симметрии), пространственная группа $R\bar{3}c$ (ICSD №161) (рис. 1) [9].

Кристаллическая структура аналогична корундовой с той лишь разницей, что позиции алюминия через слой поочередно (упорядоченно) занимают атомы двухвалентного железа и четырехвалентного титана [10].

Для ильменита и соединений с подобной структурой характерно распределение катионов обоих типов в октаэдрических пустотах кислородной подрешетки (рис.2). Толерантность данной структу-

Рис.1. Структура ильменита FeTiO_3 .

ры к замещению атомов железа (II) и титана (IV) на атомы с близкими радиусами (Mg^{2+} , 3d-элементы в низких степенях окисления) создает широкие возможности для формирования подрешеток с заданным магнитным упорядочением, которые, в свою очередь, определяют взаимодействие вещества с электромагнитным излучением. Для природных ильменитов обнаружены эффекты взаимодействия с электромагнитным излучением (ЭМИ) (поглощение радиоволн, изменение магнитных характеристик ильменитовых руд и др.), проявление которых в зависимости от химического состава ильменитоподобных соединений не изучено. Поэтому экспериментальные исследования по синтезу ильменитоподобных фаз, твердых растворов титанатов магнитных атомов (никеля, железа, кобальта) и немагнитных, например, магния, в том числе, с использованием минерального сырья актуальны.

В Институте химии в рамках исследования процессов синтеза и свойств железо-титаноксидных соединений также изучены продукты переработки ильменита двух месторождений: Ильменского заповедника и Кусинского месторождения. Исследуемые образцы ильменита FeTiO_3 Ильменского заповедника (представительный обр.851, табл.1) сложены зернистыми или лейстовидно-удлиненными выделениями, которые обычно имеют неправильную форму и слоистую текстуру размером до 2 см.

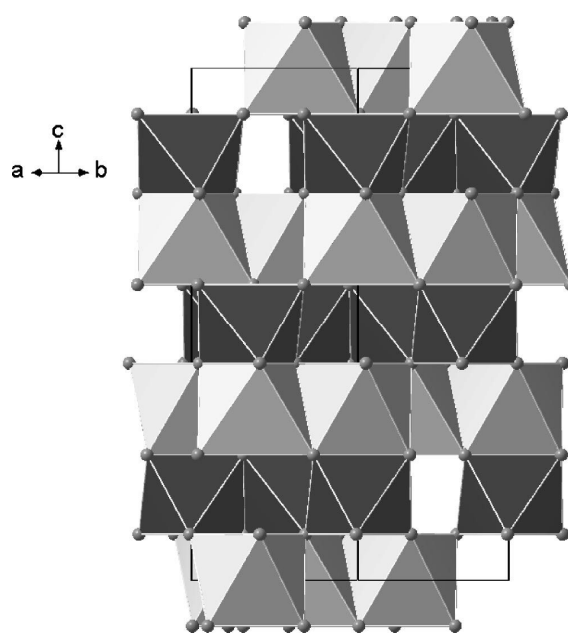


Рис.2. Октаэдры в структуре ильменита:

▲ - FeO_6 (светлые);
 ▼ - TiO_6 (темные)

Образцы магнетит-ильменитовой руды Кусинского месторождения (представительный обр.858, табл.1) взяты из северо-восточной части Кусинского месторождения из серии сближенных пластообразных залежей.

Таблица 1

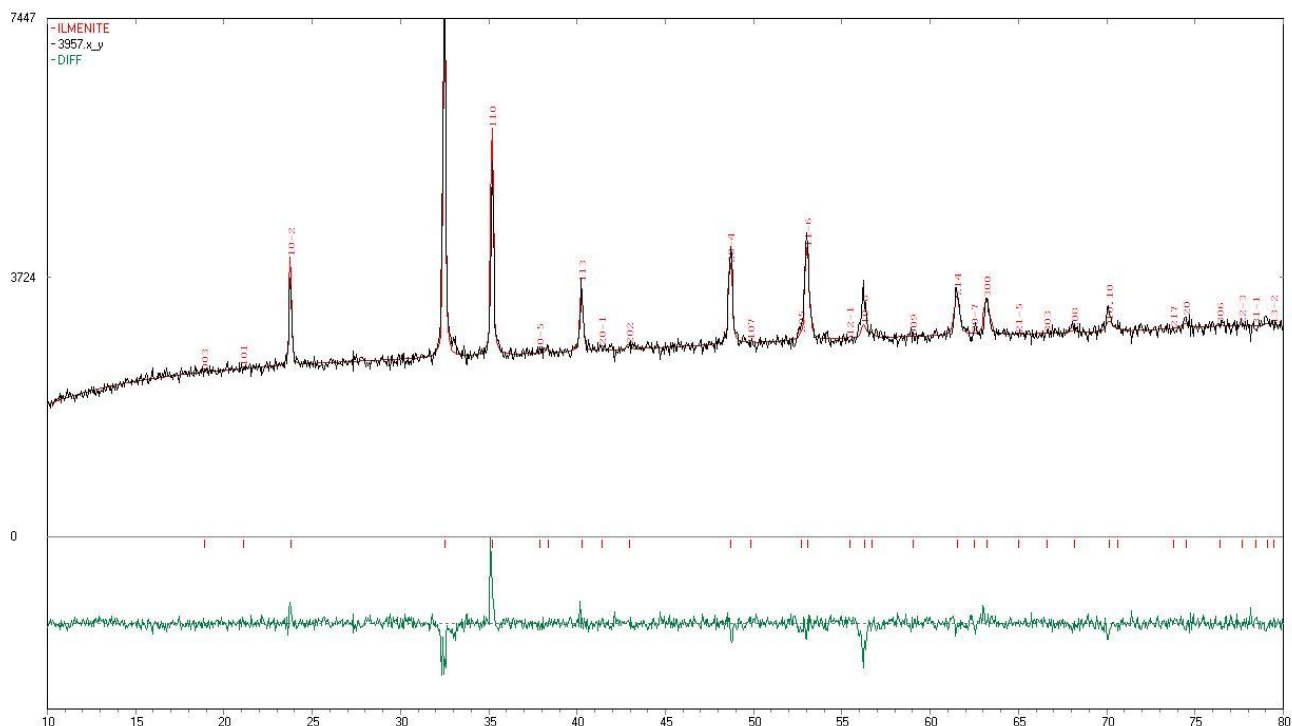
*Химический состав ильменитсодержащих образцов (по данным рентгено-флуоресцентного анализа)**

№ образца	$\Sigma \text{FeO} / \text{Fe}_2\text{O}_3$	TiO_2	MnO	SiO_2	Al_2O_3	MgO
851	47.16	44.62	4.60	1.75	0.99	-
858	70.02	14.89	0.27	3.17	7.5	2.40

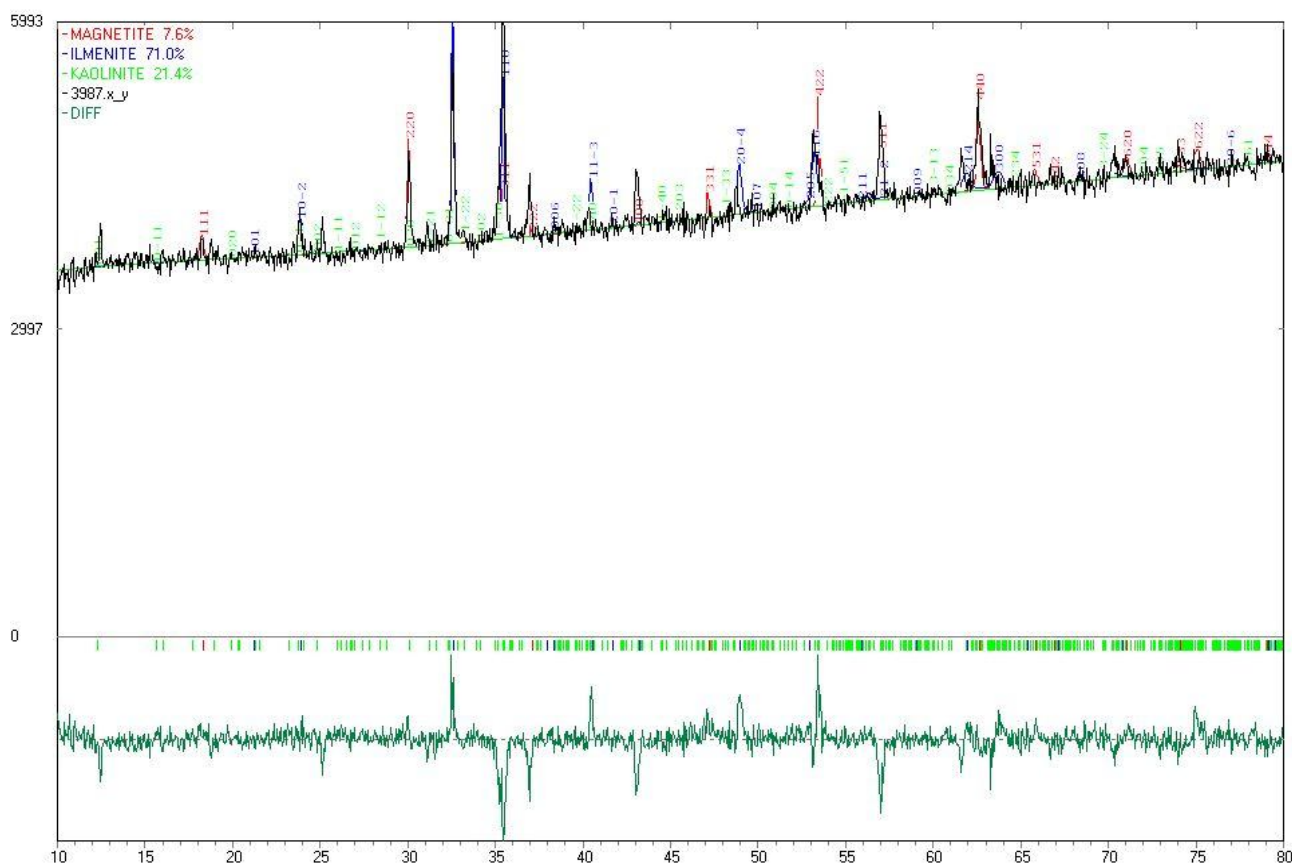
* Аналитик С.Т.Неверов, лаборатория химии минерального сырья, ИГ Коми НЦ УрО РАН.

По данным рентгенофазового анализа (Shimadzu XRD-6000), в образце 851 (рис.3а) наблюдается только ильменит, в образце 858 (рис.3б) ильменит FeTiO_3 является основным компонентом (~71%), присутствуют также магнетит Fe_3O_4 (~7.6%) и в достаточном количестве каолинит $\text{Al}_2[\text{OH}]_4\{\text{Si}_2\text{O}_5\}$ (~21.4%).

В работе изучены факторы, влияющие на электрические свойства и поглощение СВЧ электромагнитного излучения материалами на основе



а) образец 851
Критерии достоверности модели: $R_p=1.96$, $R_{wp}=2.88$, $R_{exp}=1.89$.



б) образец 858
Критерии достоверности модели: $R_p=1.90$, $R_{wp}=2.95$, $R_{exp}=1.55$.

Рис.3. Экспериментальная и теоретическая дифрактограммы исследуемых образцов природного ильменита.

сложных и смешанных оксидов титана и железа. Для исследованных образцов показано, что с уменьшением параметра $Z = \text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ – соотношения между атомами железа различной валентности – намагнитченность увеличивается с $1 \text{ Ам}^2/\text{г}$ (для чистого ильменита) до $48 \text{ Ам}^2/\text{г}$ (для ильменит-магнетитовой композиции). При этом наблюдается уменьшение коэффициента поглощения ($K_{\text{полл}}$) ЭМИ СВЧ-диапазона ($8 - 17 \text{ ГГц}$) (табл.2).

Таблица 2

Фазовый состав и данные СВЧ измерений исследуемых Fe-Ti-оксидных композиций

№ обр.	Фазовый состав	Кристаллохимическая формула	$K_{\text{полл}} \pm 5$
851	Ильменит ~100%	$(\text{Fe}^{2+}_{0.88}\text{Mn}_{0.12})$ $(\text{Fe}^{3+}_{0.14}\text{Ti}_{0.79}\text{Si}_{0.05}\text{Al}_{0.02})\text{O}_3$	50
858	Ильменит~71% Магнетит~7.6% Каолинит~21.4%	$(\text{Fe}^{2+}_{0.83}\text{Mg}_{0.16}\text{Mn}_{0.008})$ $(\text{Fe}^{3+}_{0.48}\text{Al}_{0.15}\text{Ti}_{0.29}\text{Si}_{0.08})\text{O}_3$	40

Различная степень поглощения ЭМИ керамическими образцами, содержащими фазы ильменита, установленная взаимосвязь электрических свойств и радиопоглощающей способности образцов железо-титаноксидных материалов могут быть использованы для проектирования магнитных и электротехнических материалов с заданными электрофизическими свойствами.

Синтез ильменита состава FeTiO_3 возможен из смеси оксидов железа (II) FeO и титана (IV) TiO_2 , которые спекают при температуре 1200°C в вакуумной печи. Если же предварительно нагревать смесь этих оксидов на воздухе при 300°C , то в результате образуется псевдобрукит Fe_2TiO_5 . Обжиг псевдобрукита в восстановительной атмосфере приводит к формированию сложного оксида титаната железа (II) с ильменитоподобной структурой. Другие вещества, имеющие ильменитоподобную структуру, такие как MgTiO_3 , NiTiO_3 , CoTiO_3 , MnTiO_3 , получают путем нагревания соответствующих оксидов на воздухе при 1200°C [11].

В нашей работе проведен синтез твердых растворов титанатов кобальта, марганца, никеля со структурой ильменита, содержащих атомы железа и магния. Для интенсификации процессов фазообразования были использованы прекурсоры: гидроксиды, нитраты, цитраты, карбонаты, которые на промежуточных стадиях синтеза образуют высокоактивные оксидные реагенты, что приводит к снижению температуры синтеза и формированию мелкодисперсной структуры керамических продуктов. Таким образом, схема эксперимента включает следующие стадии: синтез гидроксидов никеля $\text{Ni}(\text{OH})_2$, железа $(\text{Fe}(\text{OH})_2 \text{ и } \text{Fe}(\text{OH})_3)$ и магния $\text{Mg}(\text{OH})_2$; получение раствора цитрата марганца $(\text{C}_3\text{H}_5(\text{O}(\text{COO}))_x\text{Mn}_y)$; синтез оксида кобальта Co_3O_4 ; синтез титанатов никеля (II) NiTiO_3 , кобальта (II) CoTiO_3 и марганца (II) MnTiO_3 с ильменитоподобной структурой и синтез твердых растворов изоморфного замещения, в которых произведено частичное (до 20%) замещение атомов Ni, Co и Mn на атомы Mg и Fe.

Термообработка проводилась на воздухе при температурах от $950 - 1100^\circ\text{C}$ в течение 1-4 ч, или в условиях вакуума при температуре $1100-1200^\circ\text{C}$ в течение 2-3 ч. Впервые применен "метод Печини" для синтеза титаната никеля NiTiO_3 и твердых растворов на его основе $\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{TiO}_3$, $\text{Mg}_{0.1}\text{Ni}_{0.7}\text{Fe}_{0.2}\text{TiO}_3$ со структурой ильменита. Особенности этого метода (образование высокоактивных оксидов никеля и железа на промежуточных стадиях синтеза) обеспечивают снижение температуры синтеза на 150°C по сравнению с литературными данными [11, 12].

Как показали данные рентгеновской порошковой дифрактометрии (Shimadzu XRD-6000), при указанных выше условиях термической обработки получены образцы со структурой ильменита. При этом использование свежеприготовленных гидроксидов позволяет снижать время синтеза до 2 ч и в итоге получить 100%-ный выход фазы со структурой ильменита. Полнопрофильный анализ рентгенодифракционных картин проводился с помощью программы POWDER CELL v. 2.4 [13] и базы данных ICSD [14]. Вид дифрактограммы свидетельствует о том, что эти образцы имеют неискаженную структуру ильменита. Параметры кристаллической решетки синтезированных образцов (рис.4 а,б,в) близки к параметру элементарной ячейки ильменита (табл.3).

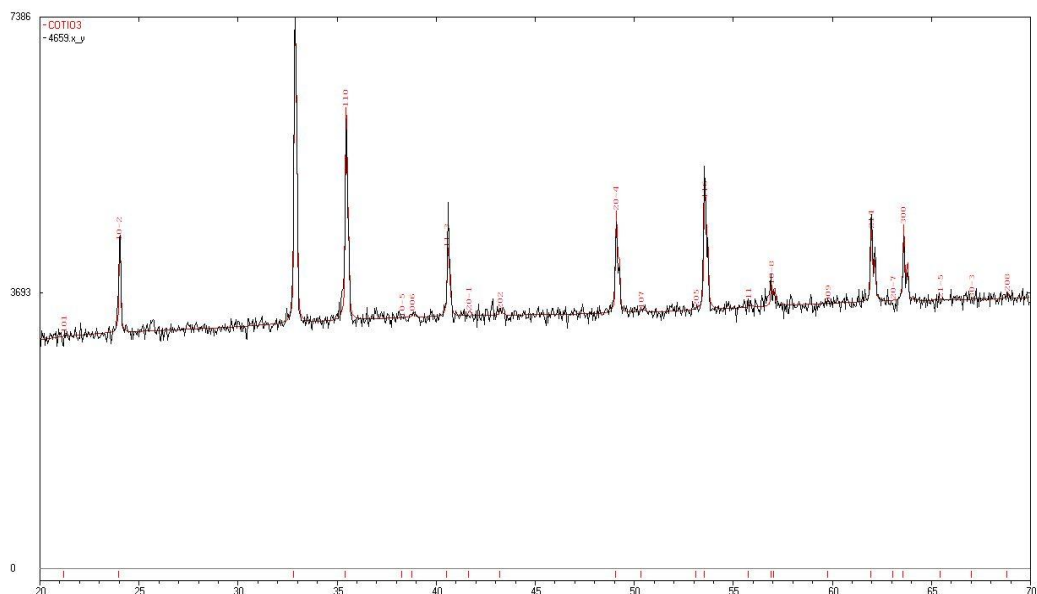
Таблица 3

Параметры элементарной ячейки титанатов со структурой ильменита

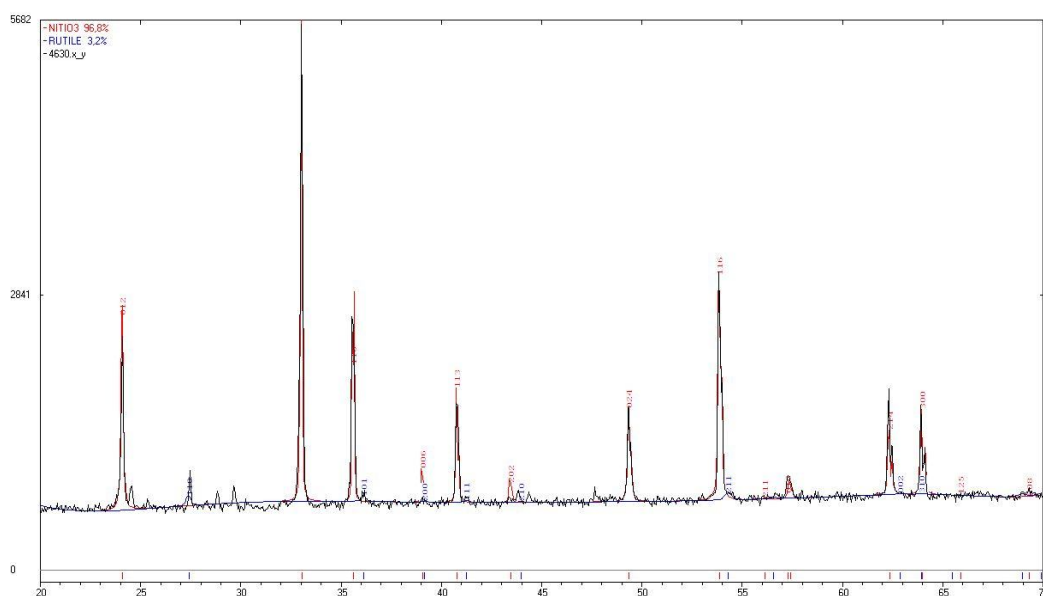
Соединение	a, Å [15]	a, Å (эксперим.)	c, Å [15]	c, Å (эксперим.)
CoTiO_3	5.066	5.0679	13.918	13.9188
MnTiO_3	5.1370	5.1295	14.2830	14.2693
NiTiO_3	5.0274	5.0372	13.783	13.8253
FeTiO_3	5.082	-	14.026	-
$\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{TiO}_3$	5.0274	5.0501	13.783	13.8253
$\text{Mg}_{0.1}\text{Ni}_{0.7}\text{Fe}_{0.2}\text{TiO}_3$	5.0274	5.0401	13.783	13.7703
$\text{Co}_{0.83}\text{Fe}_{0.11}\text{Mg}_{0.10}\text{Ti}_{0.98}\text{O}_3$	5.066	5.0653	13.918	13.9057
$\text{Co}_{0.80}\text{Fe}_{0.22}\text{Ti}_{0.99}\text{O}_3$	5.066	5.0653	13.918	13.9333
$\text{Mn}_{0.99}\text{Fe}_{0.01}\text{TiO}_3$	5.1370	5.1312	14.2830	14.2366
$\text{Mn}_{0.98}\text{Fe}_{0.02}\text{TiO}_3$	5.1370	5.1362	14.2830	14.1799

В результате изоморфного замещения в решетке ATiO_3 А-атомов на атомы магния значения параметра элементарной ячейки «а» существенно не меняются. Это указывает на то, что использование цитратных комплексов в качестве прекурсоров позволяет снизить температуру и время синтеза марганецсодержащих титанатов, при этом полностью формируется структура ильменита (MnTiO_3 , $\text{Mn}_{0.98}\text{Fe}_{0.02}\text{TiO}_3$, $\text{Mn}_{0.99}\text{Fe}_{0.01}\text{TiO}_3$).

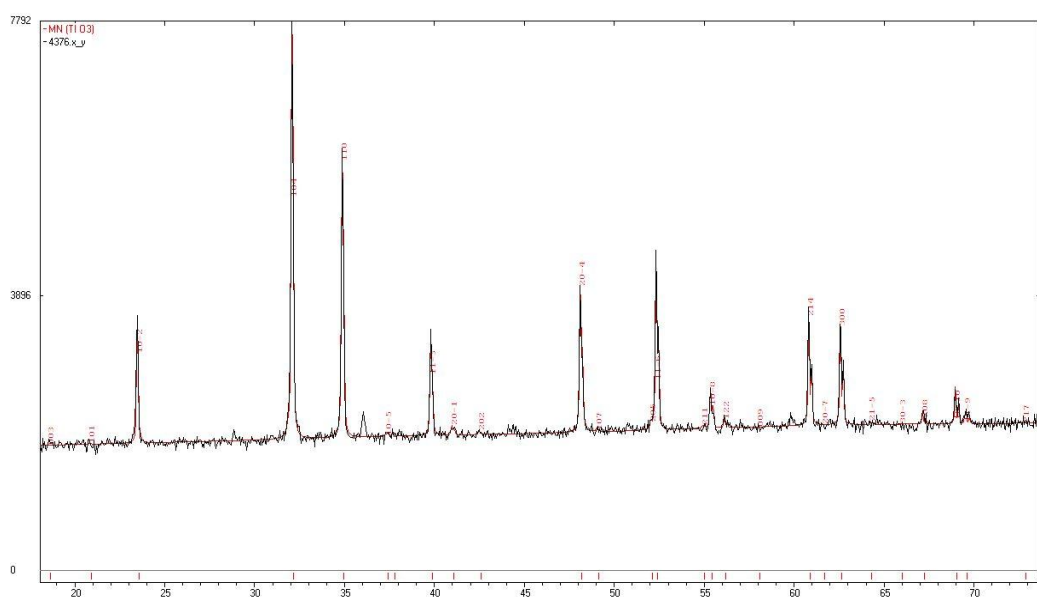
Контроль химического состава исследуемых образцов (табл.4) проводили с использованием метода рентгенофлуоресцентной спектроскопии (Horiba MESA-500W, аналитик С.Т. Неверов, лаборатория химии минерального сырья, Институт геологии Коми НЦ УрО РАН).



а) 100% CoTiO_3



б) 97% NiTiO_3
3% TiO_2



в) 100% MnTiO_3

Рис.4. Порошковые дифрактограммы некоторых синтезированных образцов.

Таблица 4

**Заданный и фактический химический состав
исследованных титанатов
и их твердых растворов**

Состав заданный (вакуум, 1200°C, 2 ч)	Содержание компонентов в пересчете на оксиды, %				Состав, рассчитанный по результатам химанализа
	TiO ₂	ΣFeO/Fe ₂ O ₃	CoO	NiO	
Fe _{0.1} Co _{0.9} TiO ₃	53.0	4.5	42.5	-	Fe _{0.1} Co _{0.9} TiO ₃
Fe _{0.4} Ni _{0.6} TiO ₃	58.7	13.6	-	27.7	Fe _{0.4} Ni _{0.6} TiO ₃

Таким образом, по керамической методике впервые были синтезированы твердые растворы на основе титанатов марганца, кобальта, никеля $A_{(1-x-y)}Fe_xMg_yTiO_3$ ($A=Co, Ni, Mn, x=0\div0.2, y=0\div0.2$) с ильменитоподобной структурой с использованием прекурсоров – гидроксидов и/или нитратов, цитратов (для Mn) соответствующих металлов.

Выполненные исследования являются первым шагом к разработке новых электротехнических материалов на основе ильменитов. В рамках проблемы создания СВЧ-активных сред на основе пространственных и технологически освоенных оксидных материалов, изучение ильменитов и ильменитоподобных соединений также перспективно для развития высоких технологий переработки и освоения титановых месторождений.

Литература

1. *G.Eriksson, A.D.Pelton, E.Woermann, A.Ender.* Measurement and thermodynamic evaluation of phase equilibria in the Fe-Ti-O system // *Berich. Bunsen. Gesell.* 1996.V. 100. P. 1839–1849; *Pesl J., Eriz R. H.* High-temperature phase relations and thermodynamics in the iron-titanium-oxygen system // *Metall. Mater. Trans. B.* 1999. Vol. 30B. № 8. P. 695–705.
2. *Gupta S. K., Rajakumar V., Grieveson P.* Phase transformations during heating of ilmenite concentrates // *Metall. Mater. Trans. B.* 1991. Vol. 22B. № 10. P. 711–716.
3. *Pistorius P. C., Coetzee C.* Physicochemical aspects of titanium slag production and solidification // *Metall. Mater. Trans. B.* 2003. Vol. 34B. № 10. P. 581–588.
4. *Справочник по электротехническим материалам.* В 3-х тт. / Под ред. Ю.В.Корицкого и др. Т.3. Изд.2-е. Л.:Энергия, 1976. 896 с.
5. *Pandey R. K., Stern H., Geerts W. J., Padmini P., Kale P., Dou J., Schad R.* Room temperature magnetic-semiconductors in modified iron titanates: their properties and potential micro-electronic devices // *Adv. Sci. Techn.* 2008. Vol. 54. P. 216–222.
6. *Рамдор П.* Рудные минералы и их сростания / Пер. с нем. под ред. А. Г. Бетехтина. М.: Издательство иностранной литературы, 1962. С. 932–949.
7. *Котова О.Б.* Технологическая минералогия – основа комплексного использования сырьевого потенциала Европейского Северо-Востока // *Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН.* 2010. №9. С.36–38.
8. *Голдин Б.А., Рябков Ю.И., Истомин П.В.* Петрогенетика порошков, керамики, композитов. Сыктывкар, 2006. 276 с.
9. *Structure and properties of ilmenite from first principles/ N.C.Wilson, J.Muscat, D.Mkhonto, P.E.Ngoepe and N.M.Harrison.* PHYSICAL REVIEW B 71, 075202 (2005).
10. *Игнатьев В.Д., Бурцев И.Н.* Лейкоксен Тимана: Минералогия и проблемы технологии. СПб.:Наука, 1997. 215 с.
11. *Лошкарев Б.А., Юдин И.А., Михайлова Н.А.* Синтез ильменита / Труды совещания «Минералы, минералогия и кристаллография. М., 1971. С.208–211.
12. *Reddy S.N.S.* Internal displacement reactions in multicomponent oxides: Part III. Solid solutions of ternary oxide compounds. *Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science/2005.* Vol. 36A. №11. P.2993–3000
13. *Kraus W., Nolze G.* POWDER CELL – a program for the representation and manipulation of crystal structures and calculation of the resulting X-ray powder patterns // *J. Appl. Cryst.* 1996. V. 29. № 3. P. 301–303.
14. *Belsky A., Hellenbrandt M., Karen V.L., Luksch P.* New developments in the Inorganic Crystal Structure Database (ICSD): accessibility in support of materials research and design // *Acta Cryst. B.* 2002. Vol. 58. №3. P. 364–369.
15. *WWW-МИНКРИСТ (2008).* Кристаллографическая и кристаллохимическая База данных для минералов и их структурных аналогов.<http://database.iem.ac.ru/mincryst>.

Статья поступила в редакцию 11.10.2011.

УДК 574:502.72 (470.13)

РОЛЬ СИСТЕМЫ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ РЕСПУБЛИКИ КОМИ В СОХРАНЕНИИ РЕДКИХ ВИДОВ

С.В. ДЁГТЕВА, И.И. ПОЛЕТАЕВА, Т.Н. ПЫСТИНА

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

В статье приведены результаты анализа репрезентативности редких таксонов растений, животных и грибов на объектах природно-заповедного фонда Республики Коми. Предложены территории и объекты, перспективные для включения в состав системы особо охраняемых природных территорий региона.

Ключевые слова: редкие виды, грибы, растения, животные, особо охраняемые природные территории, Республика Коми

S.V. DEGTEVA, I.I. POLETAEVA, T.N. PYSTINA. THE ROLE OF NATURE PROTECTED AREAS OF THE KOMI REPUBLIC FOR RARE SPECIES CONSERVATION

Analysis of rare plants, animals and fungi species representation at the nature protected areas of the Komi Republic is exhibited. Perspective territories and objects for including to regional Nature protected areas system are proposed.

Key words: rare species, fungi, plants, animals, nature protected areas, Komi Republic

Наиболее уязвимая составляющая биологического разнообразия – виды, имеющие узкие экологические валентности и области распространения, низкий потенциал самоподдержания популяций. Многие из них весьма чувствительны к антропогенному воздействию на экосистемы. С конца 40-х гг. XX столетия для сохранения видов, редких в природе или сокращающих численность и ареалы в результате прямого или косвенного влияния хозяйственной деятельности человека, предпринимаются целенаправленные меры. К важнейшим из них можно отнести ведение Красных книг международного, регионального и локального уровней, а также действия, направленные на сохранение редких таксонов в естественных местообитаниях (*in situ*) и в условиях культуры (*ex situ*). Основным механизмом поддержания стабильного существования редких видов *in situ* – формирование сетей особо охраняемых природных территорий (ООПТ).

Ученые, заложившие каркас сети ООПТ Республики Коми, рассматривали сохранение мест обитания/произрастания редких таксонов животных, растений и грибов как одну из ее основополагающих задач [1 – 6]. В связи с этим, параллельно с работой по обоснованию необходимости учреждения ООПТ в регионе проводились исследования, направленные на обеспечение охраны редких видов. В 1982 г. была опубликована монография «Редкие и нуждающиеся в охране животные и растения Коми АССР» [7], содержащая все имеющиеся

к тому моменту сведения о редких видах флоры и фауны региона. На основании научного обоснования, подготовленного специалистами Института биологии, Постановлением Совета Министров Коми АССР от 24 февраля 1983 г. № 82 был утвержден список редких видов растений Коми республики. Указом Главы Республики Коми от 18 мая 1998 г. № 175 учреждена Красная книга Республики Коми. В ее первое официальное издание [8] были включены 611 видов растений, животных и грибов (включая лишайники). В 2009 г. региональная Красная книга выдержала второе издание. В нем использованы критерии и категории статуса редкости видов, принятые в Красной книге Российской Федерации [9, 10]. Сегодня к числу охраняемых в регионе официально отнесено 535 видов.

В настоящей статье представлены итоги анализа репрезентативности редких видов на объектах региональной сети ООПТ. Благодаря усилиям ученых и специалистов в области охраны природы республика располагает развитым природно-заповедным фондом. Он включает две ООПТ федерального статуса (Печоро-Илычский государственный природный биосферный заповедник и национальный парк «Югыд ва») и 237 заказников и памятников природы регионального подчинения, имеющих различный профиль (табл. 1). Данные ООПТ в совокупности занимают площадь порядка 6 млн. га (около 14.6 % территории республики).

Списки редких представителей царства растения, закрепленные в региональной Красной кни-

Таблица 1

**Особо охраняемые природные территории
Республики Коми**

Категория	Количество	Площадь, га	Процент от площади республики
ЗАПОВЕДНИК	1	721322	1.73
Охранная зона		497500	1.19
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПАРК	1	1891701	4.53
ЗАКАЗНИКИ:			
Комплексные (ландшафтные)	31	1281816	3.07
Биологические	1	139445	0.33
Лесные (в том числе кедровые)	13	20413	0.05
Ботанические (в том числе луговые)	11	31351	0.08
Болотные	95	419816	1.01
Ихтиологические	12	1067220	2.56
Водные	1	26000	0.06
Геологические	1	380.3	< 0.01
ПАМЯТНИКИ ПРИРОДЫ:			
Лесные (в том числе кедровые)	15	1824.7	< 0.01
Ботанические (в том числе луговые)	15	772	< 0.01
Болотные	16	1466	< 0.01
Водные	8	1026	< 0.01
Геологические	18	3521	< 0.01
ИТОГО	239	6105574	14.63

Примечание: Численность и площади охраняемых территорий даны на 01.06.2011 г.

ге [11], насчитывают 236 видов сосудистых растений, 71 вид мохообразных и 4 вида водорослей. Кроме того, охраняются 82 вида лишайников и 42 – грибов (табл. 2). Основные места произрастания редких, в том числе эндемичных и реликтовых видов, сосредоточены в Приуралье, горах Урала и на возвышенностях Тиманского кряжа, где особенно исторического генезиса флоры и растительности и современные экологические условия определили их естественное сохранение. Основную роль в поддержании этой наиболее хрупкой составляющей флористического разнообразия выполняют Печоро-Илычский заповедник и национальный парк «Югыд ва» [12 – 16], ландшафтные (комплексные) заказники: «Хребтовый», «Адак», «Белая Кедва», «Пижемский», «Вежавожский», «Уньинский», «Важелью» и др. [17 – 20]. Кроме того, целенаправленно созданы и функционируют 26 ботанических (в том числе луговых) заказников («Верхнецилемский», «Мыльский», «Сыктывкарский», «Сойвинский») и памятников природы («Лемвинский», «Вуктыльский», «Пузлинский», «Помоздинский», «Плесовка»), где сохраняются природные ценопопуля-

ции редких растений, таких как *Cypripedium calceolus* L., *Epipactis atrorubens* (Hoffm. ex Bernh.) Bess., *Iris sibirica* L., *Pentaphylloides fruticosa* (L.) O.Schwarz, *Anemonastrum biarmense* (Juz.) Holub, *Rhodiola rosea* L., *Paeonia anomala* L., *Gypsophila uralensis* Less. s.l. и многие др. [21, 22]. Организованы шесть заказников и 14 памятников природы для охраны мест произрастания *Pinus sibirica* Du Tour – вида, для которого по территории республики проходят северная и западная границы ареала [2, 23]. Состояние популяций большинства редких видов растений на объектах природно-заповедного фонда не вызывает тревоги [15, 19, 24, 25].

Освоение ландшафтов, нерациональное использование ресурсов животного мира, связанное с охотой и рыболовством, могут привести к необратимым изменениям фауны, снижению численности и даже утрате отдельных видов животных. Подобные негативные тенденции зарегистрированы и на территории Республики Коми. Существующая сеть ООПТ способствует поддержанию численности животных, в том числе 75 из 100 видов, включенных в «Красную книгу Республики Коми» [11]. Местообитания редких представителей фауны сохраняются преимущественно в заповеднике и национальном парке, а также в комплексных заказниках («Сэбысь», «Гажаягский», «Седьюский», «Белая Кедва» и др.) и биологическом заказнике «Сынинский» [15, 26, 27, 28]. Болотные массивы, взятые под охрану на территориях заказников «Усинский комплексный», «Мартюшевское», «Океан», признаны угодьями важными для птиц в международных масштабах и включены в теневой и перспективный списки Рамсарской конвенции [29 – 32].

Реки республики, берущие начало на возвышенностях Тиманского кряжа и в горах Урала, – залог чистоты вод Печоры, одной из крупнейших рек Европы. В их водах обитают ценные виды промысловых рыб: пелядь, хариус сибирский, нельма, чир, сиг, голец арктический, нерестится семга (лосось атлантический). Ухудшение качества вод в магистральном русле Печоры и ее притоков, нерациональное использование рыбных ресурсов, с конца прошлого века стали сказываться на численности популяций ценных промысловых видов [15, 33]. В конце 1950-х – начале 1960-х гг. ряду крупных и средних рек бассейнов Печоры, Вычегды и Мезени был придан статус заповедных семужье-нерестовых водотоков. Вдоль этих рек были выделены 1- и 3-километровые охранные лесные полосы. На основании предложений ученых и специалистов природоохранной службы 12 рек, имеющих особо важное рыбохозяйственное значение, объявлены ихтиологическими заказниками [6, 21]. Общая площадь заказников этого профиля – более 1 млн. га.

Анализ имеющихся сведений об обитании/произрастании редких видов на объектах природно-заповедного фонда свидетельствует о том, что популяции не всех редких таксонов приурочены к ООПТ (табл. 2). Отметим, однако, что эти данные следует рассматривать как предварительные, поскольку инвентаризация биологического разнообра-

Таблица 2

Представленность редких видов на особо охраняемых природных территориях Республики Коми (РК)

Таксономическая группа	Категория статуса редкости					Всего
	1	2	3	4	5	
Царство грибы						
Настоящие грибы						
Всего в Красной книге РК (2009)	0	1	31	10	0	42
Охраняется на ООПТ	0	1	23	7	0	31
Доля от числа редких видов, %	0	100	74.2	70.0	0	73.8
Лишайники						
Всего в Красной книге РК (2009)	16	13	41	12	0	82
Охраняется на ООПТ	12	13	38	11	0	74
Доля от числа редких видов, %	75.0	100	92.7	91.7	0	90.2
Царство растения						
Водоросли						
Всего в Красной книге РК (2009)	0	0	4	0	0	4
Охраняется на ООПТ	0	0	3	0	0	3
Доля от числа редких видов, %	0	0	75.0	0	0	75.0
Мохообразные						
Всего в Красной книге РК (2009)	0	14	49	8	0	71
Охраняется на ООПТ	0	11	37	6	0	54
Доля от числа редких видов, %	0	78.6	75.5	75.0	0	76.1
Сосудистые растения						
Всего в Красной книге РК (2009)	12	49	125	50	0	236
Охраняется на ООПТ	12	39	106	29	0	186
Доля от числа редких видов, %	100	79.6	84.8	58.0	0	78.8
Царство животные						
Беспозвоночные животные						
Всего в Красной книге РК (2009)	1	4	37	12	0	54
Охраняется на ООПТ	1	2	27	6	0	36
Доля от числа редких видов, %	100	50	73.0	50	0	66.7
Рыбы						
Всего в Красной книге РК (2009)	2	2	2	0	0	6
Охраняется на ООПТ	1	2	2	0	0	5
Доля от числа редких видов, %	50	100	100	0	0	83.3
Амфибии						
Всего в Красной книге РК (2009)	0	0	1	1	0	2
Охраняется на ООПТ	0	0	1	0	0	1
Доля от числа редких видов, %	0	0	100	0	0	50
Птицы						
Всего в Красной книге РК (2009)	1	9	16	6	1	33
Охраняется на ООПТ	1	9	16	6	1	33
Доля от числа редких видов, %	100	100	100	100	100	100
Млекопитающие						
Всего в Красной книге РК (2009)	1	2	2	0	0	5
Охраняется на ООПТ	1	2	2	0	0	5
Доля от числа редких видов, %	100	100	100	0	0	100

зия ООПТ пока не завершена. Наиболее полно используются ландшафты ООПТ для целей сохранения популяций птиц и млекопитающих, водорослей, включенных в региональную Красную книгу. Доста-

точно хорошо представлены в составе особо охраняемых природных комплексов редкие виды грибов, включая лишайники, а также сосудистые растения, в наименьшей степени – беспозвоночные животные

и мохообразные. На территориях объектов природно-заповедного фонда охраняются популяции не всех находящихся под угрозой исчезновения видов лишайников и рыб, а также сокращающихся в численности видов мохообразных, сосудистых растений, беспозвоночных животных.

Популяции охраняемых видов, за редким исключением, представлены на небольшом (1-3) числе объектов природно-заповедного фонда. Из редких лишайников в ландшафтах, находящихся под особой охраной, чаще всего встречается *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. Данный вид, занесенный в Красную книгу Российской Федерации [10], достаточно обычен и обилен на территории Республики Коми. Из редких мохообразных на ООПТ с наибольшим постоянством зарегистрирована *Neckera pennata* Hedw., из сосудистых растений чаще других отмечены *Pinus sibirica*, *Cypripedium calceolus*, *C. guttatum* Sw., *Epipactis atrorubens*, *Anemone sylvestris* L., *Rhynchospora alba* (L.) Vahl, *Paonia anomala*, *Thymus talijevii* Klok. et Shost. s. l., *Pulsatilla patens* (L.) Mill. Самый распространенный на ООПТ вид беспозвоночных – *Bombus schrenkii* (F. Morawitz, 1881), млекопитающих – *Rangifer tarandus* Linnaeus, 1758. В особо охраняемых ландшафтах лучше всего защищены популяции таких редких птиц, как *Aquila chrysaetos* (Linnaeus, 1758), *Haliaeetus albicilla* (Linnaeus, 1758), *Grus grus* (Linnaeus, 1758), *Crex crex* (Linnaeus, 1758), *Gallinago media* (Latham, 1787), *Bubo bubo* (Linnaeus, 1758).

Территории Печоро-Илычского заповедника и национального парка «Югыд ва», занимающие наибольшие площади среди объектов природно-заповедного фонда республики и приуроченные к предгорьям и горам Урала со сложной ландшафтной структурой, характеризуются наибольшей представленностью местообитаний и типов растительности. Здесь сосредоточены экосистемы, практически не нарушенные деятельностью человека, в связи с чем концентрация видов грибов, растений и животных, занесенных в Красную книгу Республики Коми максимальная (табл.3). Подчеркнем, что сведения о редких споровых организмах и беспозвоночных животных, встречающихся на территории национального парка, носят предварительный характер, поскольку разнообразие организмов данных таксономических групп практически не исследовано [15]. Благодаря высокому разнообразию редких видов птиц самые крупные резерваты региона, имеющие федеральное подчинение, отнесены к числу ключевых орнитологических территорий [34].

Большое разнообразие ключевых местообитаний редких видов сосредоточено на территориях комплексных заказников «Белая Кедва», «Пижемский», «Уньинский», «Адак», «Хребтовый», «Удорский», «Сэбысь», «Вежавожский», «Усинский комплексный», биологического заказника «Сынинский», ботанических заказников «Сойвинский», «Светлый», «Нонбургский», «Сыктывкарский». Это, прежде всего, старовозрастные таежные леса, болота, выходы известняков, верховья и устьевые части рек. В экосистемах большинства из упомянутых резерватов зарегистрировано значительное чис-

Таблица 3

Представленность редких видов на территориях Печоро-Илычского заповедника и национального парка «Югыд ва»

Таксономическая группа	Печоро-Илычский заповедник		Национальный парк «Югыд ва»	
	Число видов	Доля (%) от числа редких видов Республики Коми	Число видов	Доля (%) от числа редких видов Республики Коми
Настоящие грибы	30	71.4	0	0
Лишайники	60	73.2	21	25.6
Водоросли	0	0	2	50.0
Мохообразные	28	39.4	11	15.5
Сосудистые растения	106	44.9	101	42.8
Беспозвоночные животные	9	16.7	6	11.1
Рыбы	4	66.7	4	66.7
Амфибии	1	50.0	0	0
Птицы	19	57.6	10	30.3
Млекопитающие	4	80.0	3	60.0

ло редких таксонов (от 20 до 95). Наибольшая концентрация редких видов растений характерна для заказников, в которых сосредоточены выходы известняков, расположенные по берегам рек («Адак», «Белая Кедва», «Вежавожский», «Нонбургский», «Пижемский», «Сойвинский», «Светлый», «Уньинский»). Подобные местообитания, где сформировались реликтовые флористические комплексы, имеют в регионе ограниченное распространение (приурочены к возвышенностям Тиманского кряжа и предгорьям Урала) и отличаются очень высокой ценностью для охраны. Популяции редких видов рыб сохраняются в водотоках не только заповедника и национального парка, но и ихтиологических заказников «Вымский», «Илычский», «Участок реки Печора», «Пижемский», «Подчеремский», «Концебор-Даниловский», «Усинский», комплексных заказников «Уньинский», биологического заказника «Сынинский», водного памятника природы «Река Сюзью». Ландшафты заказников «Мартюшевское», «Океан», «Усинский комплексный» играют важную роль в поддержании численности водоплавающих и околоводных птиц, в том числе редких видов [30 – 32]. Высокая концентрация редких представителей орнитофауны характерна для окрестностей оз. Донское [11]. Располагающиеся по его берегам болотные экосистемы включены в состав болотного заказника республиканского значения «Дон-ты» [21].

Нами выполнен анализ ареалов и ценотической приуроченности редких видов грибов, растений и животных, местообитания которых не сохра-

няются в настоящее время на ООПТ. Разнообразие представителей царства грибы в Республике Коми исследовано пока недостаточно как для всей территории, так и для объектов природно-заповедного фонда. На ООПТ к настоящему моменту не зарегистрированы *Gyromitra infula* (Schaeff.) Quél., *Ptychoverpa bohemica* (Krombh.) Boud., *Macrolepiota procera* (Scop.) Singer, *Lepista nuda* (Bull.) Cooke, *Phlebia griseoflavescens* (Litsch.) J. Erikss. et Hjortstam, *Haploporus odoratus* (Sommerf.) Bondartsev et Singer, *Perenniporia tenuis* (Schwein.) Ryvarden, *Sparassis crispa* (Wulfen) Fr., *Leifia flabelliradiata* (J. Erikss. et Hjortstam) Ginns, *Hyphodontia latitans* (Bourdot et Galzin) Ginns et M.N.L. Lefebvre, *Clavariadelphus truncatus* (Quél.) Donk. Все перечисленные таксоны встречаются в различных лесных формациях равнинной части подзоны средней тайги. С учетом того, что среднетаежные леса достаточно хорошо представлены в системе ООПТ, а инвентаризация разнообразия грибов выполнена не во всех ее объектах, в дальнейшем возможно выявление перечисленных редких видов в границах территорий, находящихся под особой охраной.

В северных районах республики вне ООПТ располагаются местообитания лишайника *Arctocetraria andrejevii* (Охнер) Kärnefelt & Thell, который зарегистрирован в среднем течении р. Большая Роговая и окрестностях г. Воркута, в сообществах равнинных тундр и плоскобугристых болот. В окрестностях Воркуты и на Полярном Урале в фитоценозах равнинных и горных тундр обитает *Peltigera lyngaei* Gyeln., которая тяготеет к высоким широтам и в России известна из немногочисленных местонахождений. Отмечены редкие лишайники, не представленные на объектах природно-заповедного фонда, и в юго-западных районах Республики Коми. В девственных лесах, сохранившихся в верховьях р. Поруб, выявлено единственное в республике местообитание *Menegazzia terebrata* (Hoffm.) A.Massal., представляющее изолированный фрагмент быстро сокращающегося ареала вида [11]. В березняках и смешанных лесах, сформировавшихся в бассейнах рек Луза, Сысола и Вычегда, встречается *Tuckermopsis ciliaris* (Ach.) Gyeln. В населенных пунктах на стволах старых деревьев и в долинных ивняках поймы р. Сысола отмечена *Parmelina tiliacea* (Hoffm.) Hale, популяции которой находятся на северной границе области распространения вида.

В тундровых озерах, находящихся вне границ объектов системы ООПТ, обитает редкий вид водорослей *Tolypella spicata* (R. D. W.) R. D. W.

Большая часть редких печеночников, произрастающих за пределами ООПТ, приурочена к северным районам республики – подзоне крайне северной тайги (*Dichiton integerrimum* (Lindb.) H. Buch, *Haplomitrium hookeri* (Sm.) Nees, *Anastrophyllum sphenoloboides* R.M. Schust.), тундровой зоне и горным областям Полярного Урала (*Sphenobolus cavifolius* (H. Buch et S.W. Arnell) K. Müll.). Редкие листостебельные мхи, отмеченные вне объектов природно-заповедного фонда, являются стенобионтными, приурочены к каменистым субстратам (скалы, гольцы, галечниковые бечевники), реже

болотам. Места их произрастания выявлены на Урале (*Discelium nudum* (Dicks.) Brid., *Lescurea radicata* (Mitt.) Moenk., *L. mutabilis* (Brid.) Lindb., *Cnestrum alpestre* (Wahlenb. ex Huebener) Nyholm ex Mogensen, *Cynodontium bruntonii* (Sm.) Bruch et al., *C. fallax* Limpr.), Тиманском кряже (*Dicranum viride* (Sull. et Lesq.) Lindb., *Meesia longiseta* Hedw., *Tayloria acuminata* Hornsch.) или на территориях обоих упомянутых древних горных образований (*Philonotis marchica* (Hedw.) Brid., *Sphagnum pulchrum* (Lindb. ex Braithw.) Warnst.).

Отсутствие в составе природно-заповедного фонда объектов, на которых представлены типичные ландшафты тундры, лесотундры, полосы экотона подзона средней и южной тайги, слабая представленность ООПТ на Полярном Урале ограничивает возможности сохранения ценопопуляций ряда редких видов сосудистых растений. Создание ООПТ в тундровой зоне и горах Полярного Урала может способствовать сохранению таких видов северных широтных групп, как *Hierochloë pauciflora* R. Br., *Koeleria pohleana* (Domin) Gontsch., *Arabidopsis petrea* (L.) V.I. Dorof., *Braya purpurascens* (R.Br.) Bunge, *Draba fladnizensis* Wulf., *D. glacialis* Adams, *D. nivalis* Liljebl., *Thlaspi cochleariforme* DC., *Viscaria alpina* (L.) G. Don, *Papaver polare* (Tolm.) Perf., *Delphinium middendorffii* Trautv., *Potentilla stipularis* L., *Saxifraga aizoides* L., приуроченных преимущественно к сообществам равнинных тундр, а в горах – к горно-тундровому и гольцовому высотным поясам. Местообитания многих из перечисленных видов расположены в бассейнах рек Кара, Уса (в верхнем течении), Лемва, Юнь-Яра. При совершенствовании сети ООПТ в южных районах Республики Коми – Прилузском и Койгородском, может быть решена задача создания условий для сохранения in situ ценопопуляций ряда редких видов, находящихся на северном и северо-восточном пределах распространения: *Epipactis palustris* (L.) Crantz, *Glyceria maxima* (C.Hartm.) Holmb., *Bupleurum longifolium* ssp. *aureum* (Fisch. ex Hoffm.) Soó, *Campanula cervicaria* L., *Viscaria viscosa* (Scop.) Aschers., *Succisa pratensis* Moench, *Lathyrus pisiformis* L., *Origanum vulgare* L., *Epilobium collinum* C.C. Gmel., *Polygala comosa* Schkuhr, *P. vulgaris* L., *Thalictrum aquilegifolium* L., *Sambucus racemosa* L., *Ulmus laevis* Pall., *U. scabra* Mill. Большая их часть приурочена к лугам, лесным сообществам, реже к болотным массивам и их окраинам. Сохранение озер может обеспечить устойчивое существование популяций *Sparganium microcarpum* (Neum.) Raunk., *Potamogeton crispus* L., *Oenanthe aquatica* (L.) Poir., *Nymphaea tetragona* Georgi.

Создание ООПТ для сохранения малонарушенных лесных массивов в юго-западных районах Республики Коми будет способствовать и поддержанию численности редких видов беспозвоночных животных: *Leptoiulus proximus* (Nemes, 1896), *Polyzonium germanicum* Brandt, 1837, местообитания которых в настоящий момент расположены вне охраняемых территорий. В водоемах этой части республики встречаются *Ranatra linearis* (Linnaeus, 1758), *Dytiscus latissimus* Linnaeus, 1758. Сохране-

ние сообществ ерниковых тундр и притундровых редколесий может сыграть положительную роль в поддержании численности бабочки *Euphydryas iduna* (Dalman, 1816).

За пределами ООПТ расположены все выявленные на сегодняшний день местообитания редкого вида рыб – *Acipenser baerii* (Brandt, 1869). По мнению специалистов, меры по охране данного вида, предпринимаемые в рамках системы существующих рыбоохранных мероприятий, могут считаться достаточными [11]. Из редких видов амфибий на объектах природно-заповедного фонда отсутствует *Bombina bombina* Linnaeus, 1761. Этот вид найден в Республике Коми лишь один раз, в верхнем течении р. Суран. Данное местонахождение удалено от границы сплошного распространения вида и нуждается в специальных мерах охраны.

В качестве водно-болотных угодий, имеющих важное значение в качестве местообитаний для околоводных и водоплавающих птиц в масштабах республики, специалисты рассматривают болотные массивы нижней (Тобышские, Путинские и Майерские) и средней (пойма между устьями рек Колва и Зверинец) Печоры, низовья междуречий Уса – Лемва – Юнь-Яга [35]. Большинство из упомянутых территорий не входят в состав природно-заповедного фонда. Исключение составляет болотный заказник «Уса-Юньягинское», который создан для сохранения эталона типичного для европейской лесотундры крупнобугристого болота. Для резервирования местообитаний, важных для поддержания численности редких видов птиц, необходимо придать перечисленным объектам статус ООПТ. Как недостаточная рассматривается учеными степень охраны ключевой орнитологической территории России (КОТР) международного значения, расположенной в долине р. Сысола (подзона средней тайги). В ее окрестностях находятся шесть ООПТ регионального статуса: ихтиологические заказники «Визингский» и «Абкеджский», водные памятники природы «Гарсибский» и «Каджеромский», болотный заказник «Бортомбазовский», флористический заказник «Сыктывкарский». Однако их общая площадь составляет лишь 10 242 га, что менее 2% от площади (КОТР) [34]. Специалистами Института биологии Коми НЦ УрО РАН рекомендовано организовать специализированные заказники для сохранения двух видов млекопитающих: *Meles meles* Linnaeus, 1758 и *Rangifer tarandus tarandus*. Известные местообитания и миграционные пути упомянутых видов защищены на объектах природно-заповедного фонда не в полной мере [11, 36, 37].

Таким образом, проведенный анализ репрезентативности редких таксонов на ООПТ показал, что в пределах объектов природно-заповедного фонда сохраняются места обитания/произрастания свыше трех четвертей (80.0%) от общего числа видов, занесенных в региональную Красную книгу. Организация новых ООПТ в северных (подзоны тундры и лесотундры) и юго-западных районах республики (подзона южной тайги), а также в ландшафтах Полярного Урала и Тиманского поднятия будет способствовать более эффективному само-

поддержанию популяций редких грибов, растений и животных.

Работа выполнена в рамках проекта ПРООН/ГЭФ «Укрепление системы особо охраняемых природных территорий Республики Коми в целях сохранения биоразнообразия первичных лесов в районе верховий реки Печора».

Литература

1. *Непомилуева Н.И.* Охрана кедра сибирского в Коми АССР // Охрана и рациональное использование ботанических объектов. Л., 1971. С. 218-219.
2. *Непомилуева Н.И.* Кедр сибирский (*Pinus sibirica* Du Tour) на Северо-Востоке европейской части СССР. Л., 1974. 184 с.
3. *Лащенкова А.Н., Непомилуева Н.И.* Редкие растительные сообщества Среднего Тимана, нуждающиеся в охране // Охрана и рациональное использование растительных ресурсов на Севере. Сыктывкар, 1982. С. 28-36. (Тр. Коми фил. АН СССР. № 56).
4. *Непомилуева Н.И., Лащенкова А.Н., Алексеева Р.Н.* Состояние и проблемы охраны растительного покрова на Европейском Северо-Востоке // Охрана и рациональное использование растительных ресурсов на Севере. Сыктывкар, 1982. С. 4-18.
5. *Кадастр охраняемых природных территорий Республики Коми.* Ч. I. Сыктывкар, 1993. 190 с.
6. *Таскаев А.И., Дегтева С.В.* Система особо охраняемых природных территорий Республики Коми: история формирования и перспективы развития // Урал: наука, экология. Екатеринбург, 1999. С. 78-98.
7. *Редкие и нуждающиеся в охране животные и растения Коми АССР.* Сыктывкар, 1982. 152 с.
8. *Красная книга Республики Коми.* Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и животных. М.– Сыктывкар, 1998. 528 с.
9. *Красная книга Российской Федерации: Животные.* М., 2001. 860 с.
10. *Красная книга Российской Федерации (растения и грибы).* М., 2008. 855 с.
11. *Красная книга Республики Коми.* Сыктывкар, 2009. 791 с.
12. *Лавренко А.Н., Улле З.Г., Сердитов Н.П.* Флора Печоро-Илычского биосферного заповедника. СПб., 1995. 255 с.
13. *Флора и растительность Печоро-Илычского биосферного заповедника.* Екатеринбург: УрО РАН, 1997. 384 с.
14. *Мартыненко В.А., Дегтева С.В.* Конспект флоры национального парка «Югыд ва» (Республика Коми). Екатеринбург, 2003. 108 с.
15. *Биологическое разнообразие уральского Припечорья/Под ред. В.И.Пономарева и Т.Н.Пыстиной.* Сыктывкар, 2009. 264 с.
16. *Биоразнообразие водных и наземных экосистем бассейна р.Кожым (северная часть национального парка «Югыд ва») / Отв. ред. Е.Н.Патова.* Сыктывкар, 2010. 192 с.
17. *Лащенкова А.Н., Улле З.Г.* К изучению флоры и растительности Среднего Тимана и их

- охране// Флора и растительность Тимано-Печорского региона. Сыктывкар, 1978. С. 51-60. (Тр. Коми фил. АН СССР; Вып. 39).
18. *Охраняемые природные* комплексы Вычегодско-Мезенской равнины // Биологическое разнообразие особо охраняемых природных территорий Республики Коми / Отв. ред. С.В. Дегтева; Вып. 2. Сыктывкар, 2005. 172 с.
19. *Комплексный ландшафтный заказник «Белая Кедва»*//Биологическое разнообразие особо охраняемых природных территорий Республики Коми // Отв. ред. С.В.Дёгтева. Вып. 4, ч. II. Сыктывкар, 2007. 208 с.
20. *Природные комплексы* заказника «Хребтовый»// Биологическое разнообразие особо охраняемых природных территорий Республики Коми / Отв. ред. С.В. Дегтева; Вып. 7. Сыктывкар, 2010. 140 с.
21. *Кадастр охраняемых* природных территорий Республики Коми. Ч. II. Сыктывкар, 1995. 60 с.
22. *Охраняемые природные* комплексы Тимана// Биологическое разнообразие особо охраняемых природных территорий Республики Коми / Отв. ред. С.В.Дегтева; Вып. 4, ч.I. Сыктывкар, 2006. 272 с.
23. *Непомилуева Н.И., Лащенко А.Н.* Таежные эталоны европейского Северо-Востока (охраняемые территории и генетические резерваты). Сыктывкар, 1993. 147 с.
24. *Тетерук Л.В., Плотникова И.А., Орловская Н.В.* Биология и экология редких растений Республики Коми. Екатеринбург, 2009. Вып. 2. 184 с.
25. *Кириллова И.А.* Орхидные Печоро-Илычского заповедника (Северный Урал). Сыктывкар, 2010. 144 с.
26. *Земля девственных лесов* / Под ред. В.М.Ануфриева. Сыктывкар, 2000. 159 с.
27. *Наземные и водные экосистемы* государственного природного заказника «Сэбысь» // Биологическое разнообразие особо охраняемых природных территорий Республики Коми / Отв. ред. С.В. Дёгтева; Вып. 1. Сыктывкар, 2004. 128 с.
28. *Природные комплексы* заказника «Сынинский» // Биологическое разнообразие особо охраняемых природных территорий Республики Коми / Отв. ред. С.В. Дёгтева; Вып. 3. Сыктывкар, 2005. 156 с.
29. *Водно-болотные угодья* России. Т. 1. Водно-болотные угодья международного значения. М., 1998. 255 с.
30. *Водно-болотные угодья* России. Т. 2. Ценные болота. М., 1999. 87 с.
31. *Водно-болотные угодья* России. Т. 3. Водно-болотные угодья, внесенные в Перспективный список Рамсарской конвенции. М., 2000. 490 с.
32. *Алексеева Р.Н.* Болотные заказники бассейна средней Печоры // Биологическое разнообразие особо охраняемых природных территорий Республики Коми / Отв. ред. С.В. Дегтева; Вып. 6. Сыктывкар, 2009. 148 с.
33. *Пономарев В.И., Сидоров Г.П.* Обзор ихтиологических и рыбохозяйственных исследований в бассейне реки Печора // Водные организмы в естественных и трансформированных экосистемах европейского Северо-Востока. Сыктывкар, 2002. С. 5-33. (Тр. Коми НЦ УрО РАН; № 170).
34. *Ключевые орнитологические территории* международного значения в Европейской России. М., 2000. С. 83-89. (Ключевые орнитологические территории России; Т. 1).
35. *Минеев Ю.Н.* Охрана водно-болотных угодий на европейском Северо-Востоке России // Финно-угорский мир: состояние природы и региональная стратегия защиты окружающей среды: Матер. Междунар. конф. (Сыктывкар, 2-5 июня 1997 г.). Сыктывкар, 2000. С. 205-208.
36. *Королев А.Н.* Распространение и статус барсука (*Meles meles* Linnaeus, 1758) на европейском Северо-Востоке России // Актуальные проблемы регионального экологического мониторинга: научный и образовательный аспекты. Киров, 2005. С. 50-51.
37. *Королев А.Н., Кочанов С.К., Порошин Е.А.* и др. Дикий северный олень (*Rangifer tarandus* L.) в Республике Коми: многолетняя динамика и современное состояние популяций. Сыктывкар, 2009. 40 с. (Серия сообщ. «Научные достижения – практике» / Коми НЦ УрО РАН; Вып. 125).

УДК 591+526:598.41 (470)

ЭКОЛОГИЯ ЛЕБЕДЯ-КЛИКУНА (*CYGNUS CYGNUS*) НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РОССИИ

Ю.Н. МИНЕЕВ, О.Ю. МИНЕЕВ

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

Изучены распространение, численность и размножение лебедя-кликуна, гнездящегося в Ненецком автономном округе и Республике Коми. Смещение гнездования на Север и рост численности птиц в регионе отражают общую тенденцию, происходящую в обширном ареале вида. На исследованной территории популяционная структура кликуна в июне-сентябре состояла из пар (свыше 36%), одиночных птиц (11,6%) и небольших групп (3–17 особей). Плотность населения птиц (без учета молодых текущего года) в июле-сентябре колебалась от 0.5 до 4.1 особей на 10 км². В размножении участвовало в среднем 18.5% популяции кликуна. Кладки содержали от 2 до 7, в среднем 4.75 яйца, выводки насчитывали от 1 до 6, в среднем 2.3 птенца.

Ключевые слова: лебедь-кликун, популяция, местообитания, структура, численность, размножение

YU.N. MINEEV, O.YU. MINEEV. THE ECOLOGY OF WHOOPER SWAN (*CYGNUS CYGNUS*) IN THE EUROPEAN NORTH-EAST OF RUSSIA

Distribution, number and reproduction of Whooper Swan nesting in the Nenets Autonomous District and the Komi Republic is studied. Nesting displacement to the north and growth of number of birds in the region reflect the general tendency occurring in the extensive area of the species. The population structure of Whooper Swan in the investigated territory in June-September consisted of pairs (over 36%), single birds (11,6%) and small groups (3–17 individuals). Population density of birds (without young birds of current year) in July-September fluctuated from 0.5 to 4.1 individuals per 10 km. 18.5% on the average, of Whooper Swan population participated in reproduction. Laying contained from 2 to 7, on the average 4.75 eggs, broods totaled from 1 to 6, on the average 2.3 cygnets.

Key words: Whooper Swan, population, habitat, structure, numbers, breeding

Лебедь-кликун (*Cygnus cygnus*), гнездящийся на европейском Северо-Востоке России, является частью северо-западной географической популяции, которая занимает пространство от Фенноскандии до западного макросклона Урала [1]. Основные зимовки популяции находятся в Северо-Западной Европе, в так называемой «балтийско-североморской области» [2]. Между тем сведения по экологии кликуна в этом регионе известны в самых общих чертах [3]. На европейском Северо-Востоке России лебедь-кликун гнездится в Республике Коми, Малоземельской и Большеземельской тундрах, на п-ове Канин (рис.1). Неразмножающиеся лебеди в Большеземельской тундре отмечены на побережье Баренцева моря (Болванская губа и устье р. Черная), в бассейне р. Коротаиха и на Югорском п-ове (мыс Чайка, побережье Карской губы). Данные, полученные в течение длительного периода исследования (1973–2011 гг.), позволяют представить более детальную картину экологии лебедя-кликуна на европейском Северо-Востоке России.

Местообитания. В таежной зоне Республики Коми весной мигрирующие птицы останавливаются на участках рек с открытой водой, среди болот с временными лужами и наличием прошлогодней растительности. С исчезновением снега они концентрируются на топких участках болот с озёрами. В тундре лебеди-кликуны держатся на полыньях рек или на озёрах с верховой водой до тех пор, пока не начнется оттайка мелководных озёр, богатых водной и прибрежной растительностью. По мере освобождения неглубоких озёр, птицы расселяются по тундровым болотам и пойменным местообитаниям.

В летний период кликуны обитают преимущественно на пушицево-осоково-сфагновых в мочажинах (ерсеях) и травяно-кустарничково-мохово-осоковых в мочажинах (ерсеях) типах болот. Одиночные, пары и небольшие группы (до 3–5) лебедей обычны на таежных реках, речных старицах лесотундры и тундры, а также на озёрах, иногда очень больших, имеющих мелководные участки с водной

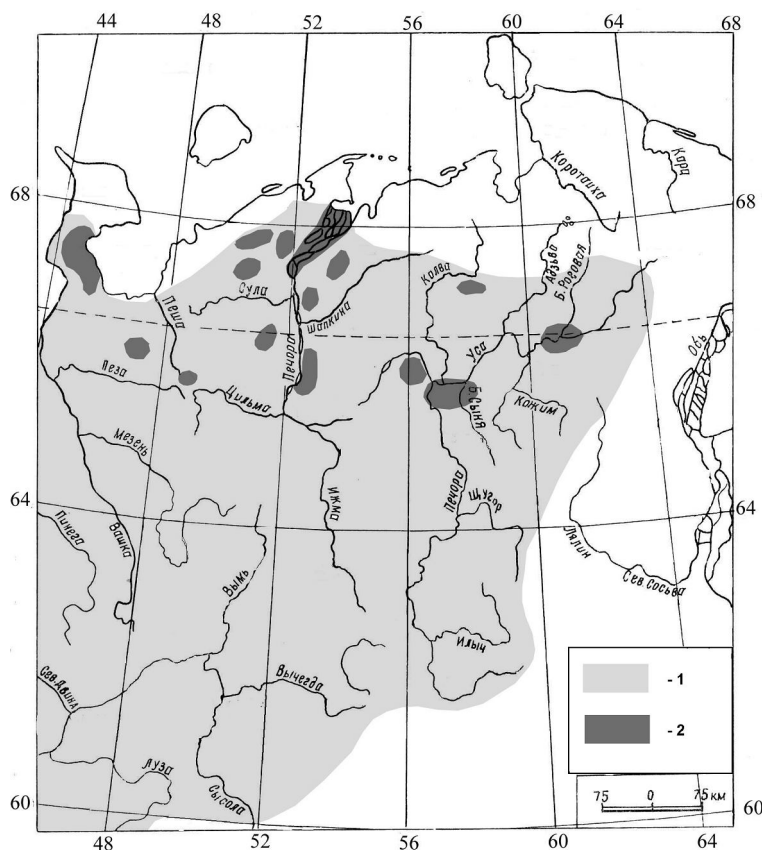


Рис. 1. Распространение лебедя-кликлуна на гнездовании по территории европейского Северо-Востока России:

- 1 – область гнездования;
2 – места наибольшей плотности гнездования.

растительностью. Часть птиц обитает на глухих таёжных речках. Речные местообитания, населенные лебедями, по структуре растительных сообществ, увлажнению и другим эколого-генетическим признакам соответствуют травяным и травяно-гипновым болотам. В дельте Печоры кликун обычен на заболоченных осоково-луговых озёрных участках с ивняками (*Salix* sp.) и ольхой (*Alnus* sp.), а также на притеррасных кочкарных заболоченных участках с низкорослыми кустарниками.

Во время осенних миграций лебеди-кликлуны встречаются в тех же местообитаниях, что и летом, но отсутствуют на небольших реках. В дельте Печоры птицы концентрируются на речных отмелях и забо-

лоченных лугах с травянистой растительностью.

Популяционная структура. На исследованной территории в июне-сентябре в популяции лебедя-кликлуна преобладают птицы в парах (табл.1-3). Их количество (процент от общего числа учтенных лебедей) составило: на п-ове Канин – 36,0, в Тиманской тундре – 44,5, Малоземельской тундре – 37,6, дельте Печоры – 30,1, нижней Печоре – 30,9, средней Печоре – 37,7, в Большеземельской тундре – 22,9 и таежной зоне Республики Коми – 77,3%. Количество одиночных птиц также варьирует в больших пределах. На п-ове Канин они в среднем составили 9,2, в Тиманской тундре – 13,3, Малоземельской тундре – 30,8, дельте Печоры – 7,6, нижней Печоре – 6,6, средней Печоре – 8,6, Большеземельской тундре – 6,9 и Республике Коми – 17,1%. Вероятно, к одиночным особям относятся «разделенные» пары, в которых одна из птиц погибла во время весенних миграций. Одиночки могут быть годовиками или более старшего возраста птицами из остатков прошлогодних распавшихся выводков. Группы из трех-четырех лебедей, скорее всего, являются нераспавшимися выводками.

Многолетние наблюдения показали, что для лебедя-кликлуна не характерны крупные скопления. В местах размножения и линьки преобладают преимущественно небольшие группы (до 5-17 особей). В ряде ключевых местообитаний (средняя, нижняя Печора и дельта, Коровинская губа, отдельные тундровые озера) во время миграции кликуны образуют многочисленные скопления по 40-100 особей.

Таблица 1

Популяционная структура лебедя-кликлуна в июне-сентябре на п-ове Канин, в Тиманской и Малоземельской тундрах (по данным авиаучётов)

Группы птиц	П-ов Канин		Тиманская тундра		Малоземельская тундра							
	август 1977, 1979, 1985 гг.		август 1977, 1979, 1985 гг.		июнь 1995 г.		июль 1996 г.		август 1977, 1979, 1985 гг.		сентябрь 1976, 1983, 1985 гг.	
	п	%	п	%	п	%	п	%	п	%	п	%
Одиночные птицы	24	9.2	6	13.3	8	36.4	4	50.0	10	10.4	20	26.3
Пары без выводков	43	32.9	8	35.6	7	63.6	1	25.0	20	41.7	18	47.4
Пары с птенцами	4	3.1	2	8.9	-	-	1	25.0	2	4.3	7	18.4
Группы по три особи	13	14.9	1	6.7	-	-	-	-	4	12.5	2	7.9
Группы по четыре особи	5	7.7	1	8.9	-	-	-	-	1	4.2	-	-
Скопления	84	32.2	12	26.6	-	-	-	-	26	27.1	-	-
Всего	261		45		22		8		96		76	

Примечание: «-» – при учётах птицы не отмечены.

Таблица 2

Популяционная структура лебедя-кликун в июне-сентябре в дельте Печоры и Большеземельской тундре (по данным авиаучётов)

Группы птиц	Дельта р. Печоры								Большеземельская тундра			
	июнь 1991, 1996 гг.		июль 1995 г.		август 1977, 1995 гг.		сентябрь 1976, 1983, 1985 гг.		август 1974, 1975, 1985 гг.		сентябрь 1983, 1985 гг.	
	п	%	п	%	п	%	п	%	п	%	п	%
Одиночные птицы	7	1.3	1	6.7	8	14.5	26	7.7	17	9.9	9	3.9
Пары на гнезде	13	4.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Пары без выводков/ гнезд	27	10.3	7	93.3	17	61.8	57	33.8	42	49.1	27	23.2
Пары с птенцами	1	0.4	-	-	4	14.6	36	21.4	9	10.5	10	8.6
Группы по три особи	-	-	-	-	-	-	1	0.9	11	19.3	5	6.4
Группы по четыре особи	-	-	-	-	-	-	3	3.6	2	4.8	2	3.4
Скопления	436	83.1	-	-	5	9.1	110	32.6	11	6.4	127	54.5
Всего	525		15		55		337		171		233	

Примечание: «-» – при учётах птицы не отмечены.

Таблица 3

Популяционная структура лебедя-кликун в августе-сентябре в Республике Коми (нижняя и средняя Печора, другие районы), по данным авиаучётов

Группы птиц	Нижняя Печора		Средняя Печора				Другие районы	
	август 1975, 1985, 1989 гг.		сентябрь 1985, 1989 гг.		август 1989 г.		август 1975, 1985, 1989 гг.	
	п	%	п	%	п	%	п	%
Одиночные птицы	12	6.6	25	8.6	10	9.8	25	17.1
Пары без выводков	48	53.0	80	55.2	32	62.7	47	63.9
Пары с птенцами	8	8.9	19	13.1	10	19.7	10	13.6
Группы по три особи	11	18.2	11	11.4	1	2.9	1	2.0
Группы по четыре особи	1	2.2	2	2.8	-	-	-	-
Скопления	20	11.1	26	8.9	5	4.9	5	3.4
Всего	181		290		102		147	

Примечание: «-» – при учётах птицы не отмечены.

Численность. По результатам летних наземных учётов в Малоземельской тундре высокая плотность населения лебедя-кликун (без учёта молодых птиц текущего года) отмечена (особи на 10 км²): в междуречье Сула-Сойма (17,3), бассейнах рек Вельт (10,3) и Нерута (7,0). С одинаковой плотностью (3,0 особи) кликуны обитают в бассейнах рек Индига и Черная. Сравнительно невысокая численность птиц характерна для Коровинской (1,0) и Колокольной (0,1) губ. В то же время на крупных озерных системах лесотундры (междуречья Печоры-Соймы-Сулы-Индиги) она была относительно высокой (1,3-8,0 особи на 10 км²). За период исследований плотность населения кликуны в Малоземельской тундре составила в среднем (n=9 лет) 6,2 особи на 10 км². Численность птиц в дельте Печоры характеризуется периодическими спадами и подъёмами, она колебалась от 1,0 до 29,0 в среднем (n=11 лет) и равна 8,1 особи на 10 км². Авиаучётами (конец августа – первая половина сентября) выявлен устойчивый многолетний тренд: роста численности кликуны на п-ове Канин, болотах нижней и средней Печоры и в дельте Печоры. Плот-

ность населения птиц в это время варьировала на п-ове Канин от 1,9 до 15,0, болотах бассейна средней Печоры – от 0,5 до 5,8, нижней Печоры – от 2,1 до 4,9, в дельте Печоры – от 1,1 до 33,4 особи на 10 км².

В Большеземельской тундре плотность кликуны в бассейне р. Шапкиной на тундровых озёрах варьировала от 3,0 до 11,0, в северной части крупно-ерниковой тундры (бассейн р. Большая Роговая и верховьях р. Море-Ю) – от 2,7 до 5,7 особи на 10 км². В тундровых местообитаниях района Вашуткиных озёр плотность населения кликуны в среднем составила 3,0 особи на 10 км², численность на акватории крупных озёр – 0,1 особи на 10 км. По материалам авиаучётов, плотность населения лебедя-кликун (без молодых птиц) в междуречьях Печора-Куя-Шапкина варьировала от 1,0 до 2,0, в Колвинской низменности – 2,1-4,0 и междуречьях

Колва-Адзьва-Большая Роговая-Уса – от 0,04 до 2,0 особи на 10 км².

Плотность населения лебедя-кликун (без учёта молодых птиц) на европейском Северо-Востоке России в послегнездовое время варьировала от 0,5 до 4,1, в среднем (n=8 лет) была равна 2,61 особи на 10 км². Численность птиц по результатам многолетних авиаучётов в регионе показана на рис. 2*.

Размножение. Приуроченность кликуны к локализованным специфическим местообитаниям (сильно заболоченные поймы рек, низменности и болота с обилием неглубоких зарастающих озёр) – один из факторов мозаичного размещения и образования в ряде мест диффузных гнездовых скоплений. Основные районы гнездования кликуны на п-ове Канин расположены в междуречьях Перепуск-Голубица – Чеша и Яжма – Шойна (66°50' - 67°55' с. ш.), в Тиманской тундре – озёрные системы Варш и Косминские (66°10' с.ш.). В Малоземельской тундре

* Из - за высокой стоимости авиатранспортных услуг после 1996 г. авиавизуальные учёты численности лебедей не проводились.

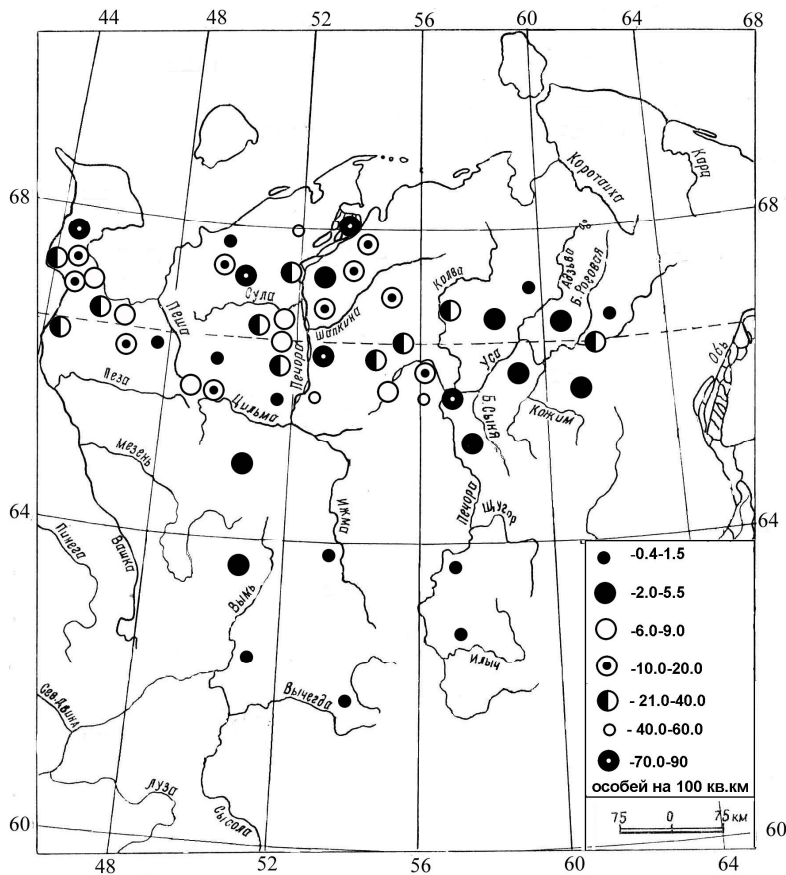


Рис. 2. Численность лебедя-кликун на европейском Северо-Востоке России.

с высокой плотностью лебеди гнездятся в районе озёр Урдюжское и Индигские ($67^{\circ}10' - 67^{\circ}35'$ с.ш.), поймах средних течений рек Вельт и Нерута. В дельте Печоры, на нижней и средней Печоре основные гнездовые местообитания кликуна приурочены к заозерным равнинам и болотам, не затопляемым в половодье. Сходные типы гнездовых местообитаний кликуна характерны и для Большеземельской тундры. Основные очаги размножения птиц в этой тундре расположены в лесотундре (междуречья Печора – Куя – Шапкина – Хальмер-Ю), Колвинской болотистой низменности, междуречье Адзьва – Большая Роговая и в крупноерниковой кустарниковой тундре (рис.1). Отдельные пары спорадически размножаются в мелкоерниковой кустарниковой тундре (до $68^{\circ}35'$ с.ш.).

Динамика плотности гнездования кликуна характеризуется подъемами и спадами. Предполагается, что изменчивость плотности гнездования связана с меняющимися экологическими условиями в местах размножения и территориальным консерватизмом кликуна. В восточноевропейских тундрах, в типичных для кликуна местообитаниях, плотность гнездования колебалась от 0.2 до 1.9 пары (среднее 0.91 пары) на 10 км^2 . Периодичность подъемов численности гнездящихся птиц происходила в интервале 4-7, в среднем через четыре года, в многолетней динамике гнездования прослеживаются 10 и 20-летние циклы [4].

Поддержание численности на определенном уровне за счёт интенсификации размножения у кликуна отсутствует. Скорость прироста и сохранение уровня численности популяции зависят от количества особей, участвующих в репродуктивном цикле. В Лапландском заповеднике в размножении ежегодно участвовало в среднем 30% популяции кликуна [5]; на европейском Северо-Востоке России – от 2.8 до 35.3, в среднем 18.5% птиц. Периодичность высокого размножения кликуна в среднем происходит через пять лет, в многолетней динамике отмечен и 11-летний цикл [4].

Гнездовыми биотопами кликуна в тундровой зоне служат берега, островки и полуостровки озёр, зарастающие водной растительностью среди кочкарниково-осоковых и ивняково-травянисто-кустарниковых тундр, сильно увлажненные болота с небольшими озёрами. В речных поймах лебеди гнездятся среди заболоченных ивняково-осоково-сабельниковых лугов и на старичных озёрах разной величины. Старые гнезда вновь не используются, а в 200-500 м от них сооружаются новые, и, судя по находкам старых (до 3-5 шт.) гнезд, гнездовая территория занимает длительное время. Кликун – большие индивидуалисты и обычно гнездятся отдельными парами

на значительном расстоянии друг от друга. В особо благоприятных местах – вблизи или на крупном мелководном озере с богатой водной растительностью, в пойменных местообитаниях – в некоторых случаях гнездится несколько пар. Так, на оз. Урдюжское гнезда кликунов (7 пар) были размещены на прибрежных мелководьях среди водной растительности и сплавинообразных травянистых островках на расстоянии 1.5 – 6.0 км друг от друга. В пойме р. Вельт на расстоянии 60 км гнездились девять пар кликуна, в среднем одна пара на расстоянии 6.7 км друг от друга [6].

В связи с тем, что кликун – птица крупная, для откладки и инкубации яиц, развития птенцов и подъёма их на крыло требуется около 115 суток [7], его репродуктивный период в регионе практически не имеет резерва времени. Поэтому лебеди начинают гнездиться с появлением доступной растительности для постройки гнезда. Это происходит в третьей декаде мая – первой декаде июня. Гнезда лебеди размещают на островках, полуостровках, илесто-травянистых сплавинах и берегах озёр среди водной растительности у самой кромки воды или на расстоянии до 30 м от неё, а также среди осоково-сабельниковых лугов речных пойм. Они представляют собой усеченный конус с основанием 140-285 см, в среднем ($n=17$) 205, высотой – 30-52, в среднем 41 см. Диаметр вершины гнезд колеблется от 70 до 160, в среднем – 110 см; диаметр лотка

40-55, в среднем 47.5 и глубиной 11-20, в среднем 14 см. Строительным материалом служат осока (*Carex* sp.), арктофила (*Arctophila fulva*), сабельник (*Comarum palustre*), водоросли (*Algae* sp.), озёрный ил с примесью водной растительности. Лоток выстилается более нежным, тонким материалом (сухими стеблями трав и ветошью). В некоторых осмотренных гнездах в лотках имелась символическая примесь перьев или пуха. В процессе инкубации самка постоянно ремонтирует и достраивает гнездо, собирая или вытаскивая растительность, которая произрастает вокруг. Кладки содержали от 2 до 7, в среднем ($n=13$) 4.75 яйца, размером 104-119 x 67-78, в среднем ($n=33$) 110.7 x 73 мм. Масса сильно насиженных яиц ($n=6$) 303-368, в среднем 341 г.

Появление первых птенцов из яиц отмечено 24 июня – 7 июля, в иные годы – во второй половине июля. Величина выводков обычно намного меньше, чем яиц в кладках, так как значительное количество яиц и птенцов гибнет от хищников и неблагоприятных погодных условий в первые недели их жизни. По результатам наземных учётов, в августе в выводках было от 1 до 5, в среднем ($n=37$) 2.3, по данным авиаучётов – 1-6, в среднем ($n=105$) 2.23 птенца. Количество выводков кликуна во второй половине августа-первой половине сентября варьировала следующим образом (данные авиаучётов): 1975 г. ($n=9$) – 1.7, 1976 г. ($n=16$) – 2.25, 1977г. ($n=5$) – 2.4, 1979 г. ($n=8$) – 2.6, 1983 г. ($n=18$) – 2.44, 1985 г. ($n=45$) – 2.2, 1989 г. ($n=4$) – 2.0 птенца.

Заключение

Область гнездования кликуна между Югорским п-овом, Приполярным Уралом на востоке, п-овом Канин и низовьями р. Мезени на западе не налегает на северо-западный и западносибирский части ареала и не соприкасается с ними. В гнездовой области отсутствуют скопления кликуна на линьке, а пространственные взаимоотношения птиц региона с другими популяциями, за исключением зимовок, не ясны.

Современная динамика пространственного размещения лебедя-кликуна обусловлена теплой многовековой фазой климата. Вследствие этого конфигурация границ его ареала и их динамика приобретают ритмический и колебательно-возвратный характер [4]. Вероятно, этим можно объяснить экспансию и рост численности кликуна в тундрах европейского Северо-Востока России, Исландии [8], северо-западной Европе [9,10], Прибалтике [11], северо-западе России [5,12,13] и арктических районах Сибири [14]. Изученная популяция достаточно четко обнаруживает различия на популяционном уровне (структура и характер распределения, динамика плотности гнездования, индекс размножения и экологическая рождаемость) от других географических популяций. Основу популяционных структур лебедей Исландии [15] и восточноевропейских тундр составляют птицы в парах (соответственно 39.3 и 39.6%), но существенны различия в количестве одиночных особей (2.0 и 10.5%). В отличие от восточноевропейских тундр в популяции кликуна

Кольского п-ова меньше пар (20%) и одиночных (20%) особей [12]. В популяции кликуна Финляндии преобладают птицы в парах – 85% [10], также как и в Ямало-Ненецком автономном округе – 78.8% [14]. На европейском Северо-Востоке групповые скопления лебедей незначительны (19.7%), в то время как в Исландии [15] и на Кольском п-ове [12] эта форма объединения преобладает (соответственно 60.1 и 35.0 % от числа учтенных птиц). Многолетний уровень участия в размножении кликуна (в среднем 18.5%) на европейском Северо-Востоке России отличается от других частей ареала северо-западной географической популяции. Высокий уровень размножения (30-40%) характерен для кликуна Исландии [15], Лапландского заповедника – около 30% [5] и южных районов Финляндии – в среднем 27% [9]. Размер кладки кликуна больше в восточноевропейских тундрах (среднее 4.75), нежели в Исландии (4.25) и на Кольском п-ове (4.0), но меньше чем в Западной Сибири (5.8 яйца). Однако величина вывода (среднее 2.3 птенца) на европейском Северо-Востоке России меньше, чем в Исландии – 3.1[15], на юге (3.2) и в субарктической зоне (2.5) Финляндии [9] и на Кольском п-ове – в среднем 2.95 птенца [12,5]. Причина высокой постэмбриональной смертности птенцов лебедя-кликуна на европейском Северо-Востоке не выяснена. Можно предположить, что низкие темпы воспроизводства лимитируются комплексом внешних, прежде всего, нестабильных климатических и кормовых факторов.

Литература

1. Scott D. A., Rose P. M. Atlas of Anatidae populations in Africa and Western Eurasia. Wetlands International Publication, 1996. № 41. 336 p.
2. Кищинский А. А. Миграции птиц Восточной Европы и Северной Азии. Аистообразные-пластинчатоклювые / Под ред. А. А. Кищинского. М.: Наука, 1979. С. 70-75.
3. Минеев Ю.Н. Лебедь-кликун (*Cygnus cygnus*) на европейском Северо-Востоке СССР // Зоол. журн., 1988. Т. LXVII. Вып. 9. С. 1430-1433.
4. Минеев Ю.Н. Гусеобразные птицы восточноевропейских тундр / Под ред. А.А. Естафьева. Екатеринбург, 2003. 225 с.
5. Семенов-Тянь-Шанский О.И., Гилязов А.С. Экология лебедя-кликуна в Лапландском заповеднике // Экология и охрана лебедей в СССР: Материалы II Всесоюзного совещания по лебедям СССР, 21-24 сентября 1988, Одесса. Ч. 1. Мелитополь, 1990. С. 118-121.
6. Минеев О.Ю., Минеев Ю.Н. Птицы бассейна реки Вельт (Малоземельская тундра) // Рус. орнит. журн.: Экспресс-выпуск. 2002. №195. С. 771-788.
7. Кречмар А.В., Кондратьев А.В. Пластинчатоклювые птицы Северо-Востока Азии / Под ред. Ф.Б. Чернявского. Магадан, 2006. 458 с.
8. The status and distribution of Icelandic Whooper Swan population: results of the International Whooper Swan census 2000 / P.A.Cranswick, K.Colhoun, O.Einarsson, J.G.McElwaine, A.Gardarsson, M.S.Pollitt, E.C.Rees // Vogelvelt, 2002. Vol. 25 (Special Publication 1). P. 37-48.

9. *Haapanen A.* Whooper Swan *Cygnus c. cygnus* population dynamics in Finland // Wildfowl, 1991– Supplement. No. 1. P. 137-141.
10. *Distribution, numbers and habitat choice of the NW European Whooper Swan (Cygnus cygnus) population: results of an international census in January 1995* / B.Laubek, L.Nilsson, M.Wieloch, K.Koffijberg, C.Sudfeldt, A.Folletstad // Vogelvelt. 1999. № 20. P. 141-154.
11. *Luigujoe L., Kuresoo A., Leivits A.* Numbers and distribution of Whooper Swans breeding, wintering and migration in Estonia, 1999-2000// Waterbirds. 2002. Vol. 25 (Spec. Publication-1). P. 61-66.
12. *Бианки В.В.* К экологии лебедя-кликун на Кольском полуострове//Экология и охрана лебедей в СССР: Материалы II Всесоюзного совещания по лебедям СССР, 21-24 сентября 1988, Одесса. Ч. 1. Мелитополь, 1990. С. 76-81.
13. *Hokhlova T. Y., Artemjev A. V.* Reassessment of the Southern Limit for Whooper Swans breeding in Northwest Russia //Waterbirds. 2002. Vol. 25 (Spec. Publication 1). P. 67-73.
14. *Экология и миграция лебедей в СССР* / В.Г.Кривенко, А.В.Молочаев, В.И.Азаров, В.Г.Борщевский, Т.Н.Мартышин / Под ред. Е.В. Сыроечковского. М.: Наука, 1987. С. 94-95.
15. *Rees E. C., Black J. M., Spray C. J., Thorisson S.* Comparative study of the breeding success of Whooper Swans *Cygnus cygnus* nesting in upland and lowland regions of Iceland // Ibis. 1991. Vol.133. P. 365-373.

Статья поступила в редакцию 25.07.2011.

УДК 636.2:636.08.454:591.111

МЕТАБОЛИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ЭСТРАЛЬНЫХ ЦИКЛОВ У ЖИВОТНЫХ В ПЕРИОД ПОЛОВОГО СОЗРЕВАНИЯ

Т.Ф. ВАСИЛЕНКО

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

На основании исследования биохимического состава крови у животных в пубертатный период получены новые данные, отражающие физиологические механизмы формирования эстральной цикличности. У телок 12-13 и 15-17-мес. возрастов в ходе полноценных эстральных циклов перед оплодотворением общий белок крови достигает средних значений для взрослых животных (коров), а содержание альбуминов и глобулинов повышено до верхних пределов нормы.

Ключевые слова: биохимический состав крови, телки, эстральный цикл, половая зрелость

T.F.VASILENKO. METABOLIC MAINTENANCE OF ESTRUS CYCLES FORMATION IN ANIMALS AT PUBERTY

New data reflecting physiological mechanisms of the estrous cycle formation are obtained through studying biochemical content assay in blood serum in pubertal heifers. In dairy heifers aged 12-13 and 15-17 months during normal estrous cycles before fertilization, crude protein in blood reaches average values for adult cows, albumins and globulins content is raised to baseline reference values for cows.

Key words: blood biochemical content, heifers, estrous cycle, puberty

Выявление фундаментальных физиолого-биохимических закономерностей формирования эстральных (половых) циклов у домашних жвачных животных является актуальной проблемой физиологии. Онтогенез репродуктивного развития животных определен генетически. По достижении определенного соматического развития самок при реализации генетической программы половой зрелости используются метаболические сигналы для включения гонадотропи-рилизинг-гормон – пульсового генератора [1]. Вместе с тем, какие метаболические пути вовлекаются в регуляцию половой зрелости и овуляции остается неясным. Половое созревание – это сложный процесс развития, который имеет место как во всем организме, так и в гонадо - гормональной системе, в частности. В литературе имеются лишь немногочисленные данные о молекулярных и биохимических механизмах, контролирующих становление и окончание формирования стадии половой зрелости у самок. Показано, что возобновление полноценной эстральной активности у взрослых животных (коров) зависит от содержания отдельных метаболитов в крови [2–5]. Установлены индивидуальные особенности динамики отдельных фракций липидов в крови коров, не связанные с возрастом, питанием и уровнем молокопродукции, которые отражают специфику перестройки метаболических потоков при переходе от состояния беременности к послеродовому периоду и определяют условия для восстановления полно-

ценных эстральных циклов и оплодотворения [5, 6]. Вместе с тем, динамика содержания холестерина и других метаболитов в крови телок в ходе формирования эстральных циклов в пубертатный период до последнего времени не исследована.

Целью настоящей работы являлось изучение особенностей биохимического состава крови у телок в процессе формирования эстральной цикличности. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Выполнить сравнительный анализ биохимического состава крови у самок жвачных животных 6-18-месячного возраста в период становления половой зрелости.

2. Исследовать формирование физиологически полноценных эстральных циклов у телок 12-18-месячного возраста по результатам определения биохимического состава крови.

3. Выяснить закономерности ускоренного формирования полноценных эстральных циклов у растущих животных в период становления половой зрелости.

Материалы и методы

Исследования выполняли на клинически здоровых животных фермы Вильгортской научно-экспериментальной биологической станции Коми научного центра с декабря по июнь-месяц 2007-2009 гг. Обследовали телок холмогорской породы 6-20-месячного возраста в период становления по-

ловой зрелости ($n = 43$). Указанные исследования на животных проведены с соблюдением этических принципов биологических исследований, о чем имеется заключение независимого локального Комитета по биоэтике Учреждения Российской академии наук Институт физиологии Коми НЦ УрО РАН. Кормление осуществляли по нормам ВИЖа, согласно определенным возрастным периодам [7]. Рост и развитие животных контролировали по результатам ежемесячных взвешиваний и состоянию здоровья.

Исследовали особенности формирования эстральных циклов у самок домашних жвачных животных в период становления половой зрелости. Половую охоту определяли по наличию признаков, характерных для самок в этот период: увеличения двигательной активности, отказ от корма и появления течки (выделения цервика-вагинального секрета из половых органов). Длительность одного эстрального цикла фиксировали как период между двумя овуляциями. В ходе возобновления повторных циклов животных обследовали в середине цикла (за 7-10 дней до овуляции), в конце цикла перед овуляцией, а также после оплодотворения на первом-втором месяцах беременности.

Взятие образцов крови из яремной вены осуществляли через 3 ч после утреннего кормления. В сыворотке крови исследовали содержание общего белка и альбуминов с применением наборов «Vital diagnostics» (Санкт-Петербург). По разнице между уровнем общего белка и альбуминами сыворотки крови рассчитывали содержание глобулинов и альбумино-глобулиновый коэффициент по формуле:

$$\text{А/Г коэффициент} = \frac{\text{Концентрация альбуминов}}{\text{Концентрация глобулинов}}$$

Содержание общего холестерина и холестерина липопротеидов высокой плотности (холестерин ЛПВП) в сыворотке крови определяли с использованием наборов «Vital diagnostics» (Санкт-Петербург). Полученные результаты обрабатывали статистически с использованием пакета прикладных программ Statistica for Windows (Basic). Достоверность различий оценивали по критерию Стьюдента при уровнях значимости от 0,05 до 0,001.

Результаты и обсуждение

Одним из индикаторов энергетического обмена и активности отдельных функциональных систем организма животных является состав крови. Имеется мнение, что пусковым механизмом овуляторного цикла у телок может служить не только достижение критической живой массы тела, но и накопление определенной массы жиров [1].

Результаты проведенных исследований биохимического состава крови у телок в возрасте 6-18 месяцев подтверждают гипотезу, что формирование у животных полноценных эстральных циклов, оплодотворения и развития беременности характеризуется определенным метаболическим статусом. Установлено, что уже в ранний препубертатный период (6 месяцев жизни) содержание общего белка и альбуминов в крови телок находится на уровне нижних пределов нормы для взрослых коров (табл. 1). С возрастом наиболее заметные изменения в крови определяются в содержании глобулинов и

Таблица 1

Биохимический состав крови у телок в препубертатный период

Возраст животных, мес.	Общий белок, г/л	Альбумины, г/л	Глобулины, г/л	А / Г коэффициент	Общий холестерин, ммоль/л	Холестерин ЛПВП, ммоль / л
6,1 - 7,0	69,5±1,5(18) (57,1-79,8)	42,1±0,9(10) 36,4±0,4 ¹⁾ (8) (35,0-46,0)	37,7±1,1 (8) 23,8±1,3 ¹⁾ (10) (17,7-40,2)	1,1±0,1(11) (0,8-2,23)	4,5±0,3(5) 3,1±0,1 ²⁾ (13) (2,31-5,5)	1,6±0,1(17) (0,9-2,0)
7,1 - 8,0	73,6±2,0(8) (63,9-81,7)	40,7±1,0 (4) 34,1±1,6 ³⁾ (4) (29,2-42,5)	43,1±1,8(3) 31,4±2,8 ³⁾ (5) (29,2-42,5)	1,5±0,2(4) 0,8±0,1 ³⁾ (4) (0,7-2,0)	4,0±0,2(7) (3,2-4,7)	1,6±0,1(6) (1,3-2,9)
8,1 - 9,0	72,5±1,9 (10) (63,3-82,8)	41,2±0,5 (5) 33,7±1,1 ¹⁾ (5) (30,7-42,8)	35,4±2,4 (10) (22,9-51,0)	1,2±0,1(10) (0,6-1,8)	6,1±0,3(5) 4,0±0,4 ³⁾ (5) (3,0-6,9)	1,5±0,1 ³⁾ (10) (0,8-2,1)
9,1 - 10,0	75,4±2,0 (10) (64,0-85,7)	48,0 (2) 35,5±1,6 (8) (25,0-52,4)	47,0±3,2 (3) 33,7±1,4 ²⁾ (7) (26,4-52,8)	1,1±0,1(9) 0,4(1) (0,4-1,7)	4,9±0,5(6) 2,8±0,2 ²⁾ (4) (2,3-6,5)	1,9±0,1(8) (0,8-2,3)
10,1 - 11,0	71,7±0,9(14) (67,6-76,8)	43,2±1,2(14) (38,9-52,0)	30,2±1,6 (11) 20,2±0,9 ¹⁾ (3) (18,4-38,5)	2,5±0,2 (3) 1,4±0,1 ¹⁾ (11) (1,0-2,8)	5,6±0,4(7) 3,3±0,3 ²⁾ (7) (3,8-5,9)	1,7±0,1(14) (1,3-2,3)
11,1-12,0	70,8±1,6(22) (59,5-87,1)	46,3±0,4 (4) 38,5±0,5 ¹⁾ (18) (34,0-47,0)	31,1±1,7 (22) (19,1-48,3)	1,4±0,1(22) (0,8-2,3)	4,8±0,2(14) 3,2±0,2 ¹⁾ (7) (2,8-5,6)	1,7±0,1(22) (1,1-2,3)

Примечания: значения показателей крови у животных вторых подгрупп заметно снижены, чем у телок-аналогов в первых возрастных подгруппах, с достоверностью различий при ¹⁾ - $p < 0,001$; при ²⁾ - $p < 0,01$ и при ³⁾ - $p < 0,05$; рядом с показателями в скобках указано количество обследованных животных; жирным шрифтом выделены минимальные и максимальные значения биохимических показателей.

общего холестерина. Содержание этих веществ у животных до 15-месячного возраста нестабильно. При этом уровни глобулинов и общего холестерина у телок одного возраста в разных подгруппах достоверно различаются в 1,3-1,8 раза (табл. 1 и 2).

Холестерин ЛПВП у животных в препубертатный период составляет менее 50% от уровня общего холестерина крови. У циклирующих телок с 14-месячного возраста его содержание увеличивается и достигает 2,0-2,3 ммоль/л при содержании общего холестерина в пределах 2,8-4,6 ммоль/л (табл. 2).

жания альбуминов в крови у животных с прогнозируемым уровнем молочной продуктивности [10].

Содержание общего холестерина в крови телок пубертатного возраста стабилизируется в пределах 2,3-4,9 ммоль/л (табл. 2). Эти данные подтверждают результаты исследований других авторов [11, 12, 13]. Ранее нами установлено, что концентрация общего холестерина в крови является одним из информативных биохимических маркеров. Его можно использовать как важную характеристику условий в организме коров для восстановления

Таблица 2

Биохимический состав сыворотки крови у телок при формировании эстральной цикличности в пубертатный период

Возраст животных, мес.	Общий белок, г/л	Альбумины, г/л	Глобулины, г/л	А / Г коэффициент	Общий холестерин, ммоль/л	Холестерин ЛПВП, ммоль/л
12,1 – 13,0	72,7±1,6(17) (59,4-81,6)	40,2±1,0 (16) (35,7-50,1)	35,3 ±1,9 (13) 19,8 ±1,1 ¹⁾ (4) (18,2-48,1)	1,2±0,1(14) (0,7-2,6)	4,7±0,2(11) 3,3±0,2 ¹⁾ (6) (2,9-5,8)	1,7±0,1 (14) (0,7-2,4)
13,1 – 14,0	69,9±2,5(10) (60,8-84,2)	41,7±1,2 (8) 54,6 (2) (36,8-55,2)	37,0 ±0,9 (3) 22,9 ±1,7 ¹⁾ (7) (19,2-38,2)	1,7±0,2(10) (1,0-2,8)	4,9±0,5(5) 3,1±0,2 ¹⁾ (5) (2,5-6,5)	1,7±0,1 ²⁾ (10) (1,2-2,4)
14,1 – 15,0	69,3±1,5(14) (61,6-81,4)	41,0±1,2 (14) (35,1-48,7)	33,7±2,1 (9) 21,5 ±1,3 ¹⁾ (5) (17,9-47,1)	1,5±0,1(14) (0,6-2,4)	3,3±0,1(12) 4,60(2) (2,5-4,9)	2,3±0,1(14) (1,5-3,2)
15,1 – 16,0	69,8±1,8(8) (60,6-76,3)	43,3 ±4,3 (8) (32,6-4,3)	31,4 ±5,0 (7) (19,1-41,3)	1,4±0,2(7) (0,8-2,1)	3,5±0,2(9) (2,3-4,3)	2,3±0,1(9) (1,7-2,9)
16,1 – 17,0	67,5±2,1(10) (56,1-75,6)	39,2 ±2,1 (9) (32,4-47,6)	28,8 ±1,9 (9) (26,0-38,7)	1,4±0,2(9) (0,8-2,6)	2,9±0,3(13) (2,5-3,8)	2,0±0,2(10) (1,2-2,5)
17,1 – 18,0	70,5±5,6(4) (57,4-84,0)	36,3 ±2,4 (4) (29,8-40,6)	34,3±6,7 (4) (29,0-40,0)	1,6±0,3(4) (0,7-2,3)	2,8±0,3(5) (2,6 -3,7)	2,3±0,1(6) (1,7-2,6)
18,1 – 20,0	74,3 (2) (71,0-77,6)	44,8 (2) (41,8-47,8)	29,5 (2) (29,2-29,8)	1,6 (2) 1,6	2,7 (3) (2,3-3,1)	2,0 (2) (1,6-2,4)

Данные по белковому спектру крови у телок 12-16-месячного возраста со средними привесами свыше 600-700 г/сут. согласуются с результатами, полученными для молодняка других пород крупного рогатого скота [8]. У животных аналогичного возраста общий белок определяется на уровне 70 г/л, альбуминов – 40- 43 г/л и выше, глобулинов – 32-37 г/л.

Для характеристики условий в организме, обуславливающих восстановление необходимых для оплодотворения самок животных полноценных эстральных циклов, наиболее информативными оказались показатели общего белка и глобулинов (рисунок).

В раннем пубертатном периоде в возрасте 12-14 мес. до 30% животных имели низкое содержание глобулинов на уровне 20-23 г/л при общем содержании белка 70 г/л и альбуминов - 40-50 г/л. Высокий уровень альбуминов у циклирующих животных может быть показателем эффективности использования питательных веществ корма [9], а также свидетельствует о повышении уровня пластических, а возможно, и энергетических резервов у телок непосредственно перед оплодотворением. Установлена положительная взаимосвязь содер-

эстральных циклов в послеродовой период [5, 6]. Для молодых животных, проявляющих полноценные или неполноценные эстральные циклы, не являются достоверные различия по содержанию общего холестерина в сыворотке крови. Для телок в этот период характерным является повышение уровня холестерина ЛПВП до 2,0-2,3 ммоль/л.

Заключение

На основании исследования особенностей биохимического состава крови у продуктивных животных в пубертатный период получены новые данные, отражающие физиологические механизмы формирования эстральной цикличности. Определены особенности метаболического обеспечения формирования физиологически полноценных циклов у телок в период полового созревания. У животных 12-13- мес. и 15-17-мес. возрастов в ходе полноценных эстральных циклов перед оплодотворением общий белок находится на средних уровнях, характерных для взрослых животных, а содержание альбуминов и глобулинов повышено до верхних пределов нормы. В полноценные циклы общий холестерин в сыворотке крови у животных

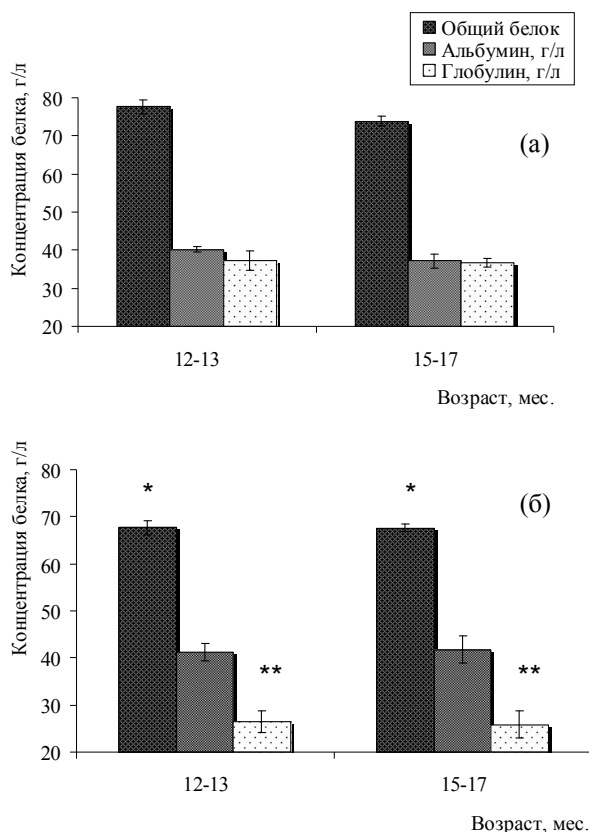


Рис. Содержание белков крови у телок в полноценные эстральные циклы (а) и в неполноценные циклы (б) перед оплодотворением:

* - $p < 0,01$, ** - $p < 0,05$ - достоверно ниже, чем у животных -аналогов в полноценные эстральные циклы

12-14 мес. возраста в полтора раза превышает его содержание у телок 15-17 мес. возраста в циклах перед оплодотворением. При этом содержание холестерина в липопротеидах высокой плотности имеет сходные величины.

Литература

1. Bronson F.H., Mannig J.M. The energetic regulation of ovulation: a realistic role for body fat // *Biol. Reprod.* 1991. Vol. 44. P. 945-950.
2. Francisco C.C., Spicer L.J., Payton M.E. Predicting cholesterol, progesterone, and days to ovulation using postpartum metabolic and endocrine measures // *J. Dairy Sci.* 2003. Vol. 86. P. 2852 – 2863.
3. Reist M., Erdin D.K., von Euw D. et al. Postpartum reproductive function: association with energy, metabolic and endocrine status in high yielding dairy cows // *Theriogenology.* 2003. Vol. 59. № 8. P. 1707-1723.
4. Bearden H.J., J.W. Fuquay, S.T. Willard. *Applied Animal Reproduction.* Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education, 2004. 428 p.
5. Василенко Т.Ф. Закономерности возобновления и метаболического обеспечения эстральных циклов у домашних жвачных животных // *Усп. физиол. наук.* 2008. Т.39. № 1. С. 77-90.
6. Василенко Т.Ф., Рощевский М.П. Роль общего холестерина в восстановлении эстральных циклов у животных // *Докл. АН.* 2008. Т. 418, № 4. С. 562-563. Vasilenko T.F., Roshchevsky M.P. The role of total cholesterol in restoration of estrous cycles in animals // *Doklady Biol. Sci.* 2008. Vol.418. P. 11-12.
7. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: Справочное пособие. Часть 1. Крупный рогатый скот/ Под ред. А.П.Калашникова, Н.И.Клейменова, В.В.Щерлова. М.: Знание, 1995. 400 с.
8. Abeni F., Calamari L., Stefanini L. et al. Effect of daily gain in pre- and postpubertal replacement dairy heifers on body condition score, body size, metabolic profile and future milk production // *J. Dairy Sci.* 2000. Vol.83. P. 1468-1478.
9. Bolanos J.M., Meneses A., Forsberg M. Resumption of ovarian activity in zebu cows (*Bos indicus*) in the humid tropics; influence of body condition and levels of certain blood components related to nutrition // *Trop. Anim. Health Prod.* 1996. Vol. 28 (3). P. 237-246.
10. Kitchenham B.A., Rowlands C.J., Shorbagi H. Relationships of concentrations of certain blood constituents with milk yield and age of cows in dairy herds // *Res. Vet. Sci.* 1975. Vol. 18 (3). P. 249-252.
11. Lammoglia M.A., Bellows R.A., Grings E.E. et al. Effects of dietary fat and sire breed on puberty, weight, and reproductive traits of F1 beef heifers // *J. Anim. Sci.* 2000. Vol.78. P. 2244-2252.
12. Mingoti G.Z., Nogueira E., Loureiro J.M. et al. Metabolic status, follicular development and in vitro production of embryos in Nelore heifers fed with different energy levels and fat supplementation // *Anim. Reprod.* 2009. Vol. 6 (1). P.274.
13. Miguel M.C.V., Oliveira L.Z., de Lucio A.C. et al. Influence of supplementation with protected unsaturated fat in prepubertal Nelore heifers on the ovulation rate, blood glucose and cholesterol concentration during the rainy season // *Anim. Reprod.* 2009. Vol. 6 (1). P.235.

Статья поступила в редакцию: 03.05.2011

УДК: 612.13 (470.13)

АРТЕРИАЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ У МУЖЧИН И ЖЕНЩИН СЕВЕРА

Н.Г. ВАРЛАМОВА

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

Определены возрастные и региональные особенности артериального давления (АД) у 278 практически здоровых сельских жителей Республики Коми (65° с.ш.), мужчин и женщин в возрасте 20-59 лет. Выявлено, что уровень АД у мужчин и женщин Европейского Севера и его возрастной прирост по десятилетиям жизни выше, чем у жителей более комфортных климатических зон.

Ключевые слова: артериальное давление, мужчины, женщины, Север

N.G. VARLAMOVA. ARTERIAL PRESSURE IN MEN AND WOMEN OF THE NORTH

Age and regional special features of arterial blood pressure (ABP) of 278 practically healthy villagers of the Republic of Komi (65° N.L.), men and women, at the age of 20-59 were studied. The material is processed statistically by the method of single-factorial dispersive analysis and of t-Student's criterion. ABP and its age gain on decades of life of men and women of the European North are higher than of those living in more comfortable climatic zones.

Key words: arterial blood pressure, human, the North

Изменение демографической ситуации в Российской Федерации в последнее время отмечается увеличением числа лиц пожилого и старческого возраста, вследствие чего процесс старения все чаще становится объектом многих медико-социальных исследований. Для людей, проживающих длительно в условиях Севера, характерна специфическая форма хронического напряжения, вызванная снижением устойчивости организма в суровых условиях. Достоверное смещение показателей заболеваемости и смертности жителей Севера (особенно от сердечно-сосудистой патологии) на молодой и средний трудоспособный возрасты позволяет говорить об ускорении процессов старения у пришлого населения. Одним из важнейших показателей старения является уровень артериального давления (АД), входящий во все формулы расчета биологического возраста. У пациентов с гипертонической болезнью ускоренный темп старения наблюдается в 62% случаев, отмечается превышение биологического возраста над паспортным на 8,6% ($P < 0.05$) [1].

Высокий возрастной уровень АД у жителей Севера [2,3] формируется раньше, чем у населения, проживающего в более комфортном климате. Артериальная гипертензия (АГ), являясь мультифакторным заболеванием, развивается как нарушение процессов адаптации человека к условиям окружающей среды при наличии генетически предопределенных нарушений механизмов регуляции и на фоне возникающих патофизиологических и инволютивных процессов в организме [4]. Ряд многоцентровых контролируемых исследований к концу

XX – началу XXI в. позволил оценить вклад АГ в сердечно-сосудистый континуум: наличие АГ повышает в два-четыре раза риск развития хронической сердечной и почечной недостаточности, острого нарушения мозгового кровообращения [4,5].

Целью нашей работы было изучение уровня артериального давления в различных возрастных группах у мужчин и женщин, проживающих в условиях Европейского Севера.

Объекты и методы исследования

Для определения возрастных и региональных особенностей АД обследованы 278 практически здоровых жителей с. Ижма Республики Коми (РК) (65° с.ш.) в возрасте 20-59 лет, стаж проживания которых на Севере сравним с возрастом.

Офисный уровень АД измеряли трижды на левой руке методом Короткова у мужчин и женщин в возрастных группах 20-29, 30-39, 40-49 и 50-59 лет, учитывая минимальное значение показателя. Материал обработан статистически методом однофакторного дисперсионного анализа и с вычислением *t* критерия Стьюдента [6].

Результаты и обсуждение

Антропометрические характеристики обследованного контингента представлены в табл. 1. С возрастом от 20 к 59 годам у мужчин уменьшился рост в среднем на 7.7 см, у женщин – на 3.6 см, и увеличилась масса тела соответственно на 7.8 и 11.6 кг ($P < 0.01$).

Показатели систолического (АДс) и диастолического (АДд) артериального давления у мужчин

Таблица 1

Антропометрические показатели обследованных мужчин и женщин ($M \pm \sigma$)

Пол	Возрастная группа, лет	n	Возраст, лет	Рост, см	Масса тела, кг
F критерий			P < 0.001	P < 0.001	P < 0.01
Мужчины	20-29	36	26.6±1.7***	170.8±5.8***	68.9± 7.9***
	30-39	21	33.7±2.3	166.6±8.1***	70.1±10.5***
	40-49	24	43.2±2.5	168.9±6.2***	76.5±10.9**
	50-59	21	54.4±2.7	163.1±4.9***	76.7±11.0***
F критерий			P < 0.001	P < 0.001	P < 0.001
Женщины	20-29	40	24.6±3.1***	157.4±4.5***	53.1± 6.5***
	30-39	54	33.6±2.1	156.1±4.1***	59.6± 9.1***
	40-49	45	42.4±1.9	157.7±4.5***	69.3± 9.6**
	50-59	37	53.1±2.5	153.8±4.5***	64.7± 9.7***

Примечание: (F – критерий, различия между значениями показателей внутри возрастной группы); *** – P < 0.001, ** – P < 0.01 (t – критерий, различия между значениями показателей у мужчин и женщин одинаковых возрастных групп).

и женщин представлены в табл. 2 и на рис. 1- 4. У мужчин Севера АД уже в 20-29 лет выше, чем у мужчин, проживающих в более комфортных климатических условиях [7, 8] (рис. 1-2). Систолическое АД у мужчин РК выше (P<0.001) на 9.5-26.8 мм рт. ст., чем у мужчин Ленинграда [8] и на 10.0-22.8 мм рт. ст., чем у сельских жителей Узбекистана [7].

Таблица 2

Артериальное давление у мужчин и женщин в покое лежа ($M \pm \sigma$)

Факторы			Систолическое АД, мм рт.ст.	Диастолическое АД, мм рт.ст.
			P < 0.001, F критерий	P < 0.001, F критерий
Возраст, лет	Мужчины	20 - 29	127.5***	79.3**
			9.7	8.0
		30 - 39	130.9***	82.9***
			12.4	9.4
		40 - 49	144.8**	89.1
			18.1	8.5
		50 - 59	142.7	85.6
			14.5	7.5
			P < 0.001, F критерий	P < 0.001, F критерий
	Женщины	20 - 29	117.9***	73.0**
			9.9	9.2
		30 - 39	119.8***	75.1***
			11.3	7.7
		40 - 49	131.0**	85.5
			15.7	9.9
		50 - 59	142.5	85.1
			20.6	9.3

Для диастолического АД мужчин РК эти различия составляют соответственно 3.9-6.6 и 4.2-13.3 мм рт.ст. У женщин-северянок увеличение АД по сравнению с женщинами, проживающими в более ком-

фортных климатических условиях, проявляется наиболее отчетливо после 30-39 лет (рис. 3-4). У женщин Севера АДс, в сравнении с женщинами Ленинграда [8], выше на 4.9-13.5 мм рт.ст., в сравнении с сельскими жительницами Узбекистана [7] – на 0.8-21.7 мм рт.ст., АДд у северянок выше соответственно на 0.1-7.5 и на 1.3-13.2 мм рт.ст.

Согласно ультрафиолетовой концепции [9], АД растет линейно от экватора к полюсу с увеличением географической широты: сниженный эпидермальный синтез витамина D3 связан с высоким содержанием кожного мелатонина и малой интенсивностью ультрафиолетового света при удалении от экватора, что может привести к уменьшению запасов витамина D3 и увеличению секреции паратиреоидного гормона. Эти изменения могут стимулировать рост гладких мышц в сосудах, повышать их сократимость, действуя на внутриклеточный кальций, адренергическую реактивность и/или эндотелиальную функцию, что, вероятно, и влияет на географическую величину АД.

Выделение надпочечниками в кровь адреналина и норадреналина является обычной реакцией на холод. Известен повышенный симпатoadреналовый фон у жителей севера [2, 10]. Сосудосуживающий эффект в ответ на холодное раздражение связан и с изменением чувствительности α- и β-адренорецепторов, симпатической стимуляцией и состоянием интактного эпителия, в частности, наличием или отсутствием атеросклеротических изменений [11]. При адаптации к холоду увеличивается чувствительность тканей к норадреналину, что свидетельствует о переходе организма на более экономный путь регуляции [12]. Эта адаптивная реакция может, по-видимому, быть и одной из причин роста АДс на Севере. Однако не всегда имеется связь между концентрацией норадреналина и повышением АД. Взаимодействие симпатической нервной системы со многими другими факторами, влияющими на АД, мешает получению точных данных о ее роли при первичной гипертензии [13].

Возрастное увеличение массы тела, имеющее место у обследованного нами контингента, как показано в некоторых работах [14, 15], также могло индуцировать повышение АД, так как способствовало усилению симпатической активности и увеличению в плазме крови содержания норадреналина [14].

Усиленное продуцирование с возрастом глюкокортикоидов приводит к снижению чувствительности тканей к инсулину за счет конкурирующего влияния кортизола и его метаболитов. Глюкокортикоиды повышают активность глюкозо-6-фосфатазы, вызывая гипергликемию, индуцирующую гиперлипотеидемию, способствующую развитию атеросклероза [16], а следовательно, и росту АД.

С возрастом происходит и морфофункциональная инволюция сердца и артерий, ведущая к повышению АД [4,5], уменьшается барорецептивная функция синокаротидной и аортальной зон [17], появляются признаки атеросклероза [4,5]; снижается плотность и увеличивается толщина базальной мембраны капилляров сердца [18].

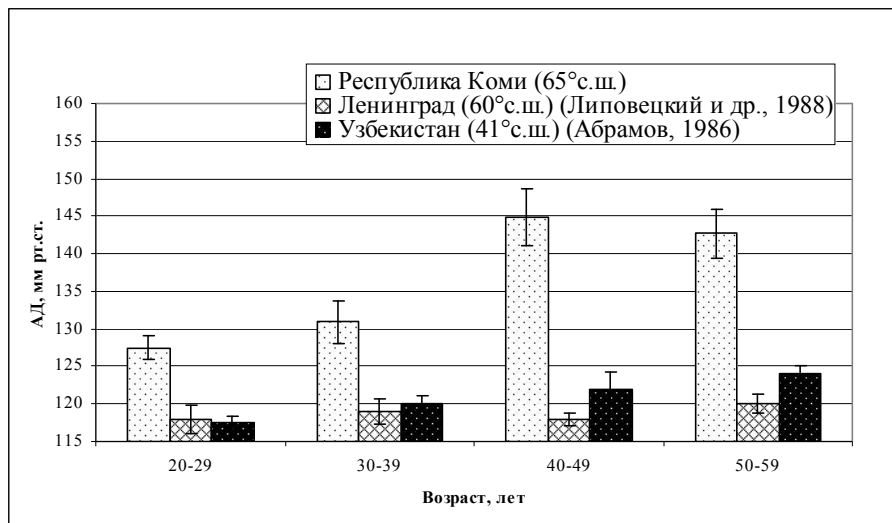


Рис. 1. Систолическое артериальное давление у мужчин разного возраста и региона ($P < 0.001$, F критерий).

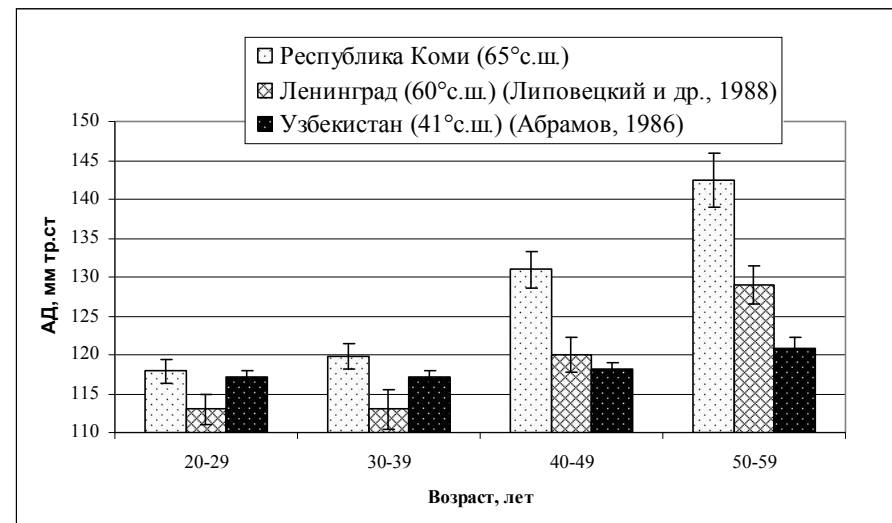


Рис. 3. Систолическое артериальное давление у женщин разного возраста и региона ($P < 0.001$, F критерий).

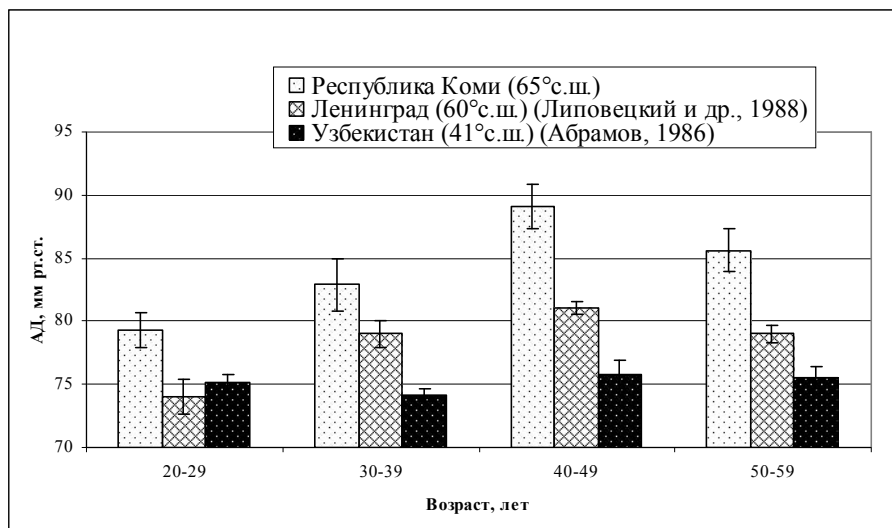


Рис. 2. Диастолическое артериальное давление у мужчин разного возраста и региона ($P < 0.001$, F критерий).

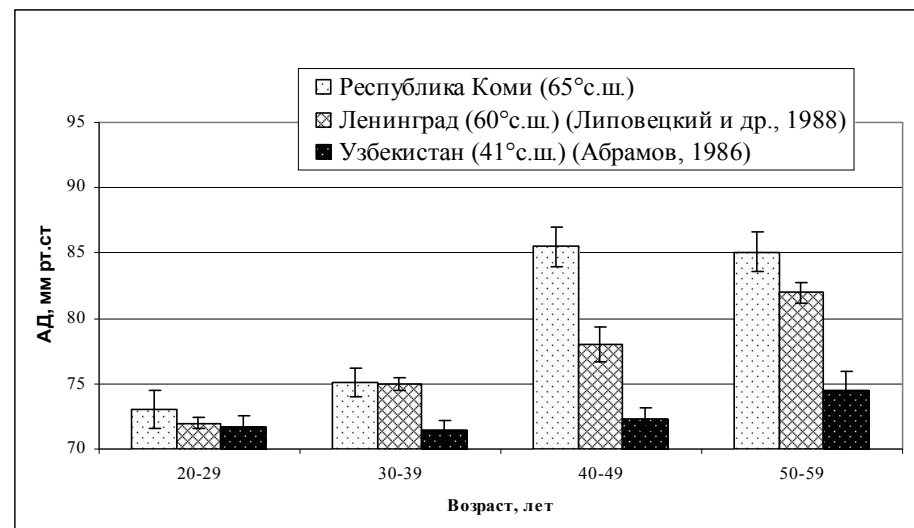


Рис. 4. Диастолическое артериальное давление у женщин разного возраста и региона ($P < 0.001$, F критерий).

С возрастом человек меньше двигается. Под влиянием гипокинезии извращаются эффекты синокаротидных рефлексов, возникает разбалансированность регуляторных систем [19], что также может приводить к росту артериального давления. Увеличение АД у женщин с возрастом, особенно после 30-39 лет, по-видимому, связано с угасанием репродуктивной функции и изменением гормонального фона [20].

На Севере люди употребляют больше консервированных продуктов, а значит, и поваренной соли. На основе экспериментальных данных, А. Гайтоном [21] предложена «соляная» теория, согласно которой при чрезмерном употреблении поваренной соли нормальная экскреция натрия возможна только при повышении системного АД. При этом увеличивается перфузионное давление в почечных сосудах, и за счет этого растёт диурез. В данном случае повышение АД носит компенсаторный характер, так как более высокое АД направлено на поддержание нормального водно-электролитного баланса в организме.

Одним из механизмов развития артериальной гипертензии может быть неадекватное реагирование систем адаптации и компенсации [22], а также, вероятно, нахождение большей части года жителей Севера в условиях холодного климата в момент реализации и закрепления адаптивных факторов, способствующих поддержанию более высокого уровня АД. По мнению Б.И. Шулуто [22], гиперфункция механизмов для поддержания нормального уровня АД в силу различных причин превращает их звенья в патогенез артериальной гипертензии.

Таким образом, артериальное давление у мужчин и женщин Европейского Севера выше, чем у жителей комфортных климатических зон и более значимо выражен его возрастной прирост по десятилетиям жизни, чем у проживающих в теплом климате. Более высокий уровень артериального давления у жителей Севера, являясь фактором риска сердечно-сосудистых заболеваний, несомненно, может быть вызван как комплексом адаптивных реакций к условиям холодного климата, так и влиянием социальных факторов. Это требует дальнейшего исследования проблемы для разработки путей и методов эффективной коррекции гипертензивных реакций и увеличения продолжительности жизни.

Литература

1. Плакуев А.Н., Юрьева М.Ю., Юрьев Ю.Ю. Современные концепции старения и оценка биологического возраста человека // Экологическая физиология, 2011. №4. С.17-25.
2. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Марачев А.Г., Милованов А.П. Патология человека на Севере. М.: Медицина, 1985. 416 с.
3. Евдокимов В.Г. Состояние кардиореспираторной системы человека на Севере // Сезонная динамика физиологических функций у человека на Севере. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. С. 69.
4. Джанашия П.Х., Потешкина Н.Г., Селиванова Г.Б. Артериальная гипертензия. М.: Миклош, 2007. 168 с.
5. Барсуков А.В., Шустов С.Б. Артериальная гипертензия, клиническое профилирование и выбор терапии. СПб.: ЭЛБИ-СПб, 2004. 255 с.
6. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1980. 293 с.
7. Абрамов М.С. Артериальное давление у здорового населения. Ташкент: Медицина, 1986. 116 с.
8. Липовецкий Б.М., Плавинская С.И., Ильина Г.Н. Возраст и функция сердечно-сосудистой системы человека. Л.: Наука, 1988. 91 с.
9. Rostand S.G. Ultraviolet light may contribute to geographic and racial blood pressure differences // Hypertension, 1997. Vol.30. № 2. P. 150.
10. Бойко Е.Р. Физиолого-биохимические основы жизнедеятельности человека на Севере. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 190 с.
11. Corretti M.C., Plotnick G.D., Vogel R.A. The effects of age and gender on brachial artery endothelium - dependent vasoactivity are stimulus - dependent // Clin. Cardiol. 1995. Vol.18. № 8. P.471-476.
12. Leblanc J., Villemarie A. Thyroxine and noradrenaline on noradrenaline sensitivity, cold resistance, and brown fat // Amer. J. Physiol., 1970. Vol.218. № 6. P. 1742-1745.
13. Weber M.A., Drayer Y.I.M. The sympathetic nervous system in primary hypertension // Min. Electr. Metab., 1982. № 7. P. 57-66.
14. Kazuko M., Mikami H., Ogihara T., Tuck M.L. Weight gain-induced blood pressure elevation // Hypertens. 2000. Vol. 35. № 5. P. 1135-1140.
15. Евдокимов В.Г., Рогачевская О.В., Варламова Н.Г. Модулирующее влияние факторов Севера на кардиореспираторную систему человека в онтогенезе. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 257 с.
16. Смирнова И.П., Воронцова Е.Н. Нарушение гормональной регуляции при ишемической болезни // Кардиология. 1987. Т. 27. № 3. С.58-62.
17. Гельцер Б.И., Котельников В.Н. Суточный профиль артериального давления и его взаимосвязь с вегетативной регуляцией сердца при изолированной систолической и систоластической артериальной гипертензии у пожилых // Кардиология, 2001. Т.41. № 4. С. 55.
18. Мишинева Е.Ю., Королькова О.М. Механизм уменьшения с возрастом относительной величины минутного объема крови // Успехи физиол. наук, 1994. Т.25. № 3. С.98.
19. Григорьев А.И., Федоров Б.М. Стрессы в условиях нормального образа жизни, при гипокинезии (моделирующей эффекты невесомости) и в космических полетах // Физиол. человека, 1996. Т. 22. № 2. С. 10.
20. Sugiyama Y., Mano T. Effect of ageing on the coherence between muscle sympathetic nerve activity and arterial blood pressure in humans // Environ. Med., 1997. Vol.41. № 2. P. 138-140.
21. Guyton A.C., Coleman T.G., Granger H.J. Circulation: overall regulation // Ann. Rev. Physiol., 1972. 34. 13-46.
22. Шулуто Б.И. Артериальная гипертензия 2000. СПб.: РЕНКОР, 2001. 382 с.

Статья поступила в редакцию 22.07.2011.

УДК 612.123.015.3

РОЛЬ АПОЛИПОПРОТЕИНА-Е В РАЗВИТИИ ГИПЕРТРИГЛИЦЕ- РИДЕМИИ У ЖИТЕЛЕЙ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ

А.М. КАНЕВА, Н.Н. ПОТОЛИЦЫНА, Е.Р. БОЙКО

Институт физиологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
amkaneva@mail.ru

Исследовано содержание аполиipoproteина-Е в сыворотке крови у жителей европейского Севера России при нормолипидемии и гипертриглицеридемии. Показано, что развитие гипертриглицеридемии у обследованных лиц наблюдается при низких уровнях аполиipoproteина-Е и обусловлено снижением рецептор-опосредованного клиренса липопротеинов очень низкой плотности и нарушением метаболических превращений данных липопротеинов.

Ключевые слова: аполиipoprotein-Е, гипертриглицеридемия, липопротеины, жители европейского Севера России

A.M. KANEVA, N.N. POTOLITSYNA, E.R. BOJKO. ROLE OF APOLI- POPROTEIN-E IN DEVELOPMENT OF HYPERTRIGLYCERIDEMIA IN RESIDENTS OF THE EUROPEAN NORTH OF RUSSIA

The level of apolipoprotein-E in the blood serum of residents of the European North of Russia with normolipidemia and hypertriglyceridemia was studied. It was shown that development of hypertriglyceridemia in northerners is observed at low apolipoprotein-E level and is determined by the decrease in the receptor-mediated clearance of very low density lipoproteins and the disturbance of metabolic conversions of these lipoproteins.

Key words: apolipoprotein-E, hypertriglyceridemia, lipoproteins, residents of the European North of Russia

Роль гипертриглицеридемии как фактора риска атеросклероза остается предметом обсуждения. Ряд исследователей рассматривают гипертриглицеридемию как вторичный, не имеющий самостоятельного значения фактор, зависящий от метаболических нарушений в организме, и считают, что его определение не способствует уточнению или изменению риска развития сердечно-сосудистой патологии у населения [1, 2]. В то же время, результаты эпидемиологических исследований последних лет убедительно показывают наличие умеренно выраженной, однако достоверной и независимой связи повышения уровня триглицеридов с риском развития ишемической болезни сердца как у мужчин, так и женщин. Поэтому большинство исследователей в настоящее время относит гипертриглицеридемию к серьезным нарушениям липидного обмена и рассматривает ее в качестве независимого и важного фактора риска сердечно-сосудистых заболеваний [3-5].

Причинами развития гипертриглицеридемии являются повышенное образование липопротеинов очень низкой плотности (ЛПОНП) в печени, нарушение гидролиза триглицеридов в хиломикронах (ХМ) и ЛПОНП и превращения их в ремнанты, блокада рецепторного поглощения ремнантов ХМ и ЛПОНП клетками [6]. Важную роль в этих процессах играет метаболически активный апобелок – аполи-

ipoprotein-Е (apoE). В качестве лиганда специфических рецепторов apoE обеспечивает захват и удаление липопротеинов из периферической крови. Установлено участие apoE и в синтезе ряда липопротеинов [7, 8].

Развитие гипертриглицеридемии у животных описано как при отсутствии apoE, так и при избыточном содержании апобелка. При apoE-дефицитных состояниях наблюдается нарушение захвата и деградации ремнантов ХМ и ЛПОНП [9, 10]. Высокие концентрации apoE оказывают стимулирующий эффект на синтез ЛПОНП и снижают скорость гидролиза триглицеридов в составе ЛПОНП [11, 12].

Цель настоящего исследования – определить функциональное значение apoE в развитии гипертриглицеридемии у жителей европейского Севера.

Материал и методы

В работе обследованы практически здоровые мужчины (возраст 35-60 лет) – жители европейского Севера, постоянно проживающие в Республике Коми (г. Сыктывкар – 62°с.ш. и г. Ухта – 63,5°с.ш.). По результатам оценки липидного профиля сформированы две группы. Первая – (n=55) состояла из мужчин с нормолипидемией. Вторая группа (n=34) включала мужчин с гипертриглицеридемией (содержание триглицеридов выше 1,8 ммоль/л).

Таблица 1

Показатели липидного обмена у жителей европейского Севера России при нормолипидемии и гипертриглицеридемии (Ме; 25-й и 75-й процентиля)

Показатель	Нормолипидемия n = 55	Гипертриглицеридемия n = 34
Общий холестерин, ммоль/л	3,99 (3,59-4,31)	4,45 (3,97-4,72) *
Триглицериды, ммоль/л	1,17 (0,95-1,41)	2,47 (2,18-2,84) **
ХС-ЛПОНП, ммоль/л	0,54 (0,44-0,65)	1,14 (1,00-1,30) **
ХС-ЛПНП, ммоль/л	1,86 (1,40-2,23)	1,92 (1,47-2,30)
ХС-ЛПВП, ммоль/л	1,47 (1,36-1,79)	1,34 (1,25-1,48) *

Примечание: * – различия значимы при $p < 0,01$ и ** – при $p < 0,001$.

что у всех обследуемых данной группы этот показатель находился в пределах нормы. Считается, что уровень общего холестерина при гипертриглицеридемии повышается вследствие торможения синтеза триглицеридов в печени из ацетата, который в этих случаях используется больше на образование холестерина [13].

Повышение уровней триглицеридов и общего холестерина при гипертриглицеридемии сопровождалось изменениями в липид-транспортной системе крови. Содержание ХС-ЛПОНП у лиц с гипертриглицеридемией было более чем в два раза выше ($p < 0,001$), чем при нормолипидемии. Можно предположить, что наблюдаемое повышение содержания ХС-ЛПОНП у обследуемых лиц с гипертриглицеридемией при низких уровнях апоЕ связано в первую очередь с замедлением рецептор-опосредованного удаления данных липопротеинов.

На фоне накопления ХС-ЛПОНП при гипертриглицеридемии по сравнению с нормолипидемией наблюдалось снижение содержания ХС-ЛПВП (на 15%; $p < 0,01$), тогда как уровень ХС-ЛПНП не изменялся. Такой липидный профиль у обследованных лиц с гипертриглицеридемией свидетельствует о снижении интенсивности метаболизации ЛПОНП, которое, возможно, связано с пониженным содержанием апоЕ.

Важной составляющей катаболизма ЛПОНП является превращение насцентных ЛПВП в полноценные частицы. ЛПВП образуются в печени и кишечнике в виде незрелых дисковидных частиц. Образование полноценных сферических ЛПВП происходит в крови при обогащении этих молекул липидами и белками, образующимися в процессе катаболизма ЛПОНП [14]. Наблюдаемое нами снижение содержания ХС-ЛПВП при гипертриглицеридемии на фоне повышения уровня ХС-ЛПОНП свидетельствует о нарушениях этого звена метаболических превращений липопротеинов. Для эффективного формирования зрелых ЛПВП необходимо наличие апоЕ. Показано, что при отсутствии апоЕ большие, холестерин-богатые ЛПВП не образуются [15]. В связи с этим можно предположить,

Забор крови производился утром строго натощак (через 12–14 ч после приема пищи) из локтевой вены в вакутайнеры «Bekton Dickinson BP» (Англия). В сыворотке крови определяли показатели липидного обмена – общий холестерин, триглицериды, холестерин липопротеинов высокой плотности (ХС-ЛПВП) и апоЕ коммерческими наборами фирмы «Chronolab» (Швейцария) на спектрофотометре Power Wave-200 (Bio-Tek Instruments, США). Содержание холестерина ЛПОНП (ХС-ЛПОНП) и липопротеинов низкой плотности (ХС-ЛПНП) вычисляли по формуле Friedewald (1972).

Статистическую обработку полученных данных осуществляли с помощью программы «Statistica 6.0» (StatSoft Inc, 2001). Результаты исследования представлены в виде медианы и интерквартильного размаха (25-й и 75-й процентиля). Значимость различий между выборками оценивали с помощью критерия Манна-Уитни. Для выявления взаимосвязей между изучаемыми показателями вычисляли коэффициент ранговой корреляции Спирмена.

Результаты и обсуждение

Гипертриглицеридемия у жителей европейского Севера отмечалась при более низком содержании сывороточного апоЕ (на 0,64 мг/дл или 19,5%) по сравнению с нормолипидемией (рисунок). Анализ индивидуальных значений показал, что у 54% лиц с гипертриглицеридемией показатели апоЕ были ниже нормативных значений (2,7–4,5 мг/дл). В целом, отклонение содержания апоЕ от нижней границы норматива у лиц с гипертриглицеридемией составило от 6 до 51%. Следует отметить, что в группе с гипертриглицеридемией вообще не наблюдалось лиц с показателями апоЕ выше нормативных значений. Развитие гипертриглицеридемии у человека при пониженных концентрациях апоЕ в сыворотке крови в литературе не описано.

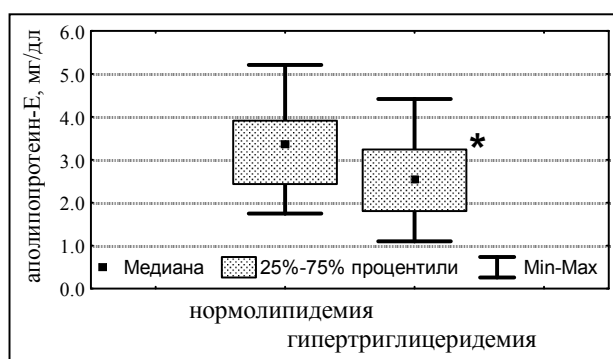


Рис. Содержание аполипопротеина-Е у жителей европейского Севера России при нормолипидемии и гипертриглицеридемии.

* - различие значимо при $p < 0,05$.

По другим показателям липидного профиля у жителей европейского Севера при нормолипидемии и гипертриглицеридемии также отмечался ряд отличий (табл. 1). При гипертриглицеридемии наряду с повышением уровня триглицеридов наблюдалось более высокое содержание общего холестерина, несмотря на то,

что именно низкое содержание апоЕ являлось одной из причин снижения уровня ХС-ЛПВП у лиц с гипертриглицеридемией.

В образовании ЛПНП из ЛПОНП также непосредственное участие принимает апоЕ. Считается, что в метаболическом пути ЛПОНП→ЛППП→ЛПНП апоЕ необходим на этапе превращения ЛППП в ЛПНП [16, 17]. Следовательно, можно предположить, что отсутствие значимых изменений уровня ХС-ЛПНП у обследованных нами лиц с гипертриглицеридемией при повышении содержания ХС-ЛПОНП являлось следствием пониженного содержания апоЕ. Данное наблюдение согласуется с результатами исследований Gabelli et al. [9], которые установили, что скорость образования ЛПНП у лиц с наследственной недостаточностью апоЕ, в крови которых содержание этого аполипопротеина составляет около 1% от нормы, снижена примерно в пять раз.

Изменение соотношения липопротеинов при гипертриглицеридемии отражалось на характере корреляционных связей между показателями апоЕ и липопротеинов (табл. 2). При нормолипидемии отмечалось наличие значимых корреляций между содержанием апоЕ и ХС-ЛПОНП ($r=-0,28$; $p<0,05$) и ХС-ЛПВП ($r=0,37$; $p<0,01$), что свидетельствует об определяющей роли этого аполипопротеина в поддержании уровня указанных липопротеинов. При гипертриглицеридемии достоверных корреляционных связей между уровнем апоЕ и показателями липопротеинов не выявлено. Это может указывать на снижение регулирующего влияния аполипопротеина на процессы липидного обмена при гипертриглицеридемии.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции аполипопротеина-Е с показателями липопротеинов

Группа	Показатель	ХС-ЛПОНП	ХС-ЛПНП	ХС-ЛПВП
Нормолипидемия n = 55	аполипопротеин-Е	-0,28*	0,23	0,37**
Гипертриглицеридемия n = 34		0,19	0,08	-0,05

Примечание: корреляция значима при * $p<0,05$; ** $p<0,01$.

Таким образом, развитие гипертриглицеридемии у жителей европейского Севера наблюдается при низких уровнях апоЕ и обусловлено снижением рецептор-опосредованного клиренса ЛПОНП и нарушением метаболических превращений ЛПОНП.

Заключение

Липидный обмен у жителей Севера характеризуется рядом специфических особенностей [18, 19] вследствие возрастания роли липидов в энергообеспечении организма. Интенсификация липидного обмена у жителей высоких широт лежит в основе переключения метаболизма с «углеводного» типа на «жировой» [18]. Одним из проявлений этого

феномена является повышение в крови уровня транспортных форм липидов, в том числе и ЛПОНП. В этой ситуации низкое содержание апоЕ у жителей европейского Севера, описанное нами ранее [20], может значительно увеличивать риск развития гипертриглицеридемии у северян вследствие нарушения катаболизма ЛПОНП.

Литература

1. Onat A., Sansoy V., Yildirim B. Which fasting triglyceride levels best reflect coronary risk? Evidence from the Turkish Adult Risk Factor Study // Clin. Cardiol. 2001. Vol. 24. No. 1. P. 9-14.
2. Schillaci G., Pirro M., Mannarini E. Serum triglyceride concentration and coronary heart disease // Circulation. 2002. Vol. 105. No. 8. P. 54-55.
3. Сусеков А.В., Кухарчук В.В. Гипертриглицеридемия как фактор риска развития атеросклероза // Тер. архив. 1997. Т. 69. № 9. С. 83-88.
4. Ginsberg H.N. New perspectives on atherogenesis: role of abnormal triglyceride-rich lipoprotein metabolism // Circulation. 2002. Vol. 106. No. 16. P. 2137-2142.
5. Yuan G., Al-Shali K.Z., Hegele R.A. Hypertriglyceridemia: its etiology, effects and treatment // CMAJ. 2007. Vol. 176. No. 8. P. 1113-1120.
6. Тумов В.Н. Липопротеины очень низкой и низкой плотности: функция, транспорт жирных кислот и диагностическое значение // Клини. лаб. диагностика. 2000. № 11. С. 25-32.
7. Mahley R.W., Innerarity T.L. Lipoprotein receptors and cholesterol homeostasis // Biochim. Biophys. Acta. 1983. Vol. 737. P. 197-222.
8. Бойко Е.Р., Канева А.М. Апопротеин Е и его значение в клинической физиологии // Успехи физиологических наук. 2009. Т. 40. № 1. С. 3-15.
9. Gabelli C., Gregg R.E., Zech L.A. et al. Abnormal low density lipoprotein metabolism in apolipoprotein E deficiency // J. Lipid Res. 1986. Vol. 27. P. 326-333.
10. Moghadasian M.H., McManus B.M., Nguyen L.B. et al. Pathophysiology of apolipoprotein E deficiency in mice: relevance to apo E-related disorders in humans // FASEB J. 2001. Vol. 15. No. 14. P. 2623-2630.
11. Fan J., Ji Z-S., Huang Y. et al. Increased expression of apolipoprotein E in transgenic rabbits results in reduced levels of very low density lipoproteins and an accumulation of low density lipoproteins in plasma // J. Clin. Invest. 1998. Vol. 101. P. 2151-2164.
12. Gerritsen G., Rensen P.C., Kypreos K.E. et al. ApoC-III deficiency prevents hyperlipidemia induced by apoE overexpression // J. Lipid Res. 2005. Vol. 46. P. 1466-1473.
13. Никитин Ю.П., Курилович С.А., Давидик Г.С. Печень и липидный обмен. Новосибирск: Наука, 1985. 191 с.
14. Mahley R.W., Innerarity T.L., Rall S.C., Weisgraber K.H. Plasma lipoproteins: apolipoprotein structure and function // J. Lipid Res. 1984. Vol. 25. P. 1277-1294.
15. Gordon V., Innerarity T.L., Mahley R.W. Formation of cholesterol- and apoprotein E-enriched

- high density lipoproteins in vitro // J. Biol. Chem. 1983. Vol. 258. P. 6202-6212.
16. *Chung B.H., Segrest J.P.* Resistance of a very low density lipoprotein subpopulation from familial dysbetalipoproteinemia to in vitro lipolytic conversion to the low density lipoprotein density fraction // J. Lipid Res. 1983. Vol. 24. No. 9. P. 1148-1159.
17. *Ehnholm C., Mahley R.W., Chappell D.A.* et al. Role of apolipoprotein E in the lipolytic conversion of beta-very low density lipoproteins to low density lipoproteins in type III hyperlipoproteinemia // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1984. Vol. 81. P. 5566-5570.
18. *Панин Л.Е.* Энергетические аспекты адаптации. Л.: Медицина, 1978. 192 с.
19. *Бойко Е.Р., Ткачев А.В.* Характеристика липидного обмена у постоянных жителей Севера // Физиология человека. 1994. Т. 20. № 2. С. 151-157.
20. *Канева А.М., Потолицына Н.Н., Бойко Е.Р.* Содержание аполипопротеина-Е у жителей европейского Севера // Экология человека. 2011. № 2. С. 43-46.

Статья поступила в редакцию 02.06.2011.

УДК 549.324.6: 548.3

СКУЛЬПТУРА КУБИЧЕСКИХ ГРАНЕЙ КРИСТАЛЛОВ ПИРИТА ИЗ ИСПАНИИ И ВОЗМОЖНАЯ ПРИЧИНА ЕЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ

Е.Б. ТРЕЙВУС*, Н.Н. ПИСКУНОВА**, Ю.С. СИМАКОВА**

*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

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

piskunova@geo.komisc.ru

Приведены результаты изучения коллекции кубических кристаллов пирита из Навахуна (Северная Испания, Иберийские горы). Для всех кристаллов обнаружены принципиальные различия в морфологии разных пар граней, отдельные скульптуры роста надежно свидетельствуют об избирательной адсорбции примесей на разных гранях. С применением атомно-силовой микроскопии установлено, что поверхности некоторых граней несут на себе больше следов избирательного растворения и характеризуются большей мощностью дислокационных источников ступеней по сравнению с другими гранями. Именно так в разной скульптуре граней куба одного и того же кристалла пирита проявляются признаки некубичности, возникающей под воздействием упругой деформации в условиях направленного давления.

Ключевые слова: пирит, АСМ, морфология граней, Навахун (Северо-Восточная Испания)

E.B. TREIVUS, N.N. PISKUNOVA, YU.S. SIMAKOVA. SCULPTURE OF CUBIC FACES OF PYRITE CRYSTALS FROM SPAIN AND THE POSSIBLE REASON OF ITS ARISING

Study results of the collection of cubic pyrite crystals from Navajun (North Spain, Iberian Mountains) are given. For all crystals fundamental differences in the morphology of neighbouring cubic faces were found, separate growth sculptures reliably testify to selective impurities adsorption on different faces. By atomic-force microscopy (AFM) it was established that surfaces of some faces bear more traces of selective dissolution and are characterized by higher dislocations power as compared to other faces. Exactly so the signs of non-cubic nature, arising under the influence of elastic deformation in conditions of directed pressure, are shown in different sculpture of cube faces of the same pyrite crystal.

Key words: pyrite, AFM, crystal morphology, Navahuin (North East Spain)

Кристаллы пирита из Навахуна (исп. Navahún, англ. Navajún или Navahuin) приобрели широкую известность в мире как коллекционный материал [1–6]. Эти кристаллы имеют, как правило, кубическую форму, зачастую идеальную, с блестящими гранями, и достигают величины в 15 см. В ограниченном числе встречаются кубооктаэдрические кристаллы.

Местечко Навахун находится в Иберийских горах, в 30 км северо-восточнее г. Сория. Горная порода, содержащая описываемые кристаллы пирита, характеризуется как метапелит мезозойского возраста [2, 3], отличающийся низкой степенью метаморфизма. В составе метапелита наряду с некоторыми другими минералами имеются хлорит, хлоритоид и ангидрит. Судя по отношению Al^{IV}/Si , равному ≈ 1.27 , и отношению $Al^{IV}/Al^{VI} = 0.78$ этот хлорит ближе всего к тюрингиту [3]. Близкие к этим параметры указываются как типичные для метапелитов

[7]. Хлоритоид рассматривается как минерал, возникший на пике метаморфизма. Доказывается, что пирит образовался путем взаимодействия хлорита с H_2S или HS^- , возникших в результате разложения рассеянных зерен диагенетических пирита и гипса [4]. Причем эти соединения были перенесены на расстояние в несколько сот метров гидротермальным раствором, просочившимся сквозь песчаную толщу [3]. В кристаллах пирита имеются включения иллита, хлорита, хлоритоида, ангидрита и других минералов [3]. Авторами работы [5], которые имели в своем распоряжении малое количество кристаллов для исследования, отмечено, что включения хлорита в пирите малочисленны и принадлежат, по-видимому, клинохлору ($Al/Si = 0.9$). Предполагается, что хлоритоид не мог в силу своей природы химически взаимодействовать с сероводородными соединениями и потому сохранился. Включения хлоритоида представляют собой почти чистый по

железу конечный член изоморфного ряда этого минерала [5]. Ангидрит включений в пирите, достигающий по размеру 1 мм, вероятно, образовался за счет гипса при метаморфизме. Термодинамические условия образования рассматриваемых пиритов оцениваются в 360–375°C и 1 кбар [2].

Кристаллы пирита покрыты корочкой толщиной от первых мкм до нескольких мм, состоящей главным образом из кварца и кукеита (литиевого хлорита) и много реже, из кальцита и каолинита [3]. Вокруг кристаллов пирита, где было наибольшее проявление метаморфических деформаций, эти минералы образуют так называемые тени давления [3]. Горная порода вблизи кристаллов освещена из-за пониженного количества в ней хлорита. В некоторых работах приводятся фотографии поверхностей таких кристаллов [1, 4, 6]. Работ, посвященных исследованию скульптуры граней испанских пиритов, практически нет. Нам известна лишь одна небольшая публикация, в которой скупно анализируются ростовые полигональные ступени на гранях пирита [6]. Нами исследованы 20 кристаллов пирита размером около 1 см, предоставленные академиком Н.П. Юшкиным. Некоторые грани кристаллов изучены с применением атомно-силовой микроскопии (ACM Ntegra Prima, NT-MDT). 15 кристаллов этой коллекции имеют кубический габитус, а остальные – кубооктаэдрический. Главное, что сразу бросается в глаза, это то, что разные пары противоположных граней одного и того же кристалла для всех рассмотренных образцов удивительным образом отличаются друг от друга по своей морфологии (рис. 1).



Рис. 1. Кристалл пирита из Навагуна (северная Испания) с разной скульптурой кубических граней.

10 кубических кристаллов с однотипным характером поверхностей составили *первую* часть исследуемой коллекции. На них одна пара противоположных граней имеет от одной до трех нормальных плосковершинных вицинальных пирамид, которые сложены ступенями роста, перекрывающими всю грань (рис. 2). Эти слои имеют полигональную форму. Контур вицинальной фигуры вытянут параллельно одной паре противоположных ребер данной кубической грани в соответствии с сим-

метрией, присущей пириту. Грани этой пары могут отличаться по количеству вициналей и их крутизне, т. е. по плотности и высоте слагающих их ступеней.

Причиной возникновения таких вициналей, как хорошо известно, являются винтовые дислокации. Распределение выходов последних на поверхность кристаллов определяется случайными причинами. Так, оно может быть следствием влияния набегающего на кристалл минералообразующего раствора [8]. Фронтальная по отношению к потоку раствора грань встречает более пересыщенный раствор. Огибая кристалл, раствор отдает ему свое вещество, и потому тыльная грань этого кристалла находится в менее пересыщенных условиях. Известно, что крутизна вициналей, т. е. плотность и высота слагающих их ступеней, уменьшаются при снижении степени пересыщения. Поэтому следует заключить, что фронтальными по отношению к просачивающимся растворам гранями являлись те, на которых обнаружены более крутые и более грубые вицинали (рис. 2, а), а тыльными – противоположные им (рис. 2, б).

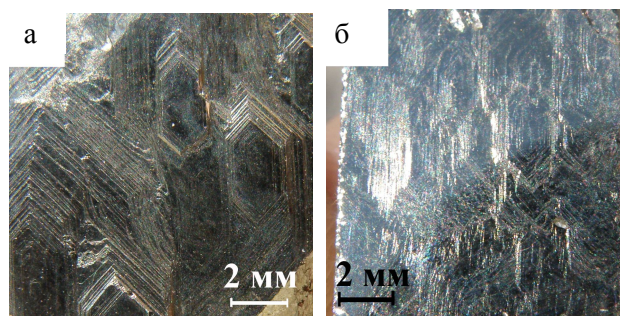


Рис. 2. Поверхности кристаллов пирита, принадлежащие двум противоположным кубическим граням с более грубыми (а) и более тонкими (б) слоями, которые слагают вицинали, различающиеся также своим наклоном.

Изучение описанной пары граней с помощью метода атомно-силовой микроскопии подтверждает, что образование исследуемых кристаллов, по крайней мере на заключительном этапе, происходило строго по механизму слоевого роста, обусловленного винтовыми дислокациями. На обеих гранях обнаружены вытянутые в одном направлении полигональные холмики роста с относительно прямолинейными ступенями. Вицинали имеют плоские вершины размером от 60 мкм на грубоступенчатой грани, и 180 и более мкм на тонкоступенчатой (рис. 3). Ступени роста, обнаруженные вблизи дислокационных вершушек на таких типах граней, различаются по высоте. На гранях с более крутыми вициналями высота ступеней составляет от 30 до 220 нм, на гранях с более пологими вициналями – от 9 до 120 нм. Дислокационные каналы не всегда четко идентифицируются, но места их нахождения могут быть определены по характерным углублениям на поверхности кристалла, возникшим в результате избирательного растворения. Это обусловлено тем, что участки вблизи выходов дислокаций на поверхность, где существуют наибольшие напряжения и концентрируются примеси, первыми растворяются

при малейшем изменении условий в среде кристаллизации. Грубоступенчатая грань в целом отличается большей «изъеденностью», что на АСМ-снимках выглядит как скопление черных точек (рис. 3, а). Эта грань характеризуется также нанометровой пористостью. Диаметр пор составляет в среднем 50 нм. Описанная тончайшая «изъеденность», особенно избирательность этого феномена для отдельных граней является свидетельством неравновесной адсорбции примесей на разных гранях испанского пирита.

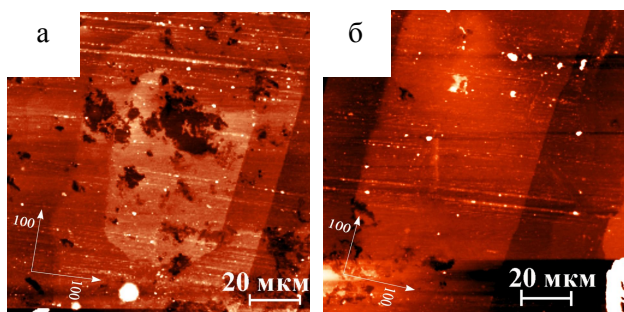


Рис. 3. АСМ-изображения плоских вершин вициналей на грубоступенчатых (а) и тонкоступенчатых (б) кубических гранях одного кристалла пирита. Заметна более сильная растворенность грубоступенчатой поверхности, что говорит о значительно большем количестве дефектов и примесей в пирамиде ее нарастания.

Две другие пары противоположных граней на изученных кристаллах принципиально отличаются. В целом эти грани внешне выглядят как относительно гладкие. Однако на них присутствуют от двух до восьми выростов, согласно русской терминологии (рис. 4). Эти выросты можно было бы также назвать «слоевыми островками» (growth islands).

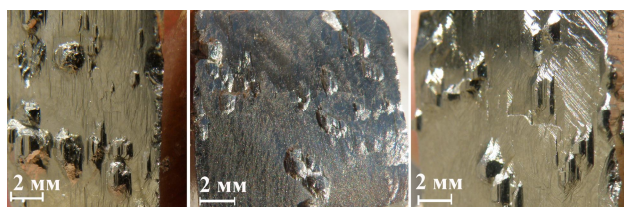


Рис. 4. Типичные грани кристаллов пирита с выростами.

Последний термин встречается в англоязычной литературе. Однако он кажется нам менее точным, так как при его употреблении возникает представление о более или менее правильном характере распределения такого рода образований на гранях кристаллов. Упомянутые же выросты имеют неправильную форму, напоминая бородавки, расположенные на грани случайно. Иногда выросты бывают несколько вытянутыми в одном направлении параллельно ребру грани. Высота выростов достигает 2 мм, что оказалось слишком большой величиной для наблюдения с помощью АСМ. Боковые поверхности выростов – неровные, по ориентации близкие к вертикальным. Они не являются мелкими кристалликами пирита, приросшими к большому кристаллу. В противном случае мы наблюдали бы кристаллогра-

фическую форму, а их прирастание к граням только двух пар из трех было бы необъяснимым.

Поверхности растворения кристаллов всегда выглядят иначе [9]. Поэтому обсуждаемые выросты могли образоваться только в результате адсорбции поверхностно-активной примеси (или примесей) на торцах ступеней, генерируемых дислокациями и образующих холмики роста. Такую адсорбцию именуют одномерной. Из-за нее пирамиды роста не получают возможности разрастаться тангенциально по всей грани. В то же время вершинам тех же вицинальных холмиков такая примесь расти не мешала, т.е. она не обладала способностью к двумерной блокирующей адсорбции. Это и привело к образованию выростов.

Аналогичный процесс изучен в экспериментах с кристаллизацией из водного раствора кубических кристаллов KCl в присутствии ничтожной примеси первичных алифатических аминов [10, 11]. При этом было установлено, что в отсутствие примеси выросты на кристаллах KCl не образуются. Выявлены также случаи, когда влияние поверхностно-активной примеси было настолько существенным, что выросты трансформировались в нитевидные формы. Причем плотность дислокаций в соответствующих кристаллах бывает чрезвычайно велика, так что нитевидные индивиды образуют на гранях целый лес. Аналогичный процесс наблюдался при выращивании кубических кристаллов KBr в присутствии поливиниловой кислоты [12].

Такого рода специфическое воздействие примеси на рост не усматривается в случае образования нормальных вицинальных пирамид на других гранях того же кубического кристалла пирита. Следовательно, одни грани к примеси оказались пассивными и на них развились обычные вицинали, а другие, наоборот, оказались к той же примеси чрезвычайно чувствительными, что и привело к возникновению упомянутых выростов.

Пять кубических и все кубооктаэдрические кристаллы пирита, составившие *вторую* часть изученной коллекции, существенно отличаются от рассмотренных выше. На этих индивидах одна грань из третьей пары обладает множеством вициналей с узкими пределами распространения слоев роста, окаймляющих плоские вершины таким образом, что соседние вицинали почти соприкасаются. Холмики роста на одной из этих граней имеют овальную форму (рис. 5, а), а на противоположной грани – округлую (рис. 5, б). Таким образом, на рассматриваемых кристаллах даже противоположные грани, принадлежащие к одной паре, несколько разнятся между собой по форме контуров ступеней. При АСМ-изучении овальных вициналей было установлено, что слагающие их многочисленные слои роста имеют высоту до 3 нм. Эти слои огибают или перекрывают друг друга, иногда сливаются, и тогда фактически невозможно установить их принадлежность к конкретному источнику.

Две другие пары граней на кристаллах из второй части коллекции обладают полигональными холмиками роста, аналогичными холмикам из первой части, описанным выше. Следовательно, какая-

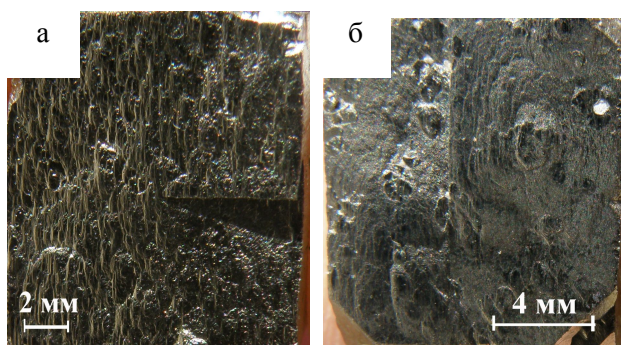


Рис. 5. Две противоположные грани куба кристаллов пирита из Навахуна, одна из которых имеет значительную плотность вициналей овальной формы (а), а на другой наблюдаются несколько округлых плосковершинных вициналей (б).

то примесь и в этом случае по-разному влияла на различные пары граней пирита.

Отметим, что на АСМ-снимках грани с полигональными ступенями как будто исчерчены светлыми линиями, отражающими существование на поверхности кристаллов валиков, выступающих над окружающей плоской поверхностью (рис. 3, 6). Можно предположить, что выявленные валики сложены продуктами поздних преобразований пирита. Не исключено, что они декорируют торцы тонких ступеней роста, которые, судя по ориентации, скорее всего, отвечают граням пентагондодекаэдра (рис. 6). Вообще, штриховка некоторых кристаллов пирита из месторождений этого района известна, ее изображение приводится в отдельных публикациях, хотя и не анализируется.

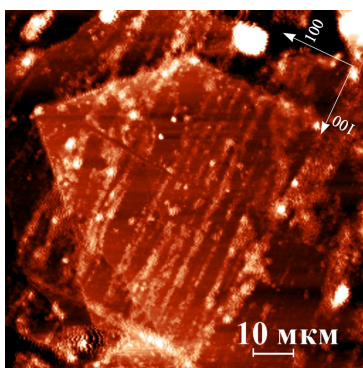


Рис. 6. Признаки комбинационной штриховки на гранях пирита, по данным АСМ.

Для части изученных кристаллов пирита нами были проведены рентгеноструктурные исследования дифрактометрическим (Shimadzu XRD-6000, излучение-CuK α ; внутренний эталон – Si) и фоторентгеновским (камера Дебая-Шеррера, радиус 28.65 мм, Си-анод, ток 10 мА, напряжение 30 кВ, фильтрация не проводилась) методами. Исследованию подвергались, во-первых, поверхность кристаллов пирита, включая участки с отдельными «выростами», а во-вторых, неглубокие внутренние части тех же кристаллов. На полученных дифрактограммах и фотометрических картинах присутствует стандартный набор рефлексов пирита. Параметр элементарной ячейки практически не отличается от

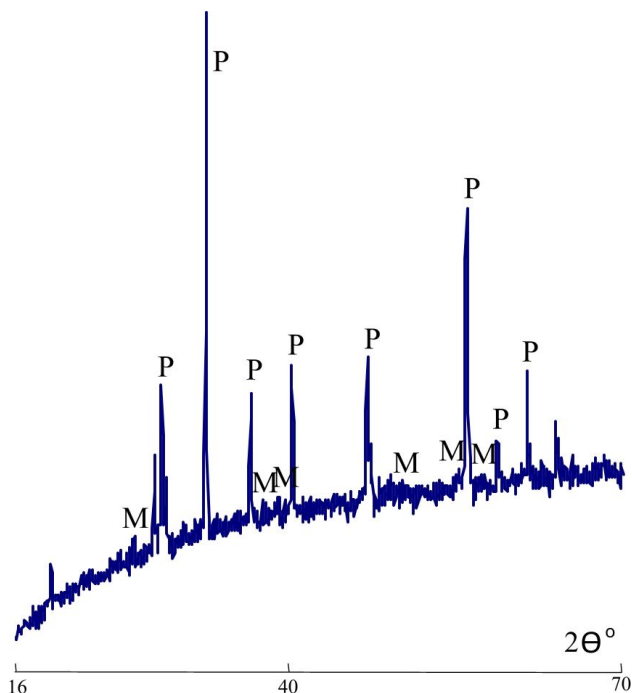


Рис. 7. Дифрактограмма внутренней части кристаллов пирита из Навахуна. Кроме стандартного набора рефлексов пирита (P), отмечены слабые рефлекссы марказита (M).

табличного значения (на 0.002 Å больше). Однако для препаратов, представляющих внутреннюю часть кристаллов, были зафиксированы слабые единичные рефлекссы марказита (рис. 7).

Обобщение результатов проведенных исследований приводит к следующему выводу. Все изученные нами кристаллы пирита обнаруживают разную чувствительность кубических граней к адсорбции примесей. Мы предлагаем этому следующее объяснение. В условиях направленного давления кристаллы испытывают упругую деформацию, в результате которой изменяются расстояния между атомами и растущие кристаллы приобретают некубический характер. Последнее приводит к тому, что разные грани на таких кристаллах становятся неотжественными по захвату примесей и скульптурным особенностям. Если кристалл своими кубическими гранями располагается косо по отношению к оси давления, то он при своем росте будет иметь либо псевдотриклинный [13], либо псевдоромбический характер. То есть будет похож на марказит или другую ромбическую модификацию FeS₂, отличающуюся от марказита пространственной группой [14]. Снятие нагрузки (завершение метаморфизации горной породы) устраняет причину, вызвавшую изменение межатомного расстояния. Атомы в структуре минерала возвращаются на прежние места, напряжения исчезают. Структура возвращается к кубичности с сохранением особенностей обогащения примесями, возникших в период временной некубичности минерала.

Ранее такого рода искажения формы кристаллов пирита, отразившиеся в несовпадении скульптуры разных пар граней, были нами выявлены при изучении полярноуральских образцов [15].

Там это четко коррелировалось с образованием плоскостей скольжения в кристаллах в результате воздействия на них направленного давления. Известен также факт следствия подобных искажений у кубических кристаллов пирита, найденных на Березовском золоторудном месторождении под Екатеринбургом [16], объясненный различной восприимчивостью к растворению разных пар противоположных граней. В этом случае одна пара граней полностью сохранила свою штриховку без каких-либо следов разъедания, на другой паре граней отмечались реликты штриховки, а третья пара выглядела как совершенно изъеденная. Таким образом, можно предположить, что и кристаллы березовского пирита также имели в момент их коррозии раствором псевдоромбический характер.

Из экспериментов известно, что преимущественное влияние на морфологию кристалла должны оказывать те химические элементы, которые обладают более высоким электрическим зарядом, а, значит, наибольшей способностью к адсорбции. В то же время эти элементы должны быть неизоморфными, т.е. чуждыми структуре кристаллов, поскольку изоморфные примеси в наименьшей степени влияют на скульптуру граней кристаллов и их форму. Есть сведения о содержании нескольких примесных химических элементов в пиритсодержащей горной породе и в кристаллах пирита из Наваха [3]. Из этих элементов наибольший интерес как возможный фактор воздействия на морфологию поверхностей индивидов пирита вызывает хром, содержание которого в горной породе достигает сотен г/т, при незначительном его вхождении в пирит.

На основании изложенных фактов можно сделать следующий общий вывод. Деформации индивидов пирита, возникающие вследствие одностороннего давления, могут приводить в процессе роста к временным искажениям кристаллической структуры, что в дальнейшем отражается в неточности ростовых скульптур на соседних гранях одного и того же кристалла.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Грант № 11-05-00432-а), программ Президиума и Отделения наук о Земле РАН.

Литература

1. Calvo M., Sevillano E. Pyrite crystals from Soria and La Rioja provinces Spain // *The Mineralogical Record*. 1989. Vol. 20. No. 6. P. 451-456.
2. Alonso-Azcárate J., Boyce A.J., Bottrell S.H., Macaulay C.I. et al. Development and use in situ laser sulfur isotope analyses for pyrite-anhydrite geothermometry: An example from the pyrite deposits of the Cameros Basin, NE Spain // *Geochim. et Cosmochim. Acta*. 1999. Vol. 63. Iss. 3/4. P. 509-513.
3. Alonso-Azcárate J., Rodas M., Bottrell S.H., Raiswell R. et al. Pathways and distances of fluid flow during low-grade metamorphism: evidence from pyrite deposits of the Cameros Basin, Spain // *J. of Metamorphic Geology*. 1999. Vol. 17. No. 1. P. 339-348.
4. Alonso-Azcárate J., Rodas M., Fernández-Díaz L., Bottrell S.H. et al. Causes of variation in crystal morphology in metamorphic pyrite deposits of the Cameros Basin (N Spain) // *Geological Journal*. 2001. Vol. 36. No. 1. P. 159-170.
5. Lodders K., Klingelhoefer G., Kremser D.T. Chloritoid inclusions in pyrite from Navahuin, Spain // *Canadian Mineralogist*. 1998. Vol. 36. No. 1. P. 137-145.
6. Benning L.G., Owsley A.L., Barnes H.L. Growth morphologies on pyrite surfaces // *LPI Contribution*. (Lunar and Planetary Institute. Houston). 1999. No. 971. P. 25-26.
7. Добрецов Н.Л., Реввердатто В.В., Соболев В.С. и др. Фазии метаморфизма. М.: Недра, 1970. 432 с.
8. Трейвус Е.Б., Глазов А.И., Михайлов В.В. Световые фигуры от граней роста кристаллов и их использование в онтогенетических исследованиях // *Зап. Всерос. минерал. общества*, 2000. 2 сер. Ч. 129. № 5. С. 95-102.
9. Хейман Р.Б. Растворение кристаллов. Л.: Недра, 1979. 272 с.
10. Пунин Ю.О., Ульянова Т.П., Петров Т.Г. Образование макроблочности в кристаллах KCl при малых пересыщениях // *Ученые записки Ленинградского университета*. № 377. Сер. геологич. наук. Вып. 14. Л., 1973. Вып. 2. С. 97-100.
11. Пунин Ю.О., Франке В.Д., Кенунен Д.С. Адсорбционный механизм потери морфологической устойчивости кристаллов при росте // *Зап. Всерос. минер. общества*, 2004. 2 сер. Ч. 133. № 2. С. 100-111.
12. Бережкова Г.В. Нитевидные кристаллы. М.: Наука, 1969. 158 с.
13. Bayliss P. Crystal structure refinement a weakly anisotropic pyrite. // *Amer. Mineralogist*. 1977. Vol. 62. No. 11-12. P. 1168-1172.
14. Bayliss P. Crystal chemistry and crystallography of some minerals within the pyrite group // *Amer. Mineralogist*. 1989. Vol. 74. No. 11-12. P. 1168-1176.
15. Трейвус Е.Б., Пискунова Н.Н., Силаев В.И. Метакристаллы пирита с Приполярного Урала с признаками пластических деформаций // *Материалы Международного минералогического семинара «Минералогические перспективы»*. Сыктывкар, 2011. С. 150-153.
16. Трейвус Е.Б. Два примера ложных простых форм кристаллов // *Зап. Всесоюз. минер. общества*, 1959. 2 сер. Ч. 88. № 4. С. 456-457.

Статья поступила в редакцию 28.07.2011.

УДК 549.514.51

ОСОБЕННОСТИ КАЧЕСТВА ЖИЛЬНОГО КВАРЦА УРАЛЬСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

С.К. КУЗНЕЦОВ*, В.П. ЛЮТОЕВ*, С.Н. ШАНИНА*, Е.Н. СВЕТОВА**, Н.В. СОКЕРИНА*

*Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

**Институт геологии Карельского НЦ РАН, г.Петрозаводск
sokerina@geo.komisc.ru

С использованием методов газовой хроматографии и электронного парамагнитного резонанса получены новые данные о составе и содержании в жильном кварце уральских месторождений флюидной фазы и структурных элементов-примесей, являющихся важными показателями качества сырья. Показано, что наиболее низкое содержание флюидной фазы характерно для прозрачного, гранулированного и мелкозернистого кварца. Мелкозернистый и гранулированный кварц отличаются также низким содержанием структурных примесей.

Ключевые слова: жильный кварц, газовая хроматография, электронный парамагнитный резонанс, кварцевое сырье

S.K. KUZNETSOV, V.P. LUTOEV, S.N. SHANINA, E.N. SVETOVA, N.V. SOKERINA. PECULIARITIES OF VEIN QUARTZ QUALITY, THE URALS DEPOSITS

New data on the composition and content of the fluid phase and structural elements-impurities, which are important quality characteristics of raw materials, in the vein quartz of the Urals deposits were obtained using the methods of gas chromatography and electron spin resonance. It was shown that the lowest content of the fluid phase is characteristic of transparent granulated and fine-grained quartz. This quartz is also marked by low content of structural impurities.

Key words: vein quartz, gas-chromatography, electron spin resonance, quartz raw material

Гидротермальные месторождения жильного кварца и горного хрусталя, формирование которых связано с процессами регионального метаморфизма, локализованы в пределах складчатых областей и щитов в различных регионах мира. Наиболее крупные месторождения находятся в России, Бразилии, США. Жильный кварц и горный хрусталь имеют большое промышленное значение и представляют собой высококачественное сырье для плавки специальных видов стекла и синтеза монокристаллов. Моноблоки горного хрусталя являются ценным пьезооптическим сырьем.

В связи с развитием оптики и электроники требования к качеству кварцевого сырья возрастают. Наиболее чистые кварцевые концентраты производятся фирмой ЮНИМИН (США), применяющей эффективные способы глубокого обогащения природного кварца. В России имеются значительные запасы различных видов кварцевого сырья. Тем не менее, существует проблема получения концентратов, соответствующих уровню мировых стандартов. Это обуславливает необходимость проведения дальнейших геологических и технологических работ, включающих переоценку уже разведанных месторож-

дений, поиск новых месторождений, совершенствование способов обогащения сырья [1, 2 и др.].

Большой интерес в отношении особо чистого кварца представляет Уральская кварцевожильно-хрусталеносная провинция, в пределах которой сосредоточены многочисленные месторождения молочно-белого и прозрачного гигантозернистого кварца, гранулированного кварца, горного хрусталя, пьезооптического кварца. Сведения о геологическом строении провинции и различных месторождений, кварцевых жилах, хрусталеносных гнездах, жильном кварце и горном хрустале изложены во многих работах [3 – 7 и др.]. В последнее время нами с использованием методов газовой хроматографии и спектроскопии получены новые данные об особенностях качества жильного кварца некоторых месторождений.

Общие сведения о жильном кварце

Основные месторождения жильного кварца и горного хрусталя находятся на Приполярном (Желанное, Додо, Пуйва и др.) и Южном (Кыштымское, Вязовское, Пугачевское, Ларинское, Астафьевское и др.) Урале в пределах Центрально-Уральского и Восточно-Уральского поднятий (рисунки). Кварце-

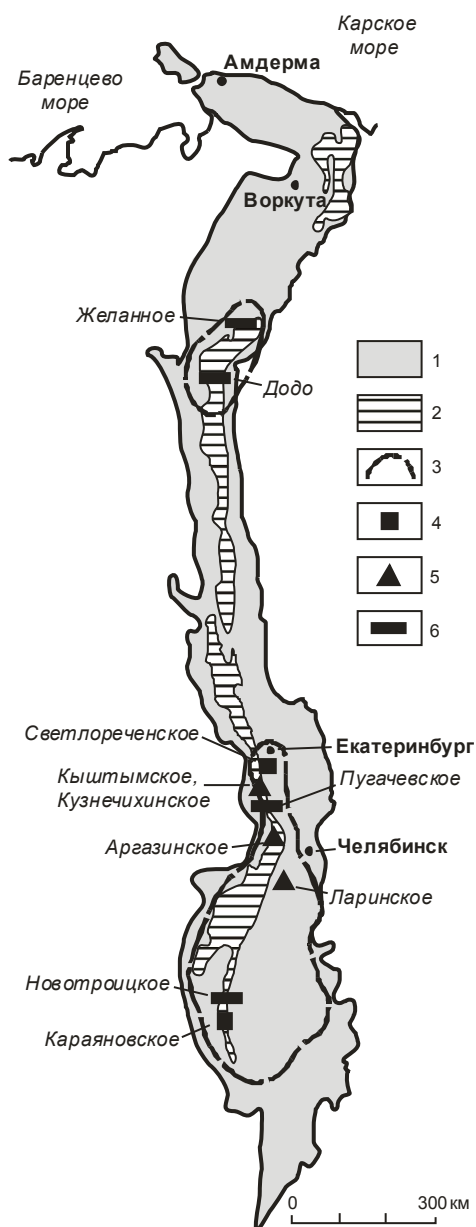


Рис. Схема размещения Приполярноуральской и Южноуральской кварцевожильных провинций и положение основных месторождений.

1 – палеозойские отложения; 2 – Центральноуральское поднятие, сложенное докембрийскими образованиями; 3 – границы кварцевожильных провинций; 4 – месторождения молочно-белого кварца; 5 – месторождения гранулированного кварца; 6 – месторождения крупнозернистого прозрачного кварца.

вые жилы залегают в породах разного состава и возраста. По отношению к сланцеватости вмещающих пород они делятся на согласные и секущие. Форма жил бывает линзовидной, плитовидной, сетчатой. Многие жилы имеют сложную форму из-за изгибов, ступеней, раздувов, апофиз. Мощность жил колеблется в очень широких пределах, достигая нескольких десятков метров. Контакты жил с вмещающими породами, как правило, резкие. Породы около жил часто интенсивно рассланцованы, а сами контакты нарушены. В зальбандах наблюдаются борозды скольжения. Большинство кварцевых

жил имеет простой, почти мономинеральный состав. Вместе с кварцем в незначительном количестве присутствуют серицит, хлорит, кальцит, полевой шпат, гематит, ильменит, сульфиды.

Многие промышленные кварцевые жилы хрусталеносны. Хрусталеносные гнезда чаще всего наложены на секущие кварцевые жилы. Местоположение хрусталеносных гнезд контролируется трещинами, зонами дробления. Они располагаются как внутри, так и в зальбандах жил в зоне их контакта с вмещающими породами. Те и другие гнезда нередко связаны единой системой трещин. Висячем боку жил гнезда встречаются значительно реже, чем в лежащем.

Жильный кварц весьма неоднороден. Наиболее широко развиты жилы с крупно-гигантозернистым молочно-белым кварцем. Таким кварцем сложены жилы различной мощности, залегающие в согласных и секущих относительно сланцеватости пород трещинах, и представляющие собой типичные тела выполнения. В согласных жилах кварц выглядит как сливной с неясными очертаниями индивидов. Весьма характерны структуры катаклаза и пластических деформаций. Встречаются согласные жилы линзовидной формы с прозрачным слабо-дымчатым кварцем, который занимает значительную часть их объема, а некоторые жилы сложены им полностью. Крупно-гигантозернистый кварц секущих жил отличается параллельно-шестовой текстурой. Величина кварцевых индивидов в мощных жилах достигает нескольких метров по удлинению. Пластические деформации крупно-гигантозернистого кварца секущих жил в отличие от подобного кварца согласных жил обычно очень слабые. В основной массе почти всегда присутствуют прозрачные участки, лишенные видимых минеральных и флюидных включений. Форма их в срезах линзовидная, изометричная, сложная. Величина достигает 10–15 см. Повышенной прозрачностью обладает кварц, находящийся около хрусталеносных гнезд, наложенных на секущие жилы. Ширина зон такого кварца достигает 0,5–0,7 м. С удалением от гнезд прозрачный кварц постепенно сменяется молочно-белым.

Наряду с крупно-гигантозернистым жильным кварцем в провинции, преимущественно в пределах высокометаморфизованных Няртинского и Уфалейского гнейсо-мигматитовых комплексов и их ближнего сланцевого окружения, встречаются согласные жилы с гранулированным кварцем. Грануляция, связанная с проявлением процессов метаморфизма, развивается в крупно-гигантозернистом пластически сильно деформированном кварце. Величина зерен новообразованного кварца составляет 0,1–2,0 мм, иногда достигает 5 мм. На южноуральских месторождениях выделяются мелкозернистый гранулированный кварц уфалейского типа и более крупнозернистый кварц кыштымского типа. Форма гранул изометричная, границы ровные, ступенчатые. Пластические деформации, в отличие от первичного кварца, очень слабые или вовсе отсутствуют. Степень грануляции крупно-гигантозернистого кварца варьирует в широких пределах. Во многих жилах такой кварц гранулирован практически полностью.

В метаморфических породах разного состава и возраста часто наблюдаются многочисленные небольшие согласные жилы и прожилки, сложенные первично мелкозернистым серым кварцем. Мощность жил обычно составляет 0,1–0,3 м, протяженность – до нескольких метров. Для мелкозернистого кварца характерна массивная текстура. Иногда отмечается линейность, ориентированная вдоль жил и выражающаяся в вытянутости кварцевых зерен. В гранулированном и особенно первично мелкозернистом кварце присутствует довольно большое количество минеральных примесей, представленных мусковитом, хлоритом, полевым шпатом, кальцитом. Они располагаются между кварцевыми зернами, но иногда находятся внутри них. Отмечается вкрапленность пирита и других сульфидов.

Горный хрусталь, выполняющий полости, наложенные на кварцевые жилы, представляет собой прозрачные хорошо ограненные кристаллы кварца. В естественном состоянии они бесцветны, либо обладают радиационной дымчатой, цитриновой, аметистовой окраской. После искусственного радиационного облучения бесцветный кварц приобретает ту или иную окраску. Дымчатые, дымчато-цитриновые и аметистовые кристаллы существенно различаются по форме, строению, составу, свойствам. В частности, дымчатые кристаллы обычно в значительной степени мозаичны и сдвойникованы по дофинейскому закону. Для дымчато-цитриновых (оливовых) кристаллов кварца мозаичность не характерна. Обычно в них отмечаются единичные крупные дофинейские двойники, тяготеющие к основаниям, и мелкие бразильские двойники, приуроченные к внешним частям кристаллов. Цитриновые кристаллы сильно поражены бразильскими двойниками.

Формирование кварцевых жил уральских месторождений происходило на разных этапах геологического развития региона в связи с проявлением гидротермально-метаморфогенных процессов в позднем докембрии и палеозое. Судя по пересечениям жил, наиболее молодыми являются хрусталеносные кварцевые жилы, залегающие в трещинах, секущих сланцеватость вмещающих пород. В частности, на Приполярном Урале их возраст, согласно изотопно-геохронологическим данным, составляет около 220–250 млн. лет, что соответствует перми-триасу.

Пригодность жильного кварца и горного хрусталя как сырья для плавки стекла и синтеза монокристаллов, а также как пьезооптического сырья определяется многими минералого-технологическими особенностями. Большое значение имеет прозрачность (светопропускание), содержание минеральных и флюидных включений, элементов-примесей. В качестве основных промышленных типов жильного кварца на уральских месторождениях выделяются молочно-белый, прозрачный и гранулированный кварц. Для месторождений Желанного, Додо, Новотроицкого, Пугачевского характерен прозрачный жильный кварц, для Кыштымского, Кузнечихинского, Ларинского, Вязовского Аргазинского – гранулированный, для Светлореченско-

го, Нелобского, Караяновского – молочно-белый. Многие месторождения являются комплексными в связи с развитием различных типов жильного кварца, горного хрусталя, пьезооптического кварца.

Газовая хроматография жильного кварца

В жильном кварце всегда присутствуют флюидные включения, влияющие на прозрачность жильного кварца и снижающие качество сырья. Количество включений в жильном кварце колеблется в широких пределах. В молочно-белом кварце их значительно больше, чем в прозрачном. Форма включений бывает изометричной, трубчатой, линзовидной, неправильной, размер достигает 0,5–0,8 мм. Располагаются они в основном в залеченных трещинах, в виде цепочек, иногда обособленно. В кристаллах кварца включения находятся в трещинах, на границах мозаичных блоков, зон и пирамид роста. Большинство включений двухфазовые: жидкость+газ, реже однофазовые или трехфазовые: жидкость+жидкость+газ. При нагревании кварца происходит гомогенизация включений, а затем – растрескивание. С целью установления состава выделяющегося из кварца газа нами проведено его изучение методом газовой хроматографии. Анализы выполнены на газовом хроматографе Цвет-800. Использовались пробы в виде кварцевой крупки фракции 0,1–0,4 мм.

Согласно полученным данным, главным компонентом газовой фазы, выделяющейся из кварца при нагревании, являются пары H_2O , содержание которых колеблется от 61,2 до 402,2 мкг/г (табл. 1). Из других компонентов можно отметить CO_2 , CO и N_2 . Крупно-гигантозернистый слабопрозрачный кварц всех изученных месторождений характеризуется наиболее высоким содержанием газовых компонентов, что согласуется с присутствием в нем значительного количества флюидных включений. В частности, содержание H_2O в таком кварце варьирует в пределах от 144,1 до 402,2 мкг/г. В прозрачных разновидностях гигантозернистого кварца и горном хрустале содержание газов значительно ниже. Низким содержанием газов отличаются также мелкозернистый и гранулированный кварц (H_2O – 61,2–154,3 мкг/г). Относительно высокое содержание CO_2 (до 60,7 мкг/г) в некоторых пробах мелкозернистого и гранулированного кварца, вероятно, связано с присутствием включений карбонатов, разлагающихся при нагревании.

При ступенчатом нагревании проб до 600 °C и от 600 до 1000 °C обнаруживается, что основной объем газов выделяется в относительно низкотемпературной области, что особенно заметно для слабопрозрачного гигантозернистого кварца. При дальнейшем нагревании в температурном интервале 600–1000 °C газоотделение заметно ослабевает. Здесь, вероятно, происходит вскрытие мельчайших флюидных включений и удаление части структурной воды. Обращает на себя внимание то, что различие изученных типов кварца по количеству выделяющихся газов в высокотемпературной области становится менее существенным.

Таблица 1

Результаты газохроматографического анализа жильного кварца и горного хрусталя

Номер пробы	Месторождение	Характеристика кварца	Содержание, мкг/г							
			H ₂	N ₂	CO	CH ₄	CO ₂	H ₂ O	TU	Сумма
Южный Урал										
Нт-43/3	Новотроицкое	Крупнозернистый слабопрозрачный	0,2	0,1	3,8	0,1	3,9	144,1	0,4	152,6 (35,3)
К-3/2	Караяновское	—"	0	0,0	4,4	0,5	4,3	274,8	0,7	284,7 (42,9)
ТП-175	Кыштымское	Гранулированный	0	1,7	2,9	0,1	2,8	61,2	0,4	69,1 (15,7)
КШ-1	—"	—"	0	1,1	2,1	0,2	2,4	71,4	0,6	77,8 (18,2)
КШ-2	—"	—"	0	0,1	0,6	0,2	1,7	65,7	0,5	68,8 (7,8)
КШ-13	—"	—"	0	0,7	3,5	0,1	25,9	64,3	0,4	94,9 (28,7)
Б-1	Беркутинское	—"	0	0	2,3	0,1	2,4	65,2	0,2	70,2 (12,3)
Тп-94	Пугачевское	—"	0	0	2,0	0,1	2,0	90,7	0,2	95,0 (23,7)
Кз414/5	Кузнечихинское	—"	0	0,6	3,2	0,1	8,0	127,6	0,3	139,8 (39,9)
Приполярный Урал										
ж56/86	Желанное	Крупнозернистый слабопрозрачный	0,2	1,5	5,1	0,2	10,8	255,4	0,4	273,6 (36,3)
ж69/86	—"	—"	0,7	1,0	11,9	0,2	27,0	295,1	0,2	336,1 (35,5)
2215	—"	—"	0	4,3	6,6	0,1	9,1	402,2	0,3	422,6 (45,2)
2062	Николайшор	—"	0,1	4,3	3,2	0,1	12,1	285,9	0,3	306,0 (32,1)
2064	—"	—"	0,1	4,2	2,9	0,1	21,5	344,1	0,2	373,1 (35,7)
2065	—"	—"	0,0	3,2	3,6	0,1	5,6	204,5	0,3	217,3 (27,2)
ж55/86	Желанное	Прозрачный	0,3	0,5	18,3	0,1	16,3	127,7	0,3	163,5 (41,1)
3095	—"	—"	0	1,6	2,5	0,1	2,1	70,6	0,2	77,1 (17,4)
3102	Николайшор	—"	0	0,3	2,3	0,1	1,4	78,8	0,1	83,0 (20,9)
	—"	—"								
3105	Николайшор	Гранулированный	0,4	0,6	2,0	0,1	4,6	106,5	0,1	114,3 (29,5)
3047	—"	—"	0	0,4	2,9	0,2	6,3	143,5	0,4	153,7 (22,9)
3048	—"	—"	0,1	0,5	4,1	0,3	3,1	76,9	0,9	85,9 (13,9)
24/86а	Верхнекожимский р-н	Мелкозернистый	0,4	0	11,4	0,4	25,1	142,0	1,2	180,5 (56,3)
11/86а		—"	0,0	0,6	1,6	0,1	60,7	154,3	0,4	217,7 (78,7)
3046Г-2	Желанное	Горный хрусталь	0,0	0	1,8	0,1	1,5	75,5	0,2	79,1 (20,1)
2234	—"	(дымчатый)	0,0	1,6	2,5	0,1	1,2	77,9	0,1	83,4 (18,6)
31/83бк	—"	—"	0,1	0,5	2,3	0,1	2,1	80,3	0,2	85,6 (9,5)
ЦП-1п	Цю Парнук	—"	0,1	0	2,7	0,1	4,8	85,9	0,3	93,9 (20,4)

Примечание. Приведено содержание газов выделившихся из кварца при его нагревании до 1000 °С. В скобках отмечено в том числе содержание газов, выделившихся в интервале 600–1000 °С; ТУ – тяжелые углеводороды.

Структурные элементы-примеси в жильном кварце

В жильном кварце присутствуют многие элементы-примеси. К основным из них относятся Al, Ca, Mg, Mn, Fe, Ti, Cu, Na, K, Li и др. Содержание элементов-примесей является основным критерием качества кварцевого сырья. Методами химико-спектрального анализа и фотометрии пламени в ходе изучения уральских кварцевожильных месторождений получено большое количество данных о валовом содержании примесей в кварце [3]. Химически наиболее чистыми являются высокопрозрачный кварц, горный хрусталь. Для слабопрозрачного жильного кварца характерно повышенное содержание Ca, Na, K и других примесей, что связано с присутствием флюидных включений. В мелкозерни-

стом и гранулированном кварце содержание примесей сильно колеблется. В обогащенном гранулированном кварце оно бывает весьма незначительным. Суммарное содержание примесей (Al, Ca, Fe, Ti, Na, K, Li и др.) в высококачественных кварцевых концентратах не превышает 8–12 ppm, из них основная доля приходится на алюминий.

Как известно, элементы-примеси в кварце могут находиться в неструктурной и структурной формах. Наряду с определением валового содержания примесей большой интерес представляет оценка содержания структурных примесей, в значительной мере обуславливающих предельную обогатимость исходного сырья.

Изучение структурных примесей в кварце уральских месторождений с использованием раз-

личных методов спектроскопии ранее проводилось рядом авторов [8 – 14 и др.]. Нами с использованием метода электронного парамагнитного резонанса получены дополнительные сведения о содержании примесных элементов в различных типах жильного кварца и горном хрустале. Исследования проводились на серийном радиоспектрометре SE/X-2547. Пробы кварца проходили предварительную подготовку, включающую прогрев и облучение разными дозами с целью наиболее полного перевода структурных примесей в парамагнитное состояние.

Среди примесных центров в жильном кварце и горном хрустале преобладают алюминиевые центры, при образовании которых избыточный заряд компенсируется ионами щелочных металлов $[AlO_4/M^{+}]^0$. При радиационном облучении кварца ион кислорода в примесном Al-тетраэдре теряет электрон, щелочные ионы диффундируют к другим дефектам и в результате возникают парамагнитные алюминиевые центры $[AlO_4]^0$, дающие характерные спектры ЭПР. Эти центры называются также центрами радиационной дымчатой окраски. Возможны и более сложные способы компенсации избыточного заряда при замещении кремния алюминием. Такие алюминиевые центры также могут находиться в парамагнитном состоянии.

Наряду с алюминиевыми центрами в жильном кварце и горном хрустале почти всегда устанавливаются германиевые центры [11 и др.]. В кристаллической структуре кварца ионы германия замещают ионы кремния по схеме простого изовалентного изоморфизма $Ge^{4+} \rightarrow Si^{4+}$. Парамагнитные центры формируются в ходе радиационного воздействия на кварц при захвате в соседнюю междоузельную позицию щелочных ионов. В природном кварце преобладают парамагнитные германиевые центры с ионами лития в качестве компенсатора. Две разновидности центров – $[GeO_4/Li^{+}]_A^0$ и $[GeO_4/Li^{+}]_C^0$, отличающиеся расположением компенсирующего иона в одной из двух возможных междоузельных позиций. Ассоциации изоморфных ионов германия с вакансиями кислорода приводят к образованию германиевых аналогов E'-центров – $[Ge(E'_2)eH^{+}]$ - и $[Ge(E'_1)e]$ -центров. В цитриновых кристаллах устанавливаются структурные примеси титана, в основном в виде титан-водородных парамагнитных центров $[TiO_4H^{+}]_A^0$, содержание их весьма незначительное.

Характерной особенностью природных аметистов является наличие структурного железа, находящегося преимущественно в трехвалентной форме, образующего парамагнитные $[FeO_4/Li^{+}]^0$ - и $[FeO_4/H^{+}]^0$ -центры, а также центры с нелокальной компенсацией заряда – $[FeO_4]^{\cdot-}$. Предполагается, что аметистовая окраска связана с радиационно-стимулированным переходом ионов железа в четырехвалентное состояние с формированием $[FeO_4]^0$ -центров.

Кроме примесных парамагнитных центров в структуре кварца всегда присутствуют различные дефекты вакансионной природы. Наиболее детально изучены электронные центры, на вакансиях

кислорода, – так называемые E'-центры. Разнообразности E'-центров связаны с наличием или отсутствием протонов в каналах, возможно щелочных ионов, и их различным положением. Вблизи вакансий кремния возникают дырочные парамагнитные центры, неспаренный электрон в которых локализуется на двух эквивалентных кислородах с образованием центров типа: O_2^{3-} или O^{2-} . Большинство из них ассоциированы с примесными ионами Al. Центры этого типа в низких концентрациях присутствуют во всех типах уральского кварца.

В табл. 2 приведены результаты оценки содержания алюминиевых и германиевых центров в промышленных типах кварца различных месторождений. В крупно-гигантозернистом кварце содержание $[AlO_4]^0$ центров варьирует от 10 до 36 усл. ед. Наиболее низкие содержания определены в пробах Новотроицкого и Караяновского месторождений. Интересно, что в высокопрозрачном кварце содержание $[AlO_4]^0$ центров часто бывает выше, чем в молочно-белом или слабопрозрачном кварце, слагающем основной объем жил.

В пробах гранулированного кварца месторождений Беркутинского, Кыштымского, Кузнецинского, а также в приполярноуральском гранулированном кварце (Верхнекожимский район) содержание $[AlO_4]^0$ центров в большинстве случаев не превышает 20 усл. ед. Вместе с этим в пробах гранулированного кварца Ларинского, Вязовского, Агардашского, Аргазинского месторождений и в отдельных пробах Кыштымского месторождения содержание $[AlO_4]^0$ центров достигает 40–60 усл. ед. Очевидно, гранулированный кварц по содержанию структурного алюминия весьма неоднороден, что может быть связано с неоднородностью исходного крупно-гигантозернистого кварца.

В первично мелкозернистом кварце, слагающем мелкие согласные жилы и прожилки, содержание $[AlO_4]^0$ центров невысокое и сопоставимо с содержанием их в наиболее чистых разностях гранулированного кварца (14–18 усл. ед.).

В кристаллах горного хрусталя содержание $[AlO_4]^0$ центров колеблется в широких пределах. В устойчивых к радиационному окрашиванию кристаллах содержание центров не превышает 7 усл. ед. В кристаллах, приобретающих дымчатую окраску, их содержание значительно выше. Самое высокое содержание $[AlO_4]^0$ центров характерно для густоокрашенных дымчато-цитриновых и цитриновых кристаллов – до 100 усл. ед., что значительно выше, чем в жильном кварце.

Следует заметить, что при иной подготовке проб к анализам, в частности, с использованием высокотемпературного отжига, содержание $[AlO_4]^0$ центров возрастает в 1,5–3 раза. Этот эффект отмечался многими авторами, хотя его природа остается неясной [2, 15 и др.]. На наш взгляд, повышение содержания парамагнитных алюминиевых центров в кварце, подвергнутом предварительному высокотемпературному отжигу, в значительной степени обусловлено термостимулированным переходом имеющихся в кварце алюмоводородных дефектов в

Таблица 2

**Содержание парамагнитных центров в жильном кварце и горном хрустале
уральских месторождений**

Номер пробы	Месторождение	Характеристика кварца	$[AlO_4]^0$, усл. ед.	$[GeO_4/Li^+]^0$, усл. ед.
Южный Урал				
НТ-43/3	Новотроицкое	<i>Крупнозернистый</i>	10	0,02
К-3/2	Караяновское	—"	14	0,02
ТП-94	Кыштымское	<i>Гранулированный</i>	12	0,02
КШ-13	—"	—"	65	0,11
КШ-1	—"	—"	17	0,10
ТП-175	—"	—"	22	0,11
Б-1	Беркутинское	—"	19	0,15
КЗ-414	Кузнечихинское	—"	22	0,10
ЛР-6/1	Ларинское	—"	47	0,59
ВЗ-35/1	Вязовское	—"	41	0,21
АГ-1	Агардашское	—"	52	0,35
АР-1/01	Аргазинское	—"	44	0,44
Приполярный Урал				
56/86	Желанное	<i>Крупнозернистый</i>	30	0,2
115/86	—"	—"	17	0,2
2215	—"	—"	31	0,3
47/86	—"	—"	17	0,18
2062	Николайшор	—"	36	0,13
2064	—"	—"	19	0,15
2065	—"	—"	18	0,19
120304П	Додо	—"	29	0,16
55/86	Желанное	<i>Высокопрозрачный</i>	27	0,28
3095	—"	—"	50	0,48
40/86	Верхнекожимский р-н	<i>Гранулированный</i>	11	0,02
3105	—"	—"	18	0,06
3047	—"	—"	16	0,01
11/86а	Верхнекожимский р-он	<i>Мелкозернистый</i>	16	0,04
33/86	—"	—"	14	0,02
17/86	—"	—"	18	0,02
11/83к	Желанное	<i>Горный хрусталь (дымчатый)</i>	21	0,29
31/83	—"	—"	12	0,02
ЦП-1П	Ц. Парнук	—"	15	0,22
ЖВ-7	Желанное	<i>Горный хрусталь (цитрин)</i>	102	0,62
ЖВ-11	—"	—"	95	0,75
ВП-1	В. Парнук	—"	60	0,56
Х-1	Хасаварка	<i>Аметист</i>	40	0,03
Х-2	—"	—"	12	0,04

Примечание. Содержание $[AlO_4]^0$ -центров оценивалось в порошковых образцах кварца, прогретых при 500°C и облученных дозой 30 Мрад, $[GeO_4/Li^+]^0$ -центров – в образцах, прогретых при 500°C, облученных дозой 0,5 Мрад.

алюмощелочные, которые под действием радиационного облучения становятся парамагнитными.

Содержание $[GeO_4/Li^+]^0$ - центров в жильном кварце примерно на два порядка ниже содержания алюминиевых центров и не превышает 0,6 усл. ед. В некоторых случаях между ними обнаруживается прямая корреляция, что свидетельствует о подоб-

ном поведении алюминия и германия в процессах минералообразования и зависимости их содержания в кварце от одних и тех же факторов. Высокое содержание германия отмечается в кварце месторождений Ларинского, Вязовского, Агардашского, Аргазинского, в высокопрозрачном кварце месторождения Желанного. Наиболее высокие содержа-

ния $[\text{GeO}_4/\text{Li}^+]^0$ центров характерны для дымчато-цитриновых кристаллов.

В табл. 3 приведены полученные нами результаты оценки содержания $[\text{AlO}_4]^0$ и $[\text{GeO}_4/\text{Li}^+]^0$ центров в жильном кварце некоторых зарубежных месторождений. Как видно, содержание $[\text{AlO}_4]^0$ центров довольно высокое. В жильном кварце уральских месторождений содержание $[\text{AlO}_4]^0$ центров во многих случаях значительно ниже и, в частности, ниже, чем в кварце высококачественных промышленных концентратов, производящихся фирмой ЮНИМИН (США).

При условии удаления минеральных и флюидных включений на основе жильного кварца уральских месторождений может быть получено кварцевое сырье, по качеству не уступающее высококачественному сырью зарубежных предприятий.

Работа выполнена при поддержке Гранта президента РФ «Ведущие научные школы» НШ-7198.2010.5, Программы ОНЗ РАН № 2(09-Т-5-1015).

Литература

Таблица 3

Содержание парамагнитных центров в кварце некоторых зарубежных месторождений

Номер пробы	Месторождения, район	Характеристика кварца	$[\text{AlO}_4]^0$, усл. ед.	$[\text{GeO}_4/\text{Li}^+]^0$, усл. ед.
Iota-STD	Спрус Пайн, США	Кварц из плагиопегматитов	42	0,15
Iota-4	—	(обогащенная крупка)	39	0,07
Брз-1	Минас Жераис, Бразилия	Кварц жильный крупнозернистый	51	0,23
Амб-1	Амбунабэ, Мадагаскар	Кварц редкометальных пегматитов	119	0,38
Аф-1	Амбуафуци, Мадагаскар	—	57	0,07
Ак-1	Актас, Казахстан	Кварц жильный крупнозернистый	106	0,08

Заключение

Результаты изучения жильного кварца уральских месторождений с использованием методов газовой хроматографии и электронного парамагнитного резонанса позволяют сделать следующие выводы. Наиболее низким содержанием флюидной фазы наряду с высокопрозрачными разностями крупно-гигантозернистого кварца и горным хрусталем отличается гранулированный и мелкозернистый кварц. Выделение газовой фазы при нагревании кварца происходит в основном в температурном интервале до 600 °С, но продолжается и в области высоких температур.

Содержание Al - и Ge - центров в жильном кварце сильно варьирует. В высокопрозрачных разностях и кристаллах горного хрусталя оно может быть выше, чем в основной массе крупно-гигантозернистого слабопрозрачного кварца. Для гранулированного кварца характерно относительно низкое содержание структурных элементов-примесей. Однако встречаются такие его разности, в которых содержание структурных примесей превышает их содержание в крупнозернистом кварце.

Для получения особо чистых кварцевых концентратов наиболее предпочтителен гранулированный кварц, который по содержанию флюидной фазы близок к крупно-гигантозернистому высокопрозрачному, однако во многих случаях отличается от него более низким содержанием структурных примесей. Заслуживает внимания мелкозернистый кварц, содержание структурных примесей в котором также бывает незначительным.

1. Мусафонов В.М., Серых Н.М. Сырьевая база природного особо чистого кварца // Минеральные ресурсы России. 1997. № 2. С. 7-12.
2. Серых Н.М., Борисов Л.И., Гулин Е.Н., Кайряк А.Д. О перспективах использования МСВ кварцевого сырья России в промышленности высоких технологий // Разведка и охрана недр. 2003. № 1. С. 17-20.
3. Евсτροφов А.А., Бурьян Ю.И., Кухарь Н.С. и др. Жильный кварц Урала в науке и технике. Геология основных месторождений кварцевого сырья. М.: Недра, 1995. 207 с.
4. Емлин Э.Ф., Синкевич Г.А., Якшин В.И. Жильный кварц Урала в науке и технике. Свердловск: Средне-Уральск. изд-во, 1988. 272 с.
5. Кузнецов С.К. Жильный кварц Приполярного Урала. Санкт-Петербург: Наука, 1998. 203 с.
6. Мельников Е.П. Геология, генезис и промышленные типы месторождений кварца. М.: Недра, 1988. 216 с.
7. Соколов Ю.М., Мельников Е.П., Маханек Е.К., Мельникова Н.И. Минерогения метаморфогенных месторождений горного хрусталя и гранулированного кварца. Л.: Наука, 1977. 120 с.
8. Буканов В.В. Горный хрусталь Приполярного Урала. Л.: Наука, 1974. 212 с.
9. Вотьяков С.Л., Крохалев В.Я., Пуртов В.К., Краснобаев А.А. Люминесцентный анализ структурного несовершенства кварца. Екатеринбург: УИФ «Наука», 1993. 70 с.
10. Котова Е.Н. Структурные примеси в жильном кварце и горном хрустале Приполярного Урала // Теория, история, философия и практика минералогии: Материалы IV Международного минералогического семинара. Сыктывкар: Геопринт, 2006. С.132-134.
11. Лютов В.П. Электронный парамагнитный резонанс и термолюминесценция кристаллов кварца Приполярного Урала // Физика минералов и их аналогов. Л.: Наука, 1991. С. 108-111.
12. Лютов В.П. Особенности вхождения примесей алюминия в кристаллическую структуру минералов кремнезема // Кварц. Кремнезем: Материалы Международного семинара. Сыктывкар: Геопринт, 2004. С.28-31.

13. Раков Л.Т., Миловидова Н.Д., Моисеев Б.М., Огурцов В.Г. Новый метод оценки качества кварцевого сырья // Разведка и охрана недр, 1993. № 7. С. 36-39.
14. Серкова Л.Е. Типоморфные особенности жильного безрудного кварца (по данным ИК- и ЭПР-спектроскопии): Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Свердловск, 1991. 20 с.
15. Раков Л. Т. Поведение парамагнитных центров при термическом отжиге кварца // Кристаллография, 1989. Т. 34. № 1. С. 260-262.

Статья поступила в редакцию 18.08.2011.

УДК 552.321:550.93(234.851)

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВОЗРАСТЕ ГРАНИТОИДОВ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА В СВЯЗИ С ПРОБЛЕМОЙ ВЫДЕЛЕНИЯ КОЖИМСКОЙ СРЕДНЕРИФЕЙСКОЙ ГРАНИТ-РИОЛИТОВОЙ ФОРМАЦИИ

А.М. ПЫСТИН, Ю.И. ПЫСТИНА

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

Большинство исследователей на основании полученных разными методами данных о возрасте гранитоидов Приполярного Урала ограничивают процессы гранитообразования в этом регионе интервалом 490–650 млн. лет. Приведенные в статье фактические материалы подтверждают вывод о том, что процессы гранитогенеза наиболее интенсивно проявились на рубеже протерозоя и палеозоя и свидетельствуют об отсутствии на Приполярном Урале позднепалеозойских гранитоидных массивов, которые ранее выделялись в кожимский комплекс. Вместе с тем, геологическое положение некоторых гранитоидных массивов и полученные для слагающих их пород древние реликтовые датировки указывают на реальность проявления гранитоидного магматизма в допозднерифейское время и, в частности, в среднем рифее.

Ключевые слова: гранитоид, Кожимский массив, Приполярный Урал

A.M. PYSTIN, YU.I. PYSTINA. NEW DATA ON GRANITOID AGES FROM THE SUBPOLAR URALS IN CONNECTION WITH THE PROBLEM OF DISTINGUISHING OF THE MIDDLE RIPHEAN GRANITE-RHYOLITE KOZHIM FORMATION

The majority of researchers, basing on the data obtained on the age of granitoids of the Subpolar Urals, limit the processes of granite formation in this region to the interval of 490–650 million years. The actual materials presented in this paper, confirm the conclusion that processes of granite-genesis were most intensively manifested on the boundary of the Proterozoic and Paleozoic and testify to absence of the Late Paleozoic granitoid massifs in the Subpolar Urals. At the same time, the geological position of some granitoid massifs and ancient relic datings of the constituent rocks denote the reality of granitoid magmatism occurrence in the Late Preriphean and, in particular, in the Middle Riphean.

Key words: granitoid, the Kozhim massif, the Subpolar Urals

В рифейской и более поздней истории магматизма Приполярного Урала, согласно последней утвержденной схеме корреляции магматических комплексов севера Урала и прилегающих территорий [1], выделяется два крупных этапа магматизма, с которыми связывается становление двух разновозрастных гранитоидных комплексов: сальнеро-маньхембовского (V- E_1) и кожимского (P_2).

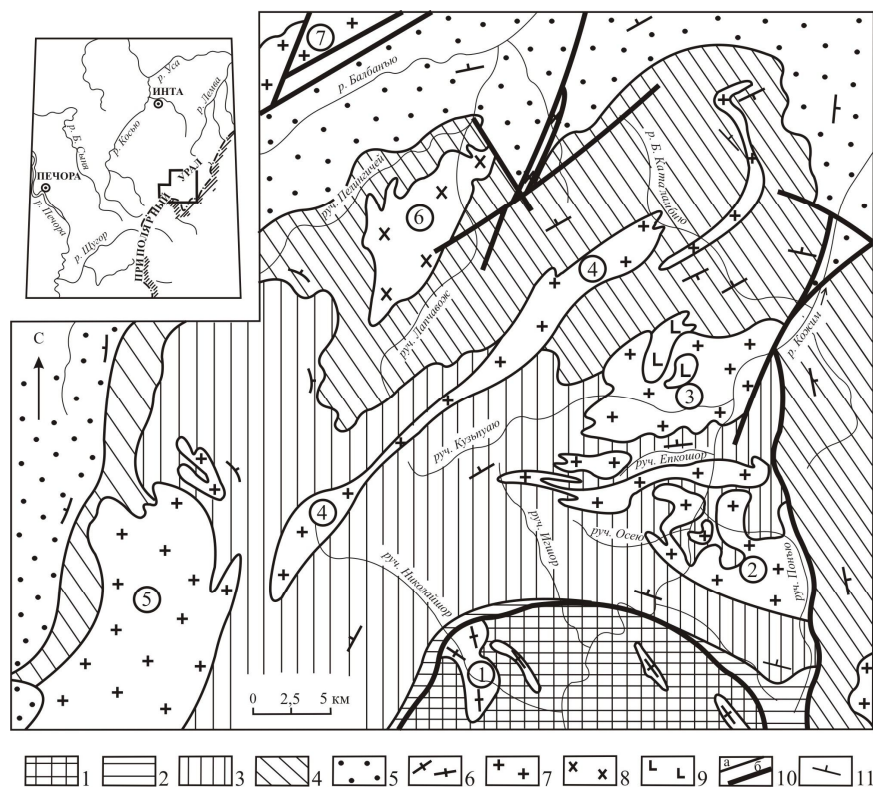
За последние два с лишним десятилетия на Приполярном Урале были получены принципиально новые геохронологические данные с использованием методов датирования малых навесок и единичных зерен цирконов. Они, как полагают некоторые исследователи, ставят под сомнение предположение о неоднократном проявлении процессов гранитообразования в этом регионе и правомерности выделения названных выше комплексов, так как изотопный возраст гранитоидов укладывается (за редким исключением) в интервал 490–650 млн. лет [2]. Эта точка зрения в какой-то мере согласуется с нашими ранними представлениями по типизации магматических комплексов

Приполярного Урала. **Нами [3] было** предложено объединить массивы гипабиссальных гранитов, залегающих в рифейско-вендских толщах Приполярного Урала, в единый нерасчлененный позднерифейско-вендский комплекс (сальнеро-маньхембовский и кожимский комплексы нерасчлененные). Это положение мы обосновывали тем, что отсутствуют четкие критерии для отнесения тех или иных массивов к двум и большему количеству комплексов. Опираясь на уже упомянутые выше геохронологические данные, В. Л. Андреичев [4] выделяет в истории гранитогенеза приполярноуральского сегмента литосферы три этапа: 640–580, 560–550 и 520–490 млн. лет. Два первых обусловлены субдукционно-коллизийными процессами при закрытии Протоуральского океана (тиманский орогенез), третий связан с эпиконтинентальным рифтингом, за которым последовало раскрытие Палеоуральского океана. По мнению В. Л. Андреичева, которое разделяют авторы настоящей статьи, нет достаточных оснований для выделения верхнепалеозойского кожимского гранитоидного комплекса.

Вместе с тем, давно существует идея о проявлении кислого магматизма на Приполярном Урале в среднерифейское время. В частности, эта точка зрения последовательно отстаивается Б. А. Голдиным, который именно с этим временным периодом связывает становление кожимского комплекса или формации [5, 6]. Основанием для выделения гранитоидов среднерифейского возраста послужило обнаружение в отложениях хобеинской свиты верхнего рифея продуктов разрушения этих пород [7, 8]. Установление позднее метариолитов и кислых метатифов в разрезе среднерифейской пуйвинской свиты [9] позволило Б. А. Голдину и его коллегам [6] рассматривать кожимские гранитоиды в составе риолит-гранитной формации. **В ее состав они включают** Кожимский, Хаталамба-Лапчинский, Николайшорский, Игшорский и некоторые другие массивы гранитоидов на Приполярном Урале.

Эти массивы по их положению в структуре Хобеизской антиклинали можно разделить на две группы (рис. 1). Одни из них (Николайшорский, Игшорский и др.) располагаются в пределах сильно эродированных нижнепротерозойских образований няртинского гнейсового комплекса. Они имеют гнейсовидную текстуру и сопровождаются ореолами мигматитов. Для других гранитоидных массивов (Кожимский, Хаталамба-Лапчинский и др.) вмещающими являются рифейские отложения. Массивы вытянуты в соответствии с очертаниями Хобеинского купола и окаймляются зонами роговиков. Текстура пород массивная, иногда гнейсовидная, структура – средне- и мелкокристаллическая.

Основываясь на U-Pb датах по единичным зернам цирконов, А. А. Соболева и ее соавторы [10] пришли к выводу, что в ядерной части Хобеизской антиклинали (т. е. в пределах няртинского гнейсового комплекса) гранитообразование происходило в интервале 640-520 млн. лет. Полученный нами возраст цирконов [11] из гранитов Николайшорского массива (606 ± 3 млн. лет) находится в этом же интервале, что подтверждает факт проявления высокотемпературных эндогенных процессов на Приполярном Урале на рубеже венда и палеозоя. Однако, на наш взгляд, это не означает, что процессы гранитообразования в нижнепротерозойской части разреза ограничиваются этими возрастными значениями. Как известно, породы няртинского комплекса, вмещающие Николайшорский и другие аналогичные ему массивы (Балашовский, Амбаршорский, Лавкашорский, Свободненский), претерпели несколько этапов высокотемпературного метаморфизма, начиная с 2.12 млрд. лет [12]. Маловероятно, что метаморфические процессы, проявившиеся в дорифейское время, не сопровождались формированием автохтонных и параавтохтонных гранитоидов. В связи с этим мы считаем важным обратить внимание на возраст единичного зерна циркона – 1756 млн. лет, полученный по породам Лавкашорского массива [10], который практически совпадает с датировками цирконов так называемого «мигматитового» типа (1748 ± 12 , 1748 ± 14 млн. лет) из мигматизированных метаморфических пород няртинского гнейсового комплекса в обрамлении гранитоидов, аналогичных николайшорским [11].



Массивы (номера в кружочках): 1 – Николайшорский, 2 – Кожимский; 3 – Кузьпуаюский; 4 – Хаталамба-Лапчинский; 5 – Народнинский; 6 – Лапчавожский; 7 – Малдинский.

И все же новые геохронологические данные, полученные для гранитов (гранито-гнейсов), образующих небольшие массивы среди глубокометаморфизованных пород, действительно свидетельствуют о проявлении процессов гранитогенезиса в вендское время в няртинском гнейсовом комплексе. Тем не менее, геологическое положение гранито-гнейсовых тел в совокупности с наличием реликтовых раннепротерозойских датировок, включая возрастные значения по цирконам из мигматитов (по сути тоже магматических цирконов, так как их образование связано с появлением силикатного расплава), сохраняют предпосылки для выделения николайшорского гранитоидного комплекса в понимании авторов упомянутой выше схемы корреляции магматических комплексов [1]. Оснований же для отнесения этих массивов к среднерифейской кожимской риолит-гранитной формации на сегодняшний день нет.

Среди других гранитоидных массивов, включаемых Б. А. Голдиным и его соавторами в состав кожимской риолит-гранитной формации, с позиции правомерности выделения среднерифейского этапа гранитообразования, наиболее интересным является межпластовое тело гранитоидов, залегающее в отложениях пуйвинской свиты в бассейне ручьев Понью, Осею и Епкошор (притоки р. Кожим в ее верхнем течении). В плане гранитоиды картируются как разрозненные субшироко вытянутые пластообразные линзы, ориентированные согласно с простиранием вмещающих толщ. «Гранитные линзы» в структурном отношении приурочены к ядрам антиклинальных складок и ассоциируются с хлорит-серицитовыми сланцами, переслаивающимися с кварцитами. Кварциты же, как известно, занимают нижнее положение в разрезе пуйвинской свиты. Скорее всего, эти разрозненные гранитные тела принадлежат одной маломощной межпластовой интрузии, смятой вместе с вмещающими отложениями. В составе этой интрузии преобладают мелко- и среднезернистые двуслюдяные граниты. В краевых частях гранитных тел отмечаются переходы к тонкозернистым и скрытокристаллическим лейкократовым разновидностям пород, нередко с флюидальной текстурой. Как было отмечено выше, в разрезе пуйвинской свиты присутствуют кислые вулканиты и пирокластические породы. Как и описываемые граниты, они преимущественно распространены в верхнем течении р. Кожим, т.е. пространственно ассоциируются с интрузивными разностями кислых магматитов. Этот факт является серьезным доводом в пользу гипотезы природы межпластовых гранитных тел и близости их возраста с возрастом вмещающих отложений. Для проверки предположения о пуйвинском возрасте гранитов Кожимского массива нами выполнены специальные структурные исследования [13]. Было установлено, что складки, развитые в кожимских гранитах (открытые и средней сжатости складки с пологим погружением шарниров на северо-запад), по морфологии близки описанным в пуйвинской свите. Геометрический анализ складчатости гранитов также подтвердил идентичность их деформации с деформацией пород пуйвинской свиты.

Считается, что описанные граниты на глубине не соединяются с массивом, расположенным севернее, в бассейне руч. Кузьпуаю. И на этом основании все гранитные тела объединяются в единый Кожимский массив. Однако северный интрузив отличается штокообразной формой, отделяется от южного полосой пуйвинской свиты и прорывает отложения хобеинской и мороинской свит верхнего рифея. Следовательно, возраст гранитов северного интрузива не может быть древнее, чем позднерифейский. Его целесообразно рассматривать в качестве самостоятельного массива, который может быть назван Кузьпуаюским*, сохранив название «Кожимский» за пластовой интрузией, залегающей среди отложений пуйвинской свиты. Полученный нами U-Pb возраст цирконов из гранитов кузьпуаюского массива – 601 ± 5 млн. лет (таблица, рис. 2) вполне согласуется с геологическими данными.

Изотопный возраст гранитов Кожимской межпластовой интрузии оказался почти таким же – 598 ± 3 млн. лет (таблица, рис. 2). В интерпретации этой датировки возникает проблема. Если это возраст формирования гранитных тел, то возникает вопрос о правомерности отнесения вмещающих их отложений пуйвинской свиты к образованиям среднего рифея. Нижняя возрастная граница пуйвинской свиты в этом случае должна быть поднята на уровень позднего рифея-венда, а схема стратиграфии верхнедокембрийских толщ Приполярного Урала коренным образом изменена. Более реалистичным нам представляется другой вариант интерпретации полученной датировки. Вероятно, она маркирует время проявления процессов ремобилизации гранитоидов или их метаморфизма, а не собственно формирования межпластовой интрузии. В этом случае Кожимский массив может принадлежать среднерифейской кожимской риолит-гранитной формации, как это считают Б.А. Голдин и его коллеги [5, 6].

Неоднозначными являются данные и по другому массиву – Хаталамба-Лапчинскому, который упомянутые исследователи также включают в состав кожимской риолит-гранитной формации. Структурная позиция Хаталамба-Лапчинского массива имеет некоторое сходство с Кожимским и Кузьпуаюским массивами. Массив состоит из двух линзовидных тел гранитоидов, соединенных относительно узкой перемычкой, сложенной также гранитоидами (рис. 1). При этом южное тело, представленное гнейсовидными гранитами, залегает согласно с вмещающими породами пуйвинской свиты, а северное – имеет явно секущие взаимоотношения с отложениями пуйвинской (R_2), хобеинской (R_3) и мороинской (R_3) свит. Структура гранитоидов северного тела преимущественно массивная. Данные, приведенные в таблице, демонстрируют разброс датировок цирконов из гранитов рассматриваемого массива. На U-Pb диаграмме с кон-

* Название предложено Л.Т. Беляковой во время совместных с авторами статьи экспедиционных работ на Приполярном Урале в 2003 г. и дано по руч. Кузьпуаю, левому притоку р. Кожим.

Результаты U-Pb изотопных исследований цирконов из гранитоидов Приполярного Урала

№ п/п	Номер зерна	²⁰⁶ Pb _c %	Содержание, мкг/г			Изотопные соотношения			Возраст, млн. лет	
			U	Th	²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb±%	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U±%	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U±%	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb
1	12.3.1	0,44	1450	945	107	0,06381±1	0,712±2,2	0,08575±0,53	530±2,7	612±45
2	12.6.1	0,54	907	524	71,3	0,06372±1,2	0,744±2,8	0,09096±0,63	561±3,4	579±59
3	12.1.2	-	1477	863	120	0,06005±0,99	0,7834±1,1	0,09453±0,43	582±2,4	607±21
4	12.2.1	0,20	802	433	66,4	0,06245±1,3	0,806±1,9	0,09617±0,63	592±3,5	632±39
5	12.4.1	0,13	840	525	69,6	0,0617±1,8	0,804±2,3	0,09621±0,54	592±3,1	625±49
6	12.7.1	0,38	522	246	43,6	0,0632±1,6	0,802±3,6	0,0969±0,7	596±4	605±76
7	12.1.1	0,12	874	516	73,5	0,06059±1,2	0,803±1,7	0,09774±0,52	601±3	588±35
8	12.5.1	0,12	1330	803	112	0,06149±1	0,818±1,4	0,09798±0,45	603±2,6	623±28
9	14.2.2	0,22	518	400	40,9	0,0622±1,7	0,764±3	0,0917±0,7	566±3,8	618±64
10	14.2.1	0,15	470	416	38,1	0,0605±1,8	0,77±2,4	0,09427±0,69	581±3,9	577±50
11	14.3.1	0,05	1037	919	84,4	0,05989±1,2	0,776±1,4	0,09464±0,5	583±2,8	584±29
12	14.1.1	0,09	875	892	71,8	0,06014±1,3	0,781±1,9	0,09544±0,53	588±3	581±39
13	14.6.1	0,21	363	292	30,4	0,0603±2,1	0,785±2,7	0,09727±0,81	598±4,6	550±57
14	14.3.2	0,19	563	431	47,3	0,0606±1,7	0,794±2,5	0,09753±0,8	600±4,6	568±51
15	14.5.1	-	145	61	12,1	0,0601±3,2	0,812±3,4	0,0975±1,2	600±6,8	616±68
16	14.4.1	0,29	395	256	33,6	0,0608±2	0,794±3	0,09867±0,78	607±4,5	544±64
17	16.1.1	0,56	1778	1007	0,59	0,06334±1,1	0,721±2,2	0,08898±0,47	549,5±2,5	558±47
18	16.8.1	0,11	535	226	0,44	0,0602±1,7	0,744±1,9	0,09103±0,63	561,6±3,4	579±40
19	16.2.1	2,85	479	357	0,77	0,0824±1,8	0,747±7,3	0,0916±0,84	565±4,5	572±160
20	16.3.1	0,15	1451	546	0,39	0,06064±0,97	0,757±1,4	0,09235±0,41	569,4±2,2	582±28
21	16.6.1	0,15	274	96	0,36	0,0611±2,3	0,779±2,9	0,09437±0,97	581,3±5,4	600±59
22	16.4.1	0,24	1274	635	0,51	0,06125±1	0,773±1,9	0,09448±0,44	582±2,5	579±40
23	16.7.1	0,32	460	252	0,56	0,0616±1,8	0,771±2,8	0,0947±0,71	583,3±4	568±60
24	16.5.1	0,90	135	28	0,22	0,0795±2,7	1,144±6,2	0,1154±1,2	703,9±8,1	984±120
25	16.5.2	0,27	621	91	0,15	0,07194±1,2	1,263±1,9	0,13135±0,54	795,5±4	920±37

Примечание: Места отбора проб и названия массивов: 1-8 – правый берег р. Кожим, в 2,5 км ниже устья руч. Хасаварка, Кожимский массив; 9-16 – левый берег р. Кожим, в 0,5 км ниже устья руч. Кузьпуаю, Кузьпуаюский массив; 17-25 – левый берег р. Б. Каталамбию, в 8,0 км выше устья, Хаталамба-Лапчинский массив. Анализы выполнены в центре изотопных исследований ВСЕГЕИ. Аналитик А. Н. Ларионов.

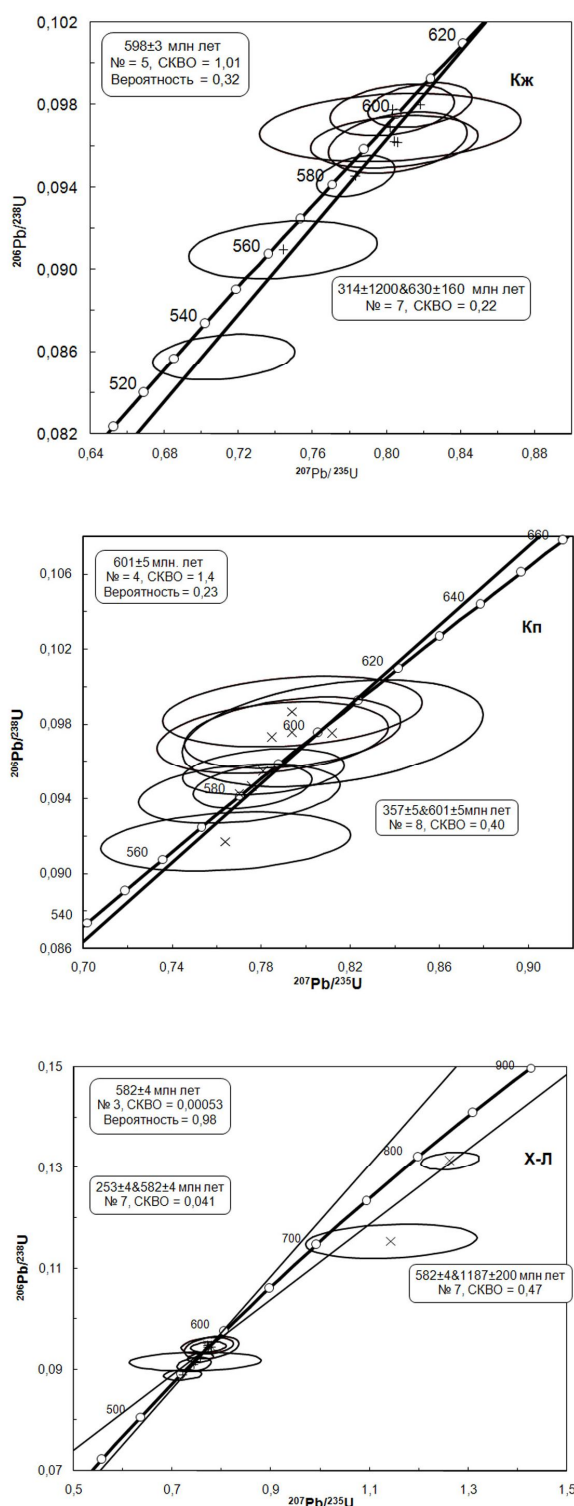


Рис. 2. U-Pb диаграммы с конкордией для цирконов из гранитоидов Приполярного Урала. Массивы: Кж – Кожимский, Кп – Кузпуяуский, Х-Л – Хаталамба-Лапчинский.

кордией (рис. 2) видно, что нижнее пересечение конкордии с дискордией соответствует значению 582 ± 4 млн. лет, а верхнее – 1187 ± 200 млн. лет. Отметим также, что для двух зерен циркона установ-

лены резко аномальные значения возраста в изотопной системе $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$: 984 ± 120 и 920 ± 37 млн. лет. Возможно, что в Хаталамба-Лапчинском массиве совмещены два разновозрастных интрузива. Если это так, то южное тело должно быть отнесено к кожимскому, а северное – к сальнеро-маньхам-бовскому комплексам.

Таким образом, в свете результатов современных геохронологических исследований [2, 4, 11, 15 и др.], основания для выделения на Приполярном Урале позднепалеозойского этапа гранитоидного магматизма отсутствуют. Процессы гранитоге-неза в позднедокембрийской истории формирования приполярноуральского сегмента земной коры наиболее интенсивно проявились на рубеже протерозоя и палеозоя. Полученный нами вендский возраст гранитоидов находится именно в том интервале, которым большинство исследователей ограничивают возрастные рамки процессов гранитообразования на Приполярном Урале. Вместе с тем, имеющиеся на сегодняшний день геологические данные, частично подтвержденные изотопно-геохронологическими датировками, указывают на перспективность идеи выделения среднерифейского кожимского гранитоидного комплекса или риолит-гранитной формации в понимании Б.А. Голдина и его коллег.

Литература

1. Корреляция магматических комплексов севера Урала и прилегающих территорий / В.Н.Охотников, В. И.Степаненко, Л.Т.Белякова и др. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1988. 55 с.
2. Гранитоиды севера Урала: новые данные / Л.В.Махлаев, И.И.Голубева, Д.Н.Ремизов, АА.Соболева. Строение, геодинамика и минерогенетические процессы в литосфере: Материалы XI Междунар. науч. конф. Сыктывкар: Геопринт, 2005. С. 346-349.
3. Пыстин А.М. Полиметаморфические комплексы западного склона Урала. СПб.: Наука, 1994. 208 с.
4. Андреичев В. Л. Геохронология гранитоидного магматизма Приполярного Урала // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН, 2010, №11. С. 7-12.
5. Голдин Б.А., Калинин Е.П. Доордовикский магматизм Севера Урала // Доордовикская история Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1980. С. 3-30.
6. Голдин Б.А., Калинин Е.П., Пучков В.Н. Магматические формации западного склона севера Урала и их минерогения. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1999. 214 с.
7. Львов К.А. Стратиграфия протерозоя и нижнего палеозоя Приполярного Урала // Тр. Геол. ин-та АН СССР. 1959. Вып. 35. С. 51-73.
8. Фишман М.В., Голдин Б.А. Гранитоиды центральной части Приполярного Урала. Л.: Наука, 1963. 105 с.
9. Юдович Я.Э., Мерц А.В., Пыстин А.М. Контрастно-зональные гранаты в кислых метатифах из рифейских отложений Приполярного Урала // Народное хозяйство Республики

- Коми. Воркута – Сыктывкар, 1992. Т.1, № 3. С. 492–504.
10. *Возраст цирконов* из гранитов ядра Хобеизского гранито-гнейсового купола (Полярный Урал)/ А.А. Соболева, Н.А. Кузенков, О.В. Удоратина и др. // Происхождение магматических пород: Материалы Международного (X Всероссийского) петрографического совещания. Апатиты: Кольский НЦ РАН, 2005. С. 236–238.
 11. *Пыстин А.М., Пыстина Ю.И.* Метаморфизм и гранитообразование в протерозойско-раннепалеозойской истории формирования Приполярноуральского сегмента земной коры//Литосфера, 2008. № 8. С. 25–38.
 12. *Пыстина Ю.И., Пыстин А.М.* Цирконовая летопись Уральского докембрия. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 168 с.
 13. *Нижний докембрий Приполярного Урала* / А.М. Пыстин, Ю.И. Пыстина, И.Л. Потапов и др. Сыктывкар: Геопринт, 2010. 44 с.

Статья поступила в редакцию 21.10.2011.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 638.383

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С УЧЕТОМ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА

О.Н. БУРМИСТРОВА, Е.В. ПЛАСТИНИНА, М.А. ВОРОНИНА

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта
Oburmistrova@ugtu.net/

В статье рассматриваются отличительные особенности строительства лесных дорог Республики Коми. Приведена расчетная схема дорожных одежд, учитывающая возможность значительного накопления остаточных деформаций в подстилающем грунте основания насыпного слоя. Разработана математическая модель, позволяющая рассчитать оптимальную толщину дорожной одежды, армированную геосинтетическими материалами.

Ключевые слова: математическая модель, лесовозная автомобильная дорога, геосинтетические материалы, дорожная одежда

O.N. BURMISTROVA, E.V. PLASTININA, M.A. VORONINA. MATHEMATICAL MODEL OF FOREST ROADS DESIGNING TAKING INTO ACCOUNT ENVIRONMENTAL CONDITIONS OF NORTHWEST REGION

Distinctive features of building of wood roads in the Komi Republic are considered. The design scheme of road coverings taking into account the possibility of considerable accumulation of residual deformations in the lower coating of the basis of the filled layer is given. The mathematical model is developed, allowing to calculate the optimum thickness of road covering reinforced by geosynthetic materials.

Key words: mathematical model, forest road, geosynthetic materials, road covering

Лесопромышленный комплекс занимает одно из ведущих мест в народнохозяйственном комплексе Республики Коми как по объемам товарной продукции, так и по удельному весу работающих, валютной выручке, формированию бюджетов всех уровней. Он во многом определяет социально-экономическое состояние республики. Лесные ресурсы, как составная часть экономического потенциала Республики Коми, являются базой развития всех отраслей лесопромышленного комплекса [1].

Потенциал лесных ресурсов Республики Коми значителен. На её долю приходится 4,1% всей лесопокрытой площади России; 3,9% общих запасов леса; 4,2% запасов древесины хвойных пород; 5,3% запасов спелых и перестойных насаждений.

Генплан строительства лесных дорог РК предусматривает строительство магистральных и грузосборочных лесных дорог круглогодичного действия в период с 2009 по 2017 гг. протяженностью 4430 км и реконструкцию существующих дорог протяженностью 789 км. В качестве основных грузосборочных дорог предполагается использовать дороги общего пользования.

Сегодня в Коми насчитывается 53 тыс. км лесных дорог, из которых круглогодично действуют

всего 4 тыс. км. Это в сотни раз меньше показателей европейских стран и в десятки – европейских регионов России. Территории Северо-Западного региона характеризуются значительной транспортной удалённостью от мест переработки, неблагоприятными почвенно-грунтовыми условиями (заболоченность) и низким средним запасом на гектаре (100 м^3 и менее). Более 70% лесного фонда не доступно для разработки в летнее время по почвенно-грунтовым условиям, при этом распределение «зимних» и «летних» лесов по территории республики неравномерно.

Отличительной особенностью лесовозных автомобильных дорог, возводимых для кратковременного функционирования (ветки, усы), является то, что конструкции дорожных одежд назначаются, главным образом, из условий обеспечения проезда транспортных средств [2].

Дорожная одежда – инженерная конструкция из нескольких слоев различных дорожно-строительных материалов, предназначенная для движения автотранспорта. Дорожное покрытие – одно- или многослойная верхняя часть дорожной одежды, воспринимающая нагрузки от транспортных средств и защищающая основание от воздействия климати-

ческих факторов. В представленной работе рассчитывается минимальная требуемая толщина всей дорожной одежды для ограничения глубины развития колеи некоторой величиной, допустимой по условию проходимости расчетных автомобилей. В связи с этим, расчетная схема таких дорожных одежд должна учитывать возможность значительного накопления остаточных деформаций в подстилающем грунте основания насыпного слоя.

Экспериментальные исследования армированных геосинтетическими материалами дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог, где минимально необходимая толщина насыпного слоя назначается из условия проходимости и допускается сравнительно большая колея, позволили выявить схемы деформирования таких конструкций (рисунки 1, 2).

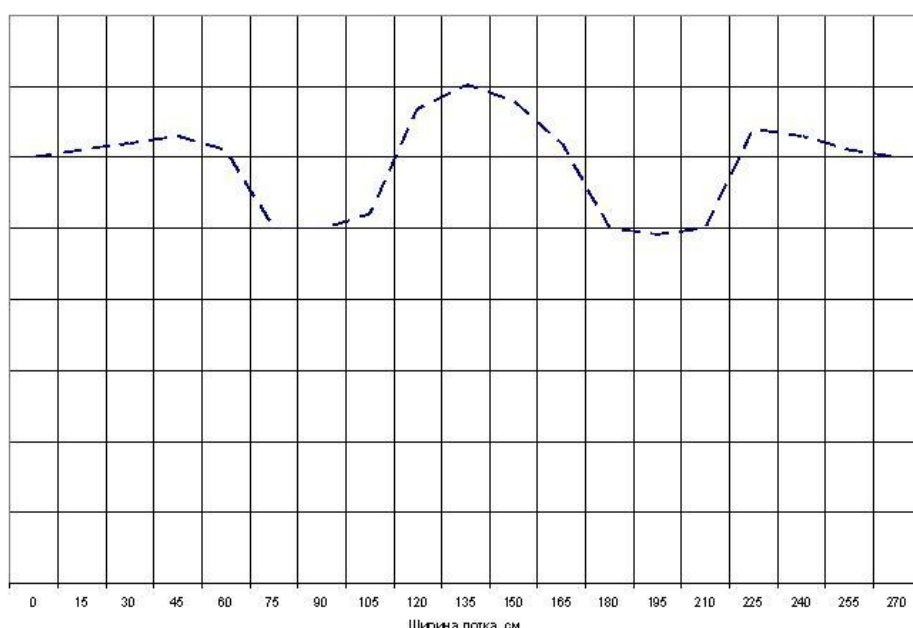


Рис. 1. Схема деформирования армированной дорожной одежды.

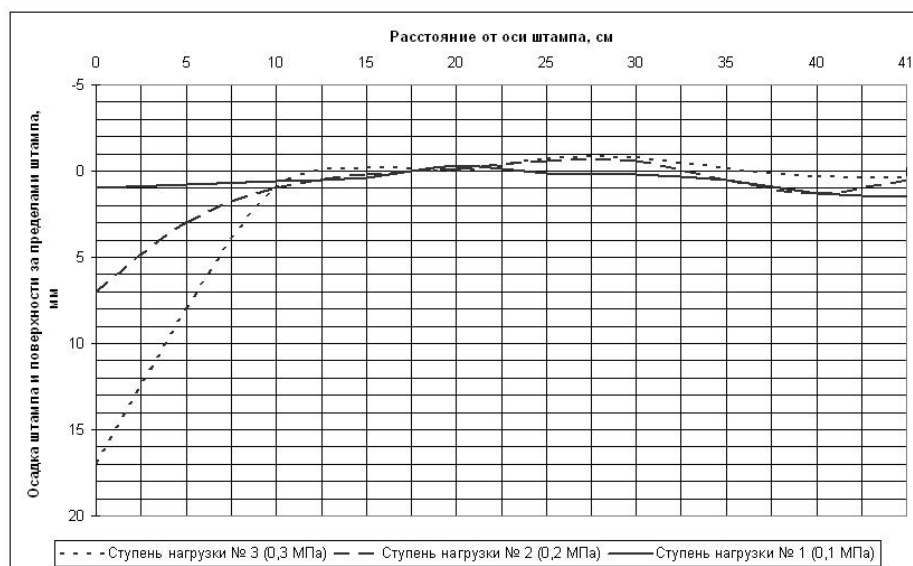


Рис. 2. Схема деформирования геосинтетического материала за пределами штампа по результатам экспериментальных исследований.

Проведенные эксперименты показали, что работа конструкций в условиях одно- и двухштампового нагружения отличаются.

По одноштамповой схеме несущая способность армированной конструкции составляет всего $3,4 \text{ кгс/см}^2$, но при проезде транспортного средства предельное состояние конструкции не достигается даже при многократных проездах техники. Это объясняется тем, что благодаря георешетке в работу включается большая площадь основания – в «колейной» зоне и между колесами соседних осей. После 30 проходов техники конструкция, армированная георешеткой, остаётся работоспособной и имеет удовлетворительные транспортно-эксплуатационные показатели.

При двухштамповой схеме нагружения, моделирующей одновременное воздействие на дорожную одежду обоих колес оси автомобиля, несущая способность армированной конструкции значительно возрастает. Объясняется данный факт возникновением так называемого «анкерного» эффекта, когда включается в работу часть геосинтетического материала в «межколейной зоне», т.е. в зоне защемления геосинтетики между колесами автомобиля.

Таким образом, для учета влияния георешеток на напряженно-деформированное состояние дорожных одежд и подстилающего грунтового основания, работающих в стадии накопления значительных остаточных деформаций, рассматривается условие равновесия слоя зернистого материала и георешетки на винклеровском (упругом) основании с шероховатой поверхностью в условиях двухштампового нагружения (рис. 3). Задача состоит в определении функции прогиба армированного слоя (положения равновесия).

В расчетной схеме обосновано использование винклеровского основания. В работах [2, 3] сделаны выводы, что в большинстве случаев кривые осадок поверхности грунтов, построенные на

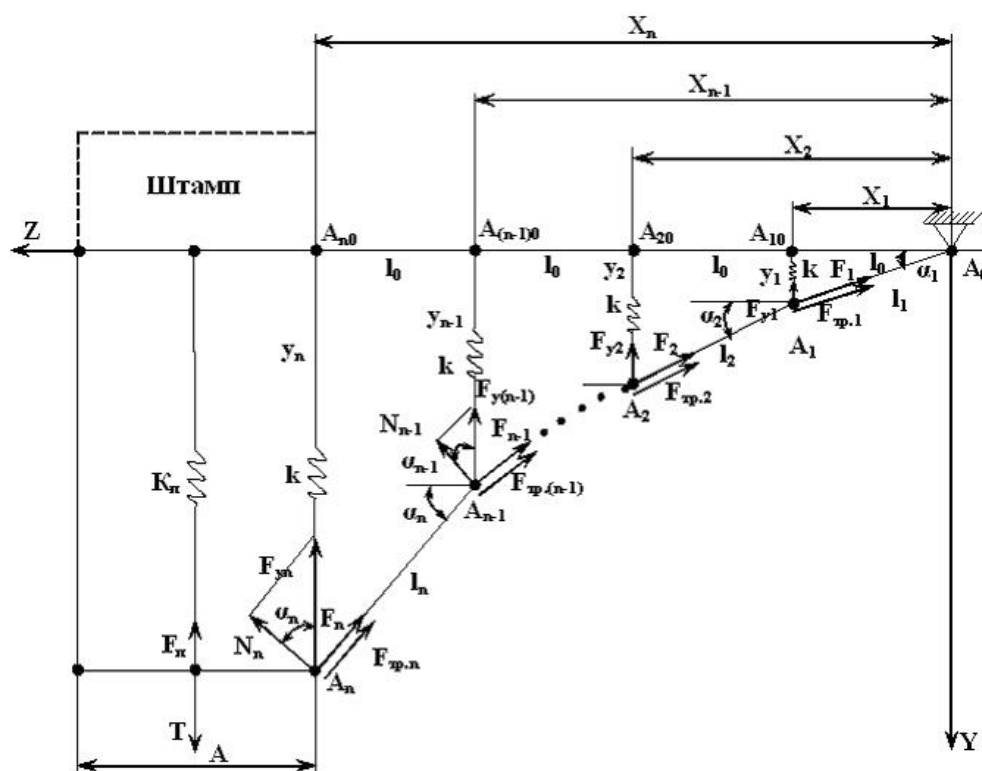


Рис. 3. Расчетная схема условия равновесия слоя зернистого материала и георешетки на винклеровском (упругом) основании с шероховатой поверхностью в условиях двухштампового нагружения.

основе модели линейно-деформированного полупространства, дают сходимость с результатами экспериментов лишь при малой влажности грунта, что типично для летнего периода и для грунтов, незначительно меняющих влажность в течение года. При влажности грунта $W > 0,75W_t$, что особенно характерно для расчетного периода, распределительная способность грунта невелика, и поэтому модель Винклера наиболее точно отражает деформации грунта. Модель линейно-деформируемого полупространства может быть использована при благоприятных грунтовых условиях в III, IV и V дорожно-климатических зонах.

Предпосылки математической модели:

1. Георешетка представлена механической системой, состоящей из n продольных и m поперечных упругих стержней, лежащих на шероховатой упругой поверхности и растягиваемых силой T , приложенной со стороны штампа. Соединение стержней – шарнирное без трения.

2. До нагружения штампом с силой T стержни занимают горизонтальное положение. Длина стержней до деформации равна l_0 . Коэффициент трения – скольжение стержней о шероховатую поверхность – равен f . Параметр относительной жесткости стержней равен $s = E_{cm}F / l_0$, где E_{cm} – модуль упругости геосинтетического материала, F – площадь поперечного сечения стержня. Упругая поверхность под георешеткой моделируется N пружинами с коэффициентами жесткости k , а упругая поверхность под штампом имеет коэффициент жесткости (постели) K_n .

3. Допускается что шарниры $A_1, A_2, \dots, A_n$ при нагружении перемещаются только по вертикали. Тогда число степеней свободы рассматриваемой механической системы равно числу стержней.

4. Задача при двухштамповой схеме нагружения является симметричной, поэтому она сводится к одноштамповому нагружению.

5. В качестве обобщенных координат принимаем углы $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, которые образуют стержни с осью x после нагружения системы силой T .

$$q_1 = \alpha_1, q_2 = \alpha_2, \dots, q_s = \alpha_n \quad (1)$$

Для определения положения равновесия механической системы, которое она займет после нагружения силой T , воспользуемся принципом возможных перемещений в обобщенных силах. Для этого следует составить выражение возможной работы и приравнять ее к нулю.

$$Q_1 \cdot \delta q_1 + Q_2 \cdot \delta q_2 + \dots + Q_s \cdot \delta q_n = 0, \quad (2)$$

где $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ – обобщенные силы, соответствующие выбранным обобщенным координатам;

$\delta q_1, \delta q_2, \dots, \delta q_n$ – вариации обобщенных координат.

Поскольку вариации обобщенных координат произвольны и независимы друг от друга, то равенство (2) выполняется при условии:

$$Q_1 = 0, Q_2 = 0, \dots, Q_n = 0. \quad (3)$$

Выразив каждую из обобщенных сил Q_j через обобщенные координаты $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, получим систему N нелинейных алгебраических уравнений:

$$\left. \begin{aligned} Q_1(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) &= 0 \\ Q_2(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) &= 0 \\ Q_n(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

Таким образом, задача заключается в нахождении обобщенных сил, как коэффициентов при вариации обобщенных координат в выражении возможной работы и решении системы уравнений (4).

К каждому из шарниров $A_1, A_2, \dots, A_n$ (рис. 3) приложены силы: $F_1, F_2, \dots, F_n$ со стороны растя-

нутых стержней, силы упругости $F_{\delta 1}, F_{\delta 2}, \dots, F_{\delta n}$, силы трения $F_{\delta \delta 1}, F_{\delta \delta 2}, \dots, F_{\delta \delta n}$. Кроме того, будет приложена сила упругости грунта $F_n = k_n \cdot y_n$ (под штампом). К участку сетки под штампом приложена сила T .

Силы, растягивающие стержни, равны: $F_1 = c \cdot \lambda_1, F_2 = c \cdot \lambda_2, \dots, F_n = c \cdot \lambda_n$, где $\lambda_1 = l_1 - l_0; \lambda_2 = l_2 - l_0, \dots, \lambda_n = l_n - l_0$ – удлинения стержней; $l_1, l_2, \dots, l_n$ – длина стержней после деформации.

Силы упругости пружин: $F_{\delta 1} = k \cdot \delta_1, F_{\delta 2} = k \cdot \delta_2, \dots, F_{\delta n} = k \cdot \delta_n$, где $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$ – ординаты точек $A_1, A_2, \dots, A_n$, равные удлинениям пружин.

Силы трения скольжения определяются по закону Кулона:

$$F_{\delta \delta 1} = f \cdot F_{\delta 1} \cdot \cos \alpha_1; \\ F_{\delta \delta 2} = f \cdot F_{\delta 2} \cdot \cos \alpha_2, \dots, F_{\delta \delta n} = f \cdot F_{\delta n} \cdot \cos \alpha_n.$$

Реакция грунта под штампом: $F_n = k_n \cdot y_n$.

Выразим координаты точек приложения сил $A_1, A_2, \dots, A_n$ через обобщенные координаты:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= l_0; y_1 = l_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 \\ x_2 &= 2 \cdot l_0; y_2 = l_0 \cdot (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2) \\ x_n &= n \cdot l_0; y_n = l_0 \cdot (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \dots + \operatorname{tg} \alpha_{n-1}) \end{aligned} \right\}. \quad (5)$$

Найдем удлинение стержней:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_1 &= l_0 \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_1} - l_0 \\ \lambda_2 &= l_0 \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_2} - l_0 \\ \lambda_n &= l_0 \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_n} - l_0 \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

Тогда силы, растягивающие стержни, будут равны:

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= cl_0 \left(\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_1} - 1 \right) = cl_0 \left(\frac{1}{\cos \alpha_1} - 1 \right) \\ F_2 &= cl_0 \left(\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_2} - 1 \right) = cl_0 \left(\frac{1}{\cos \alpha_2} - 1 \right) \\ F_n &= cl_0 \left(\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_n} - 1 \right) = cl_0 \left(\frac{1}{\cos \alpha_n} - 1 \right) \end{aligned} \right\}. \quad (7)$$

Определим силы упругости пружины:

$$\left. \begin{aligned} F_{\delta 1} &= kl_0 \operatorname{tg} \alpha_1 \\ F_{\delta 2} &= kl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2) \\ F_{\delta n} &= kl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \dots + \operatorname{tg} \alpha_n) \end{aligned} \right\}. \quad (8)$$

Отсюда силы трения скольжения:

$$\left. \begin{aligned} F_{\delta \delta 1} &= fkl_0 \operatorname{tg} \alpha_1 \cos \alpha_1 \\ F_{\delta \delta 2} &= fkl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2) \cos \alpha_2 \\ F_{\delta \delta n} &= fkl_0 (\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2 + \dots + \operatorname{tg} \alpha_n) \cos \alpha_n \end{aligned} \right\}. \quad (9)$$

Сообщим рассматриваемой механической системе возможные перемещения: $\delta \alpha_1, \delta \alpha_2, \dots, \delta \alpha_n$, вычислим возможную работу всех приложенных к ней сил и приравняем её к нулю:

$$\begin{aligned} T \delta \alpha_1 - F_n \delta y_n - F_{y1} \delta y_1 - F_{y2} \delta y_2 - \dots - \\ - \dots - F_{yn} \delta y_n - \dots - F_1 \delta x_1 - F_2 \delta x_2 - \dots - F_n \delta x_n - \\ - F_{\delta \delta 1} \cdot \cos \alpha_1 \cdot \delta x_1 - F_{\delta \delta 2} \cdot \cos \alpha_2 \cdot \delta x_2 - \dots - \\ - \dots - F_{\delta \delta n} \cdot \cos \alpha_n \cdot \delta x_n - F_{\delta \delta 1} \cdot \sin \alpha_1 \cdot \delta y_1 - \\ - F_{\delta \delta 2} \cdot \sin \alpha_2 \cdot \delta y_2 - \dots - F_{\delta \delta n} \cdot \sin \alpha_n \cdot \delta y_n = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\left. \begin{aligned} \delta x_1 &= \frac{dx_1}{d\alpha_1} \delta \alpha_1 = 0 \\ \delta y_1 &= \frac{dy_1}{d\alpha_1} \delta \alpha_1 = l_0 \frac{\delta \alpha_1}{\cos^2 \alpha_1} \\ \delta x_2 &= \frac{dx_2}{d\alpha_1} \delta \alpha_1 + \frac{dx_2}{d\alpha_2} \delta \alpha_2 = 0 \\ \delta y_2 &= \frac{dy_2}{d\alpha_1} \delta \alpha_1 + \frac{dy_2}{d\alpha_2} \delta \alpha_2 = \\ &= l_0 \frac{\delta \alpha_1}{\cos^2 \alpha_1} + l_0 \frac{\delta \alpha_2}{\cos^2 \alpha_2} \\ \delta x_n &= 0 \\ \delta y_n &= l_0 \left(\frac{\delta \alpha_1}{\cos^2 \alpha_1} + \frac{\delta \alpha_2}{\cos^2 \alpha_2} + \dots + \frac{\delta \alpha_n}{\cos^2 \alpha_n} \right) \end{aligned} \right\}. \quad (11)$$

Найдем вариации удлинения стержней:

$$\left. \begin{aligned} \delta \lambda_1 &= \frac{d\lambda_1}{d\alpha_1} \delta \alpha_1 = l_0 \frac{\operatorname{tg} \alpha_1 \delta \alpha_1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_1} \cos^2 \alpha_1} = \\ &= l_0 \frac{\sin \alpha_1}{\cos^2 \alpha_1} \delta \alpha_1 \\ \delta \lambda_2 &= \frac{d\lambda_2}{d\alpha_2} \delta \alpha_2 = l_0 \frac{\operatorname{tg} \alpha_2 \delta \alpha_2}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_2} \cos^2 \alpha_2} = \\ &= l_0 \frac{\sin \alpha_2}{\cos^2 \alpha_2} \delta \alpha_2 \\ \delta \lambda_n &= \frac{d\lambda_n}{d\alpha_n} \delta \alpha_n = l_0 \frac{\operatorname{tg} \alpha_n \delta \alpha_n}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_n} \cos^2 \alpha_n} = \\ &= l_0 \frac{\sin \alpha_n}{\cos^2 \alpha_n} \delta \alpha_n \end{aligned} \right\}. \quad (12)$$

Значения сил (7) – (9) и вариаций (11) – (12) подставим в выражение (10).

$$\begin{aligned}
 & Tl_0 \left(\frac{\delta\alpha_1}{\cos^2 \alpha_1} + \frac{\delta\alpha_2}{\cos^2 \alpha_2} + \dots + \frac{\delta\alpha_n}{\cos^2 \alpha_n} \right) - \\
 & - K_n l_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + \dots + tg\alpha_n) \times \\
 & \times \left(\frac{\delta\alpha_1}{\cos^2 \alpha_1} + \frac{\delta\alpha_2}{\cos^2 \alpha_2} + \dots + \frac{\delta\alpha_n}{\cos^2 \alpha_n} \right) - \dots - \\
 & - \dots - \left(kl_0 tg\alpha_1 \frac{l_0}{\cos^2 \alpha_1} \delta\alpha_1 - kl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2) \right) \times \\
 & \times \left(\frac{l_0}{\cos^2 \alpha_1} \delta\alpha_1 + \frac{l_0}{\cos^2 \alpha_2} \delta\alpha_2 \right) - \dots - \\
 & - \dots - kl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + \dots + tg\alpha_n) \times \\
 & \times \left(\frac{l_0}{\cos^2 \alpha_1} \delta\alpha_1 + \frac{l_0}{\cos^2 \alpha_2} \delta\alpha_2 + \dots + \right. \\
 & \left. + \dots + \frac{l_0}{\cos^2 \alpha_n} \delta\alpha_n \right) - \\
 & - cl_0 (\sqrt{1 + tg^2 \alpha_1} - 1) \frac{l_0 \sin \alpha_1}{\cos^2 \alpha_1} \delta\alpha_1 - \\
 & - cl_0 (\sqrt{1 + tg^2 \alpha_2} - 1) \frac{l_0 \sin \alpha_2}{\cos^2 \alpha_2} \delta\alpha_2 - \dots - \\
 & - \dots - cl_0 (\sqrt{1 + tg^2 \alpha_n} - 1) \frac{l_0 \sin \alpha_n}{\cos^2 \alpha_n} \delta\alpha_n - \\
 & - fkl_0 tg\alpha_1 \cos \alpha_1 \sin \alpha_1 \frac{\delta\alpha_1}{\cos^2 \alpha_1} - \\
 & - fkl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2) \cos \alpha_2 \sin \alpha_2 \times \\
 & \times \left(\frac{\delta\alpha_1}{\cos^2 \alpha_1} + \frac{\delta\alpha_2}{\cos^2 \alpha_2} \right) - \dots - \\
 & - \dots - fkl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + tg\alpha_n) \times \\
 & \times \cos \alpha_n \sin \alpha_n \left(\frac{\delta\alpha_1}{\cos^2 \alpha_1} + \frac{\delta\alpha_2}{\cos^2 \alpha_2} + \dots + \right. \\
 & \left. + \dots + \frac{\delta\alpha_n}{\cos^2 \alpha_n} \right) = 0 \quad (13)
 \end{aligned}$$

Сократим на l_0 и сгруппируем члены с $\delta\alpha_1$, $\delta\alpha_2, \dots, \delta\alpha_n$:

$$\begin{aligned}
 & [T \left(\frac{1}{\cos^2 \alpha_1} \right) - kl_0 \left(\frac{tg\alpha_1}{\cos^2 \alpha_1} \right) - kl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2) \times \\
 & \times \frac{1}{\cos^2 \alpha_1} - \dots - kl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + \dots + tg\alpha_n) \times \\
 & \times \frac{1}{\cos^2 \alpha_1} - K_n l_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + \dots + tg\alpha_n) \times \\
 & \times \frac{1}{\cos^2 \alpha_1} - cl_0 (\sqrt{1 + tg^2 \alpha_1} - 1) \frac{\sin \alpha_1}{\cos^2 \alpha_1} - fkl_0 tg\alpha_1 \times \\
 & \times \cos \alpha_1 \sin \alpha_1 \frac{1}{\cos^2 \alpha_1} - fkl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2) \cos \alpha_2 \times \\
 & \times \sin \alpha_2 \frac{1}{\cos^2 \alpha_1} - \dots - fkl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + \dots + tg\alpha_n) \times \\
 & \times \cos \alpha_n \sin \alpha_n \frac{1}{\cos^2 \alpha_1}] \delta\alpha_1 + [T \left(\frac{1}{\cos^2 \alpha_2} \right) - kl_0 \times \\
 & \times \left(\frac{tg\alpha_1}{\cos^2 \alpha_2} \right) - kl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2) \frac{1}{\cos^2 \alpha_2} - \dots - kl_0 \times \\
 & \times (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + \dots + tg\alpha_n) \frac{1}{\cos^2 \alpha_2} - K_n l_0 \times \\
 & \times (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + \dots + tg\alpha_n) \frac{1}{\cos^2 \alpha_2} - cl_0 \times \\
 & \times (\sqrt{1 + tg^2 \alpha_2} - 1) \frac{\sin \alpha_2}{\cos^2 \alpha_2} - fkl_0 tg\alpha_1 \cos \alpha_1 \sin \alpha_1 \times \\
 & \times \frac{1}{\cos^2 \alpha_2} - fkl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2) \cos \alpha_2 \sin \alpha_2 \times \\
 & \times \frac{1}{\cos^2 \alpha_2} - \dots - fkl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + \dots + tg\alpha_n) \cos \alpha_n \times \\
 & \times \sin \alpha_n \frac{1}{\cos^2 \alpha_2}] \delta\alpha_2 + \dots + [T \left(\frac{1}{\cos^2 \alpha_n} \right) - kl_0 \times \\
 & \times \left(\frac{tg\alpha_1}{\cos^2 \alpha_n} \right) - kl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2) \frac{1}{\cos^2 \alpha_n} - \dots - \\
 & - \dots - kl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + \dots + tg\alpha_n) \frac{1}{\cos^2 \alpha_n} - \\
 & - K_n l_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + \dots + tg\alpha_n) \frac{1}{\cos^2 \alpha_n} - cl_0 \times \\
 & \times (\sqrt{1 + tg^2 \alpha_n} - 1) \frac{\sin \alpha_n}{\cos^2 \alpha_n} - fkl_0 tg\alpha_1 \cos \alpha_n \sin \alpha_n \times \\
 & \times \frac{1}{\cos^2 \alpha_n} - fkl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2) \cos \alpha_n \sin \alpha_n \times \\
 & \times \frac{1}{\cos^2 \alpha_n} - \dots - fkl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + \dots + tg\alpha_n) \times \\
 & \times \cos \alpha_n \sin \alpha_n \frac{1}{\cos^2 \alpha_n}] \delta\alpha_n = 0 \quad (14)
 \end{aligned}$$

Приравняв к нулю коэффициенты при $\delta\alpha_1, \delta\alpha_2, \dots, \delta\alpha_n$, получим n систему нелинейных трансцендентных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} T - kl_0 tg\alpha_1 - kl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2) - \dots - \\ - \dots - kl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + \dots + tg\alpha_n) - K_n l_0 \times \\ \times (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + \dots + tg\alpha_n) - cl_0 \left(\sqrt{1 + tg^2 \alpha_1} - 1 \right) \times \\ \times \sin \alpha_1 - fkl_0 tg\alpha_1 \cos \alpha_1 \sin \alpha_1 - kl_0 \times \\ \times (tg\alpha_1 + tg\alpha_2) \cos \alpha_2 \sin \alpha_2 - \dots - fkl_0 \times \\ \times (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + \dots + tg\alpha_n) \cos \alpha_n \sin \alpha_n = 0 \\ \\ T - kl_0 tg\alpha_1 - kl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2) - \dots - \\ - \dots - kl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + \dots + tg\alpha_n) - K_n l_0 \times \\ \times (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + \dots + tg\alpha_n) - cl_0 \left(\sqrt{1 + tg^2 \alpha_1} - 1 \right) \times \\ \times \sin \alpha_2 - fkl_0 tg\alpha_1 \cos \alpha_1 \sin \alpha_1 - fkl_0 \times \\ \times (tg\alpha_1 + tg\alpha_2) \cos \alpha_2 \sin \alpha_2 - \dots - fkl_0 \times \\ \times (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + \dots + tg\alpha_n) \cos \alpha_n \sin \alpha_n = 0 \\ \\ T - kl_0 tg\alpha_1 - kl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2) - \dots - \\ - \dots - kl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + \dots + tg\alpha_n) - \\ - K_n l_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + \dots + tg\alpha_n) - cl_0 \times \\ \times \left(\sqrt{1 + tg^2 \alpha_1} - 1 \right) \sin \alpha_n - fkl_0 tg\alpha_1 \cos \alpha_n \times \\ \times \sin \alpha_n - fkl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2) \cos \alpha_n \sin \alpha_n - \dots - \\ - \dots - fkl_0 (tg\alpha_1 + tg\alpha_2 + \dots + tg\alpha_n) \times \\ \times \cos \alpha_n \sin \alpha_n = 0 \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Решая систему уравнений (15) численным методом (методом Ньютона) при заданных значениях T, l_0, c, k, K_n , найдем значение углов $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, определяющих положение равновесия системы. После определяем функцию прогиба армированного слоя (положения равновесия).

Выводы

Представленная математическая модель позволяет рассчитать оптимальную толщину дорожной одежды, армированную геосинтетическими материалами в условиях Северо-Западного региона, удовлетворяющую требуемым условиям.

Практическая применимость теоретических расчетов даст возможность произвести прогноз полной осадки и времени консолидации основания дорожной одежды, провести проверку устойчивости основания и динамический расчет насыпи на участках дорог, армированных геосинтетическими материалами.

Литература

1. *Проект правительства Республики Коми. «Генеральная схема развития сети лесных дорог Республики Коми»*. Сыктывкар, 2008. 48 с.
2. *Леонович И.И.* Использование геосинтетиков в дорожном строительстве // Научно-теоретический и производственно-практический журнал «Строительство». 2003. № 1-2. С. 285-294.
3. *Фомин А. П., Буданов В. Г., Пушкин В. И.* Повышение качества земляного полотна путем его армирования // Совершенствование организации и технологии ремонта и содержания автомобильных дорог: Сб. науч. тр. / Гипродорнии. М., 1979. Вып. 26. 119 с.

Статья поступила в редакцию 06.09.2011.

СРЕДСТВА ВЫРАЖЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА В ФИННО-УГОРСКИХ ЯЗЫКАХ

Г.А. НЕКРАСОВА

Институт языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН, г.Сыктывкар
komilang@gmail.com

В статье рассматриваются основные средства выражения семантической роли инструмента в финно-угорских языках. Описаны их свойства, тенденции развития. Акцентируется внимание на связь инструментальной функции с комитативной и локативной. Выявлены условия взаимозаменяемости основных и периферийных маркеров.

Ключевые слова: семантическая роль, инструмент, инструменталь, комитатив, локативные падежи, финно-угорские языки

G.A. NEKRASOVA. MEANS TO EXPRESS AN INSTRUMENT IN THE FINNO-UGRIC LANGUAGES

The basic means of expression of semantic role of instrument in the Finno-Ugric languages are considered. Their properties, development tendencies are described. The attention is accented on relation of instrument function with comitative and locative ones. Conditions of interchangeability of the basic and peripheral markers are revealed.

Key words: semantic function, instrument, instrumental, comitative, locative cases, the Finno-Ugric languages

В языках с развитой падежной системой, к которым относится большинство финно-угорских языков, семантические роли имеют типовые падежные формы выражения: типовой маркер агенса – номинатив; пациенса – аккузатив; адресата и получателя – датив; коагенса – комитатив; места – инессив, адессив; конечной точки движения – иллатив, аллатив и т.п. Типовым средством выражения инструмента является инструменталь. Однако он представлен далеко не во всех языках, даже имеющих многочисленную категорию падежа, поэтому в морфологическом оформлении этой роли используются языковые единицы, не являющиеся специальными маркерами инструмента.

Каждый из финно-угорских языков имеет несколько средств поверхностного выражения инструмента, среди которых одно выступает в качестве основного как наиболее стандартного. К основным относятся маркеры, при присоединении которых существительное, выражающее неинструментальный предмет, попав в инструментальную позицию, может семантизироваться как инструмент. В большинстве языков таким маркером является падежная единица: 1) *инструменталь* в ливском, перм-

ских и обско-угорских языках* (1); 2) *комитатив* / *социатив* в эстонском, венгерском и саамском языках (2); 3) *адессив* в водском и северной группе прибалтийско-финских языков (3); 4) *инессив* в мордовских языках (4). Послелого, участвующие в выражении инструментальных отношений, единичны, хотя в грамматическом отношении эти служебные единицы наделены таким же значением, что и падежи, и количественно существенно превышают их. Стандартной формой выражения инструмента послелог выступает только в марийском языке (5).

Примеры:

(1) лив. *Livlist vejist lešti liestävörgödöks* 'Ливы ловили камбалу сетями' [2, с. 134]; х. (васюганский говор) *qu pöt'kännä jöytēs* 'Мужчина из ружья выстрелил' [1, с. 11-12]; кз. *уджавны черён* 'работать топором'; удм. *карандашен гожъяны* 'писать карандашом'.

(2) венг. *A fiù ceruzával ír* 'Мальчик пишет карандашом' [3, с. 11]; саам. (кильдинский диалект)

*В падежной системе хантыйских диалектов имеются два инструментальных падежа: инструменталис-комитатив и инструменталис-объектив, каждый из них употребляется в оформлении инструмента [1, с. 11-12].

câg vuajvant čogmen 'Чеши голову гребнем' [4, с. 254]; эст. *kirjutama pliatsiga* 'писать карандашом**'.

(3) кар. *Suamma kalua verkkoloilla* 'Мы ловим рыбу сетями' [5, с. 45]; вепс. *Kivõ jähl'mā* 'Мы мололи на жернове' [6, с. 114]; ф. *ampua kiväärillä* 'стрелять из ружья', *soittaa viululla* 'играть на скрипке', *soittaa puhelimella* 'звонить по телефону', *katsoa kikariilla, mikroskoopilla* 'смотреть в бинокль, в микроскоп'.

(4) мдЭ. *sedяsm баянсо* 'играть на баяне', *ваномс биноклясо* 'смотреть в бинокль', *лавсадемс палкасо* 'ударить палкой', *кортамс телефонсо* 'разговаривать по телефону'.

(5) мр. *товар дене руаш* 'рубить топором', *карандаш дене возаш* 'писать карандашом', *телефон дене кутыраш* 'разговаривать по телефону'.

Представленный материал позволяет сделать вывод, что стандартным средством выражения инструмента в финно-угорских языках являются языковые единицы с центральной инструментальной (инструментальной), комитативной (комитатив, социатив) и локативной (адессив, инессив, послелог *дене*) функцией, что свидетельствует о связи инструментальной функции с комитативной и локативной.

В основе взаимосвязи комитативной и инструментальной функций лежат отношения совместности. Комитативная ситуация предполагает наличие двух участников, совместно выполняющих действие, – агенса и коагенса. В инструментальной ситуации обязательным является участие агенса и инструмента, действие, выраженное глаголом, производят также оба участника: агенс воздействует на инструмент, который в свою очередь оказывает воздействие на пациенс. Выражение комитативных и инструментальных отношений одним показателем находит типологические параллели во многих языках мира. Установлено, что семантическое развитие таких показателей идет «в направлении от комитатива к инструменталису...» [7, с. 29]. Основываясь на это положение, можно констатировать, что в финно-угорских языках средства выражения инструмента находятся на разных этапах своего семантического развития. В части языков комитативная функция на фоне инструментальной является маркированной. В удмуртском языке инструментом могут маркироваться оба участника комитативной ситуации (6), инструменталь мансийского языка реализует комитативную функцию только в контексте с посессивным суффиксом (7). В эстонском языке отмечается факультативное усиление комитативной функции комитатива расширением *koos* 'с', выполняющим роль предлога или послелога (8), что свидетельствует о процессе перехода комитатива в инструменталь и формировании нового средства выражения комитативных отношений. В большинстве коми диалектов инструменталь в комитативной функции практически вытеснен комитативом, он используется только в случае выражения

отношений между двумя участниками, которые изначально различаются по степени своей активности (подробнее см. [8]).

Примеры:

(6) удм. *Мишаен Коляен нюлэскы губияны ветлүзы* 'Миша с Колей ходили в лес за грибами' [9, с. 103].

(7) мс. *ēkwatēntel n'al'anēn sunsuṅkwe minamiy* 'Муж с женой, оказывается, ушли (смотреть) проверять свои слопцы (орудие лова для глухарей)' [10, с. 54].

(8) эст. *Ta läheb sõbraga koos* (~ *koos sõbraga*) *kinno* 'Он идет вместе с другом в кино'.

Связь инструментальной функции с локативной демонстрируют марийский, прибалтийско-финские, мордовские языки, а также западные хантыйские диалекты. Следует также заметить, что к локативу возводятся инструменталь пермских, хантыйского, мансийского языков [11, с. 248-249; 12]. Б.А.Серебренников [13, с. 56-57], рассматривая происхождение инструмента в пермских языках, предполагал возможность развития инструментального значения локатива через комитативное или же ассоциативное. Локативные падежи указывают на место, где происходит процесс или фиксируется состояние, при этом место может восприниматься как средство выполнения действия. В некоторых случаях имеет место ролевой синтез, например, встречается синкретизм роли инструмента и места: в конструкции (9) жернов является устройством, предназначенным для выполнения определенной функции, (инструмент) и объектом, в котором локализована ситуация в целом (место). Что касается интерпретации конструкции, то в коми языковом сознании, с учетом фоновых знаний о мире, ситуация автоматически ассоциируется с использованием инструмента.

(9) кз. *ид изны изкуын* (ln) 'ячень молот ручным жерновом' [14, с. 465].

В финно-угорских языках для некоторых глаголов физического действия характерна вариативность валентности, имеется в виду изменение грамматической формы актантов глагола. Конкуренцию с основным маркером составляют аккузатив, некоторые местные падежи, а также послелоги при условии выполнения ими инструментальной функции. Различие конкурирующих единиц проявляется в обозначении / необозначении конкретного способа использования инструмента. Языковая единица, выступающая в качестве стандартной формы инструмента, указывает только на средство исполнения действия, конкретный способ использования инструмента игнорируется. Эта семантическая особенность маркера коррелирует с его лексической сочетаемостью: таксономический класс участника не ограничен. В качестве инструмента могут выступать орудия, специально созданные предметы, с помощью которых субъект производит действие (топор, невод, микроскоп, лопата и т.д.), более того, инструментом может быть любой предмет (камень, палка и т.д.), в том числе части тела человека (рука, нога и т.д.). Альтернативные маркеры указывают на конкретный способ использования

** Примеры, источник которых не указан, получены непосредственно от носителей.

разных объектов действительности в качестве инструмента. Поэтому их употребление отмечается при глаголах физического действия, семантика которых накладывает определенные ограничения на таксономический класс участника обозначаемой глаголом ситуации.

Вариативность основного маркера и аккузатива наблюдается при глаголах двигательного действия со значением 'кивать', 'шевелить', 'махать' и т.п. Аккузативное оформление инструмента в данном случае обосновывается, скорее всего, тем, что инструмент таксономически ограничен существительными, обозначающими части тела и предметы, находящиеся в них, в связи с чем аккузативный участник может восприниматься как пациент, ибо он не контролирует ситуацию, не влияет на свойства других участников, а сам подвергается каузации со стороны агенса, что соответствует критериям прототипического пациента [15]. Для приведенных глаголов характерно оформление инструмента основным маркером в мордовских, эстонском и вепском языках (10), аккузативом и инструменталем (последний доминирует) в пермских (11), аккузативом в марийском, мансийском и венгерском языках (12).

(10) эст. *käega* (Ком) *viirata* 'взмахнуть рукой'; вепс. *maihtada kädel* (Ades) 'махать рукой', *kilgaita päil* (Ades) 'кивнуть головой'; мдЭ. *аволямс прясо* (In) 'кивать головой', *аволямс кедьсэ* (In) 'махать рукой'.

(11) кз. *Сійö юрнас* (Inst) ~ *юрсö* (Akk) *довкйöдлiс* 'Он качал головой'; удм. *со кыыныз* (Inst) ~ *кызэ* (Akk) *выретiз* 'Он зашевелил рукой'.

мр. *шовычым* (Akk) *рўзаш* 'махать платком'; *вуйым* (Akk) *рўзалташ* 'покачать головой'; *вуйым* (Akk) *савааш* 'кивать головой'; мс. *пунк* (Akk) *хутувъяптантанкве* 'кивать головой', венг. *mozgatni a kezét* (Akk) 'размахивать, шевелить руками'.

Вариативность основного маркера и элатива встречается преимущественно в языках, контактирующих с русским языком. Элативное оформление инструмента отмечается при глаголе 'стрелять' в коми, мансийском, мордовских, водском и вепском языках (13), при глаголах со значением 'кормить', 'пить' и т.п. — в коми, эстонском, финском, вепском и мордовских языках (14). Глаголы различаются таксономическим классом инструмента: при глаголе 'стрелять' это оружие, при других глаголах — посуда.

(13) мс. *Вас писалил* (Inst) *алвес* 'Утка добыта ружьем', *Ты януй писальныл* (El) *алвес* 'Этот лось из ружья убит' [16, с. 104-105]; вод. *kazessa püssüssä* (El) *joo aika eväd ammuttu* 'Из этого ружья давно не стреляли' [17, с. 74]; мдЭ. *леднемс ружиясто* (El) 'стрелять из ружья'; мр. *пычал дене лўяш* 'стрелять из ружья'; ф. *атруа кивääрилä* (Ades) 'стрелять из ружья'; кз. *лыйны ружйöыс* (El) ~ *ружйöөн* (Inst) 'выстрелить из ружья'.

(14) ф. *syöttää lasta pullosta* (El) 'кормить ребенка из бутылки', *juoda teetä kupista* (El) 'пить чай из чашки'; вепс. *lapsid imetadas soksuspei* (El); эст. *last imetatakse lutist* (El), мд. *Эйкаш потявэтыть*

потестэ (El) 'ребенку дают сосать из соски' [18, с. 82-83]; мр. *презым чызаш дене йўктö* 'теленка поить из соски'; кз. *юны чашкабн* [Inst], *стöканöн* (Inst), *бутылкаыс* (El) 'пить из чашки, стакана, бутылки'.

В коми, мордовских и карельском языках инструмент может быть оформлен основным маркером или *иллативом* при глаголах со значением 'вытирать(ся)' (15). Такое оформление инструмента используется в ситуации каузации соприкосновения предметов агенса, инструмент представляется как предмет, локализирующий названное глаголом действие. Следует отметить, что иллативное маркирование инструмента для финно-угорских языков не характерно, даже в тех случаях, когда инструмент явно соотносится с исходной локативной ролью падежа (направленность во внутренние пределы предмета), как, например, в русском языке в случае маркирования винительным падежом с предлогом *в*: *в бинокль*, *в микроскоп*, используется основной маркер (16).

(15) кар. *Püwhin käz'loi paikkah* (Il) 'Вытираю руки платком [в платок]' [19, с. 126]; кз. *чышыны ки кичышкöдö* (Il) ~ *кичышкöдөн* (Inst) 'вытереть руки в полотенце ~ полотенцем'; мдЭ. *нартнямс нардамасо* (In) ~ *нардамас* (Il) 'вытереть руки полотенцем ~ в полотенце'.

(16) кз. *видзöдны микроскопөн* (Inst), ф. *katsoa mikroskoopilla* (Ades), мдЭ. *ваномс микроскопсо* (In) 'смотреть в микроскоп'.

Инессив при глаголах физического воздействия sporadически встречается в окраинных коми диалектах, он уже практически вытеснен инструменталем (9). В аналогичной ситуации находится в некоторых южных прибалтийско-финских языках *адессив*, который при маркировании инструмента уступил место комитативу (17).

(17) эст. (северо-восточный диалект) *kevaDe aGetti nuoDal* (Ades) *käima* 'весной стали выходить на рыбную ловлю неводом' [20, с. 21].

Рассмотренный материал позволяет выявить наиболее существенные особенности кодирования инструмента, характерные для финно-угорских языков. Типовые формы выражения инструментальных отношений имеются в ливском, пермских и обско-угорских языках. Остальные языки для маркирования этой семантической роли выбирают языковые единицы с центральной комитативной или локативной функцией. В каждом из языков основной маркер, независимо от того, является он типовой формой выражения или нет, может использоваться в маркировании инструмента в любой ситуации, что лежит в основе его вариативности с другими языковыми единицами. Инвентарь средств выражения роли подвергался изменениям: отмечается формирование новых периферийных средств (развитие инструментальной функции у иллатива, элатива), ограничение и даже вытеснение более ранних средств выражения (сокращение функционирования в инструментальной функции аккузатива в пермских языках, инессива в коми языке, адессива в части южных прибалтийско-финских языков).

Отмеченные изменения вызваны сочетанием внутренних и внешних факторов языкового развития, в случае включения в маркирование инструментальных отношений элатива решающим стало русское влияние.

Сокращения языков: венг. – венгерский, вепс. – вепсский, вод. – водский, кар. – карельский, кз. – коми-зырянский, лив. – ливский, мс. – мансийский, мр. – марийский, мдЭ. – эрзя-мордовский, саам. – саамский, удм. – удмуртский, ф. – финский, х. – хантыйский, эст. – эстонский.

Глоссы: Ades – адессив, El – элатив, Kom – комитатив, Il – иллатив, In – инессив, Inst – инструменталь, Post – послелог.

Литература

1. *Мылрина Д.Ф.* Категория падежа в диалектах хантыйского языка (сопоставительный аспект): Автореф. дис. канд. филол. наук. Томск: Томский государственный педагогический университет, 2006. 26 с.
2. *Halling T.* Instrumentaali liivin sijajarjestelmassa // MSFOu 228. Helsinki, 1998. S. 127-138.
3. *Майтинская К.Е.* Развитие системы падежей в венгерском языке: Автореф. дис. д-ра филол. наук. М.: Институт языкознания АН СССР, 1950. 24 с.
4. *Керт Г.М.* Саамский язык (кильдинский диалект). Фонетика. Морфология. Синтаксис. Л.: Наука, 1971. 356 с.
5. *Зайков П.М.* Грамматика карельского языка (фонетика и морфология). Петрозаводск: Периодика, 1999. 120 с.
6. *Зайцева Н.Г.* Именное словоизменение в вепсском языке (История и функционирование форм слова). Петрозаводск: Карелия, 1981. 218 с.
7. *Архипов А.В.* Типология комитативных конструкций: Дис. канд. филол. наук. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, Филологический факультет, 2005. 191 с.
8. *Некрасова Г.А.* Инструменталь (творительный падеж) в пермских языках. Сыктывкар, 1997. 40с. (Сер. сообщ. “Научные доклады” / Коми НЦ УрО РАН; вып. 388.
9. *Грамматика современного удмуртского языка.* Фонетика и морфология/Отв. ред. П.Н. Перевощиков. Ижевск: Удмуртское книжное издательство, 1962. 376 с.
10. *Ромбандеева Е.И.* Мансийский (вогульский) язык. М.: Наука, 1973. 207 с.
11. *Основы финно-угорского языкознания.* Вопросы происхождения и развития финно-угорских языков / Ред. кол.: В.И. Лыткин, К.Е. Майтинская, К. Редеи, Я. Гуя, А.П. Фектистов, Г.И.Ермушкин. М.: Наука, 1974. 484 с.
12. *Секей Габор Б.* Об анализе некоторых обско-угорских падежных синтагм, определяющих пространственные отношения // *Linguistica Uralica*. Таллинн, 1996. №3. С. 171-185.
13. *Серебренников Б.А.* Историческая морфология пермских языков. М.: Наука, 1963. 391 с.
14. *Сравнительный словарь* коми-зырянских диалектов/ Под ред. В.А. Сорвачевой. Сыктывкар: Коми книжное издательство, 1961. 490 с.
15. *Dowty D.* Thematic proto-roles and argument selection // *Language* 67, 3. 1991. P. 547-619.
16. *Лыскова Н.А.* Семантика падежа в обско-угорских языках. СПб.: Изд-во С-Петербургского ун-та, 2003. 248 с.
17. *Агранат Т.Б.* Западный диалект водского языка. М., Гронинген, 2007. 196 с.
18. *Данилов В.* Элатив и его функции в мордовских и прибалтийско-финских языках// *Fenn-Ugristica* 1. Труды по финно-угроведению. Ученые записки Тартуского гос. ун-та. Вып. 344. Тарту, 1975. С. 72-88.
19. *Пальмеос П.* Иллатив в дёржанском говоре карельского языка // Вопросы финно-угорской филологии. Вып. 3. Л.: Изд-во ЛГУ, 1977. С. 124-137.
20. *Паюсалу Э.* Внешнеместные падежи в прибалтийско-финских языках (функции падежей): Автореф. дис. канд. филол. наук / Академия наук Эстонской ССР, Институт языка и литературы. Таллин, 1958. 40 с.

Статья поступила в редакцию 08.08.2011.

УДК 061.12:001(09)(470.13+470.5)

РОЛЬ КОМИ ФИЛИАЛА АН СССР В ОРГАНИЗАЦИИ УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ (ПРЕДПОСЫЛКИ УЧАСТИЯ И ЗНАЧЕНИЕ ОБЪЕДИНЕНИЯ)

А.В. САМАРИН

*«Отдел Научный архив и энциклопедия» Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
samarin@presidium.komisc.ru*

История создания Уральского отделения дана через призму интересов ученых Коми научного центра УрО РАН. Рассказано о приоритетных задачах, способствовавших объединению Свердловска и Сыктывкара. Показаны трудности и противоречия, которые пришлось преодолеть в процессе организации регионального отделения. Названы положительные и отрицательные результаты этого объединения.

Ключевые слова: Академия наук, Коми научный центр, создание Уральского отделения, реорганизация науки

A.V. SAMARIN. ROLE OF THE KOMI BRANCH OF THE USSR ACADEMY OF SCIENCES IN THE ORGANIZATION OF THE URAL BRANCH OF THE ACADEMY OF SCIENCES (PRECONDITIONS FOR PARTICIPATION AND THE IMPORTANCE OF MERGING)

The history of organization of the Ural Branch, RAS, is described through the prism of interests of scientists of the Komi Science Centre. The priority problems promoting merging of Sverdlovsk and Syktyvkar with all those difficulties and contradictions that had to be overcome in the course of the organization of the regional Branch are shown. Positive and negative results of this merging are given.

Key words: Academy of Sciences, Komi Science Centre, organization of the Ural Branch, reorganization of science

Уральское отделение Российской академии наук – сложный комплексный организм, занимающийся решением фундаментальных, исследовательских и прикладных проблем в различных научных направлениях. Создать подобную структуру – нетривиальная задача, которая была реализована благодаря совокупности внешних и внутренних факторов. В процессе организации отделения приняло участие много заинтересованных сторон. Во главе стояли выдающиеся, знаковые для своего времени личности. В данной статье сделана попытка показать историю создания Уральского отделения через призму интересов Коми научного центра, которые имели определенную специфику, благодаря чему весь процесс предстает в новом свете.

О создании Уральского отделения АН СССР сказано много. К юбилейным датам приурочены статьи и выступления, в которых рассказывается об основных итогах научной и научно-организационной деятельности. В интервью и воспоминаниях непосредственных участников тех событий прослеживаются ключевые моменты создания Уральского отделения. Однако подобные источники страдают необъективностью. За прошедшие годы сгладилась острота разногласий, были забыты альтернативные пути развития научных учреждений, некоторые идеи остались невоплощенными. В результате соз-

дание Уральского отделения в том виде, в каком оно существует сегодня, представляется как объективная необходимость и единственно возможное решение. Однако, если мы обратимся к архивным документам, то перед нами предстанет сложный процесс создания новой академической структуры.

Источниковой базой данного сообщения стали документы, хранящиеся в Архиве Уральского отделения РАН, Научном архиве Коми научного центра УрО РАН. Прежде всего, это стенограммы встреч Председателя Уральского отделения акад. Г.А.Месяца с коллективом Коми филиала, а позднее Коми научного центра, протоколы заседаний Президиума Уральского отделения, Коми филиала АН СССР, постановления и распоряжения директивных органов.

Сегодня в литературе основной причиной создания Уральского отделения называется развитие производительных сил Уральского региона, которые потребовали решения вновь возникших проблем, связанных с техническим перевооружением промышленности, разработкой новых источников сырья, поиском путей улучшения экологической ситуации, комплексным решением региональных задач [1, с. 304–305]. Однако исторические источники могут значительно расширить и уточнить список причин. В 1986 г. Уральский научный центр воз-

главил акад. Г.А.Месяц, сменивший на этом посту акад. С.В. Вонсовского. Новый руководитель обратил внимание на то, что академическая наука на Урале замедлила темпы развития. В сравнении с Сибирским отделением при близких размерах регионов, численности населения и объемах экономики Урал в научном плане уступал во всем: объемах финансирования, капитального строительства, количестве академиков и членов-корреспондентов. Г.А.Месяц видел причину этой непропорциональности в том, что Сибирское отделение финансировалось от Совета Министров РСФСР, все хозяйственные, организационные вопросы решались на месте, а не в Москве, которая только давала рекомендации. И наконец, отделение имело собственные вакансии на избрание академиков и членов-корреспондентов. Существовавшая диспропорция говорила не в пользу Уральского научного центра, поэтому в сложившихся условиях (середина 1980-х гг. прошла под лозунгом «Перестройка и ускорение», где особое место уделялось науке, а следовательно, у создателей отделения появилось пространство для «маневра») было принято решение попытаться создать Уральское отделение Академии наук [2].

Г.А.Месяц в одном из интервью вспоминал: «Создавать отделение на базе одного Уральского научного центра в пределах Свердловской области не имело смысла – не так уж много здесь было академических институтов. Логично было объединиться с филиалами АН СССР в Коми АССР и Башкирской АССР». Руководители трех академических учреждений изложили Президенту АН СССР акад. А.П. Александрову основания для создания Отделения Академии наук СССР на Урале и просили последнего выйти с предложением в ЦК КПСС. 5 – 6 февраля 1987 г. в Свердловске состоялось выездное заседание Президиума Академии наук СССР, на котором участвовали партийные, советские и хозяйственные работники Урала и Коми АССР, ученые Уральского научного центра и Коми филиала АН СССР, представители союзных и российских министерств. Собрание и проекты документов были тщательно проработаны и согласованы. Главные организаторы – Г.А.Месяц, М.П.Рощевский и Г.А.Толстик – опубликовали программные статьи и интервью. С докладами на заседании выступили президент Академии наук СССР Г.И.Марчук и Г.А.Месяц [3]. По результатам заседания было принято принципиальное решение о создании Уральского отделения. Летом 1987 г. состоялось заседание Секретариата ЦК КПСС, который принял положительное решение, а 26 сентября 1987 г. вышло Постановление Совета Министров СССР и ЦК КПСС о создании УрО АН СССР [4]. Так кратко выглядит основная канва событий.

Однако участие Коми филиала АН СССР имело свою специфику. В середине 1980-х гг. Коми филиал АН СССР насчитывал три института: геологии, организован в 1958 г., биологии – 1962 г., языка, литературы и истории – 1970 г. Общая численность работавших составляла около 450 человек, в том числе около 10 докторов и 150 кандидатов наук. С начала 1980-х гг. наметилась тенденция к сни-

жению темпов развития филиала. В повышении квалифицированных кадров наблюдалась стагнация. Количество кандидатов наук росло медленно, число докторов наук практически не менялось [5, с.116]. Академиков и членов-корреспондентов не было вовсе. Объемы капитального строительства замедлились. За период с 1981 по 1985 гг. были завершены начатые в предыдущий период здания Института геологии и Общеземелье на 220 мест [6, с. 155 – 156]. Последний институт был организован 15 лет назад. На протяжении многих лет на повестке стояли вопросы об организации институтов экономики, химии, леса, в последние годы список расширился за счет идеи создания институтов физиологии и тундры. Первостепенные причины, мешавшие организации институтов, были уже названы выше – медленный рост квалификации кадров и отсутствие производственных помещений. Однако, как показало развитие событий последующих лет, эти условия могли быть выполнены «задним числом» при условии, что появится принципиальное «политическое» решение о создании того или иного института. Именно такого «политического» решения от Совета Министров СССР и Президиума Академии наук Коми филиал получить не мог. Например, Коми АССР была заинтересована в организации Института экономики. Соответствующие письма первые лица региона направляли в Москву регулярно с 1968 г., но вот что позднее объяснил председателю Президиума Коми филиала АН СССР М.П.Рощевскому один из заместителей председателя совета по координации Академии наук: «Многие регионы страны хотели бы иметь Институты экономики АН СССР, что вряд ли целесообразно. На положительное же решение выйти можно лишь в том случае, если этот Институт в Коми возложит на себя функции общесоюзного института по конкретной экономической тематике. Либо кит, либо ничего» [7]. Вероятно, подобная логика действовала и в отношении других институтов, но доказать способность разрабатывать научные проблемы общесоюзного значения ученые Коми филиала могли только в рамках института.

Необходимо учесть, что с середины 1980-х гг. в СССР начали проявляться первые признаки кризисных явлений в экономике. Существовавшая командная система с каждым годом усиливала разбалансированность отраслей экономики. Низкая организация труда и сырьевая направленность экономики делала ее невосприимчивой к инновациям, достижения науки и техники внедрялись очень медленно, как результат – падение темпов экономического развития. Провал продовольственной программы сделал СССР крупнейшим импортером продовольственной продукции, вдобавок экономика страны болезненно отреагировала на падение мировых цен на нефть. В сложившихся условиях государство вынуждено было думать не столько о развитии, сколько о сохранении уже имеющегося. И хотя на жителях страны кризисные явления еще не сказались, но учреждения, в том числе и Коми филиал АН СССР, ощутили, что для продолжения развития необходимо искать неординарные меры. Для

Коми филиала таким неожиданным решением стало участие в организации Уральского отделения.

В советское время для любого начинания требовалась поддержка обкома партии. Председатель Президиума Коми филиала АН СССР М.П.Рощевский обратился к первому секретарю Коми обкома КПСС И.П.Морозову, который всегда с большим вниманием относился к проблемам науки в регионе. И.П.Морозов не поддержал идею вхождения Коми филиала в Уральское отделение. Опираясь на свой богатый опыт руководства регионом, он считал, что при любых обстоятельствах прямое подчинение Москве будет, в конечном счете, лучше. На одной из встреч с коллективом Коми филиала И.П.Морозов заявил: «Мы связаны со столицей нашей Родины – Москвой, по ряду проблем – с Ленинградом. А вот какова позиция ученых Свердловска: они считают территорию Коми АССР сырьевым придатком Уральского экономического района. Поэтому я категорически против вхождения Коми филиала в состав нового Уральского отделения АН СССР» [8, С. 197].

Руководству Коми филиала удалось обойти непримиримую позицию первого секретаря обкома. Во многом благодаря настойчивой позиции второго секретаря обкома Ю.А.Спиридонова Коми обком все же дал согласие на вхождение Коми филиала в Уральское отделение, но была сделана одна оговорка «...при этом необходимо сохранить подчинение Коми филиала Академии наук СССР непосредственно Президиуму Академии наук СССР, учитывая принадлежность Коми АССР к северному экономическому району. Участие Коми филиала Академии наук СССР в Уральском отделении Академии наук СССР в осуществлении разработок и выполнении совместных научных программ по проблемам Урала и Тимано-Печорского ТПК, использовании результатов научных разработок в народном хозяйстве, работе объединенных научных советов, представительстве в Президиуме отделения, избрании в члены Академии наук ученых Коми АССР на вакансии Уральского отделения Академии наук СССР с последующим членством в этом отделении» [9]. В 1987 г. И.П.Морозов оставил пост первого секретаря Коми обкома. На эту должность был назначен В.И.Мельников, который поддержал идею создания Уральского отделения, обосновав свое отношение следующим образом: «Одной из причин, почему обком КПСС и правительство республики согласилось с тем, чтобы мы вошли в состав Уральского отделения, является то, что все вопросы должны решаться комплексно. В течение 44-х лет в Коми медленно строились производственные здания. В современных условиях вместе с развитием производственной базы возможно решение вопросов социального развития» [10].

Мы не располагаем архивными документами о том, каким образом обком Башкирской АССР дал согласие на включение Башкирского филиала АН СССР в Уральское отделение, однако дальнейшие события показали, что в республике было много противников идеи объединения. Начиная с 1990 г. Республика Башкортостан приступила к созданию

национальной академии наук и на протяжении трех лет предпринимались попытки передать институты Башкирского научного центра УрО РАН в состав Башкирской академии наук. Оставляя в стороне политические и национальные аспекты, отметим, что одной из предпосылок создания своей академии наук в Уфе было то, что до 1987 г. Башкирский научный центр был республиканским (подчинялся Москве и координировал свои действия с властями республики), а затем перешел в подчинение к Уралу [11]. Другими словами, на местах вопрос о необходимости вхождения в Уральское отделение не был столь очевидным, как это могло показаться из Свердловска.

29 января 1987 г. в Коми филиале АН СССР состоялось заседание Президиума, на котором обсуждались вопросы, связанные с вхождением в Уральское отделение АН СССР. Заседание было инициировано вторым секретарем Коми обкома КПСС Ю.А.Спиридоновым, который счел необходимым заслушать мнение членов Президиума. Поскольку Коми обком уже высказался в поддержку организации отделения, многие участники заседания считали вопрос решенным без их участия. Тем не менее, члены Президиума воспользовались возможностью выразить свое отношение к вхождению в Уральское отделение.

Мнения участников заседания разделились. Старшее поколение – ученые, которые работали в филиале с момента его создания и долгое время им руководили (В.П.Подоплелов, И.В. Забоева, М.В.Фишман) – выступали против вхождения в Уральское отделение. Они отмечали, что привязка Коми к Уралу искусственная. Страна делится по экономическим регионам и Коми относится к Северному экономическому региону (в вопросах создания Тимано-Печорского ТПК), а не к Уральскому. Указывалось, что Коми филиал больше тяготеет к Кольскому и Карельскому филиалам. Ветераны Президиума утверждали, что основатели Уральского отделения обещают Коми филиалу увеличение финансирования и открытие новых институтов. Но у Коми филиала по многим направлениям нет заделов, нет людей. Ученые не верили, что Свердловск, получив свое, выполнит эти обещания. Имея мощный научный потенциал (академики и члены-корреспонденты), Свердловск может подчинить себе Сыктывкар, переориентировав его научные темы, «прижать к ногтю». Для организации отделения Уральскому научному центру не хватало критической массы – в результате Коми филиал оказался участником процесса объединения, хотя был включен искусственно [12 Л. 32].

Председатель Президиума Коми филиала М.П.Рощевский, его заместитель по научно-организационной деятельности Г.В.Канев, директор Института геологии Н.П.Юшкин исходили из других позиций. Они утверждали, что Президентом АН СССР Г.И.Марчуком задан новый курс на развитие региональных научных центров. Ленинградский центр активно прорабатывает вопрос создания Ленинградского отделения с вхождением Карельского и Кольского филиалов. Они оспорили тезис об ис-

кусственном притягивании Коми филиала к Уральской проблематике, доказывая, что со Свердловском налажены давние плодотворные связи, прежде всего по проблеме исследования Урала. Связь с Уралом необходимо рассматривать с точки зрения возможных перспектив. Вхождение в УрО АН СССР, по их мнению, даст стимул в развитии экономики республики. Вхождение в Уральское отделение позволит увеличить численность уже существующих институтов, перевести их в разряд крупных академических центров с количеством работающих сотрудников в 300-500 чел. Руководители филиала утверждали, что создание Коми научного центра позволит выйти на новый уровень развития филиала, что обеспечит решение многих вопросов. Они признавали, что обещания, сделанные Г.А.Месяцем о двух- и трехкратных увеличениях вложений в Коми филиал не реальны, но увеличение все-таки будет. Особенно если учесть, что в последние годы развитие учреждения остановилось [12 Л.32].

Среди выступавших были и те, кто занял нейтральную позицию по вопросу о вхождении в Уральское отделение. Председатель парткома А.Ф.Сметанин, директор Института языка, литературы и истории А.Д.Напалков, председатель местного В.С.Цыганко нашли как положительные, так и отрицательные стороны вхождения в Уральское отделение.

В заключительном слове второй секретарь Коми обкома КПСС Ю.А.Спиридонов отметил, что «...позиция АН СССР и Секретариата ЦК КПСС – укрупнение научных региональных структур. Сегодня вне структур быть нельзя. Все капиталовложения пойдут через региональные Отделения» [12 Л. 32]. После обсуждения Президиум Коми филиала АН СССР принял постановление, которое, с одной стороны, отразило имевшиеся противоречия внутри филиала по поводу вхождения в Уральское отделение, а с другой стороны, продемонстрировало надежды на решение важнейших вопросов развития учреждения. Президиум Коми филиала АН СССР принял решение о целесообразности образования на базе Коми филиала АН СССР Коми научного центра Уральского отделения Академии наук СССР. Вместе с тем ходатайствовал об организации в Коми научном центре Института экономических и социальных проблем европейского Северо-Востока, Института лесобиологических проблем Севера, Института экологической физиологии и биохимии и Института химии. Кроме этого, постановление содержало просьбу одобрить рост общей численности Коми научного центра до 2000 чел. со среднегодовым приростом финансирования на научно-исследовательские работы не менее 15%; предусмотреть в XII-XIII пятилетках ежегодное выделение целевым назначением валютных ассигнований для приобретения уникального оборудования производства капиталистических стран в размере 0,5 млн. инвалютных руб.; предусмотреть выделение фондов и финансовых средств, в том числе и инвалютных, для обеспечения современной вычислительной техникой в XII-XIII пятилетках [12].

Краткая хронология последующих событий выглядит следующим образом: 1988 г. – преобразование Коми и Башкирского филиалов АН СССР в научные центры, а также создание Пермского научного центра. В 1991 г. были созданы Челябинский и Удмуртский научные центры, а в 1992 г. Башкирский центр вышел из состава Уральского отделения.

Сразу после создания отделения было открыто девять новых академических институтов. В Свердловске созданы Институт археологии и истории, Институт философии и права, Институт леса; в Сыктывкаре – Институт физиологии и Институт экономических и социальных проблем Севера; в г. Миассе – Институт минералогии; в Перми – Горный институт и Институт генетики микроорганизмов; в Уфе – Институт математики. Несколько позднее, но также при активной помощи Уральского отделения в Сыктывкаре был организован Институт химии.

Важным достижением создания Уральского отделения стали выборы в Академии наук. Уральское отделение так же, как Сибирское получило квоты на выборы членов-корреспондентов и академиков. В результате удалось выбрать беспрецедентное количество членов Академии. Число академиков увеличилось вдвое с пяти до 10 человек, членов-корреспондентов с 13 до 29. При этом новые члены Академии работали не только в Свердловске, но и в других регионах Уральского отделения [13].

В первые годы после вхождения Коми научного центра в Уральское отделение продолжились споры о правильности сделанного выбора. В 1989-1990 гг. Уральское отделение значительно сократило финансирование строительства в Коми АССР*. На внутренних заседаниях в Коми научном центре неоднократно инициировался вопрос о выходе из Уральского отделения [14]. Как отмечали на профсоюзных конференциях сотрудники Института биологии, смена статуса привела к «ухудшению условий работы». Действительно, после создания Уральского отделения «старые» институты почувствовали ухудшение материального положения, к тому же на периферии всегда бытовало мнение, что Екатеринбург всегда берет себе львиную долю поступлений, а институтам, которые ближе к Президиуму Уральского отделения, всегда проще добиться средств для покупки нового оборудования, других привилегий. В реальности ситуация была следующей: Президиум Уральского отделения принял решение пересмотреть экономические нормативы. На 0,5% уменьшить норматив тем институтам, которые уже имеют мощный потенциал, для того, чтобы поддержать все вновь созданные институты [15].

Как упоминалось выше, при организации Уральского отделения входившие в него филиалы АН СССР были преобразованы в научные центры.

* Аргументация была следующая: в первую очередь необходимо довести до конца уже строящиеся объекты, кроме того, кулуарно ученым из Сыктывкара говорили, что в Коми научном центре в сравнении со всем Уральским отделением наилучшая обстановка как с производственными помещениями в пересчете на одного сотрудника, так и со строительством жилья.

Входившие в него институты обрели статус юридических лиц и самостоятельный баланс, а также свободу распоряжаться финансовыми потоками, подбором кадров, выбором научных тем. За Президиумом остались контроль и координация работы институтов. В начале 1990-х гг. полученная институтами свобода сыграла им на руку. В период кризиса каждый институт искал свой путь латания финансовых дыр. Немаловажную роль сыграло и то, что при создании Уральского отделения его финансирование отдельной строкой было прописано в бюджете РСФСР, на тех же правах, что и Сибирское отделение. Эта практика сохранилась в последующие годы, при создании Российской академии наук. В результате, даже в самые тяжелые годы экономического кризиса научные центры, входившие в отделение, финансировались лучше, чем те, что подчинялись напрямую Президиуму РАН. Более того, иногда Уральское отделение финансировалось оперативнее других региональных отделений и даже Москвы, поскольку для его финансирования требовались меньшие суммы в сравнении с Сибирским отделением или всеми учреждениями, записанными за Москвой. Следовательно, Министерство финансов РФ предпочитало полностью рассчитаться с Уральским отделением, чем делить деньги между Москвой и Сибирским отделением, для которых подобные суммы были «каплей в море» [16]. Такая же ситуация была характерна и для периода неплатежей, когда Сибирское отделение получало 60% от запрошенной суммы, а Уральское 80%, только потому, что объемы запрашиваемого финансирования были значительно меньше.

Сегодня не корректно сравнивать первоначальные цели, задачи и планы развития, которые ставили перед собой создатели Уральского отделения с достигнутыми результатами. Создание Уральского отделения совпало с началом кардинальных изменений в общественно-политической жизни страны. В результате масштабного экономического кризиса процесс становления и развития Уральского отделения замедлился и значительно трансформировался. Новые условия ставили другие цели и задачи, требовали от ученых бороться за выживание науки. В итоге не произошло обещанного резкого качественного скачка в развитии академических институтов, вошедших в Уральское отделение, это вызывало недовольство в коллективах, особенно в первое время. Вместе с тем сравнение темпов развития научных центров, вошедших в Уральское отделение, с теми, что остались в подчинении у Москвы, демонстрирует, что в 1990-е гг. наука в региональных отделениях финансировалась лучше, а последствия экономической нестабильности были менее ощутимыми.

Важно отметить, что некоторые конкретные цели, провозглашенные при создании Уральского отделения, все же были достигнуты. Прежде всего, создание Уральского отделения способствовало комплексному решению многих проблем Уральского региона в производственной, сырьевой социально-экономической сферах. Был выполнен ряд крупных региональных программ, прежде всего «Урал».

Коми научный центр смог решить многие наболевшие вопросы. Как уже отмечалось, созданы Институт социально-экономических проблем Севера, о необходимости которого говорилось еще с конца 1960-х гг., а также Институт физиологии и Институт химии. В 1990-е гг. – в самый трудный период экономических реформ – было возведено здание Института физиологии, а в 2000-е гг. – жилой дом для молодых ученых. Произошел прорыв в решении кадровых вопросов. После создания УрО прошла волна выборов членов-корреспондентов и академиков из региональных центров. Президиум Уральского отделения очень внимательно следил за тем, чтобы члены Российской академии наук были достойно представлены во всех научных центрах, входящих в отделение. К сожалению, в последние годы эта практика осталась в прошлом.

Вопреки устоявшейся точке зрения процесс организации Уральского отделения не был прост и однозначен. Организаторам Уральского отделения Г.А.Месяцу, Г.А.Толстикovu и М.П.Рощевскому пришлось преодолеть ряд противоречий не только извне, но и внутри научных учреждений, внутри своих регионов.

Литература

1. *Академическая наука Урала: Очерки истории* / Гл. ред. В.В.Алексеев. Екатеринбург; Санкт-Петербург: Изд-во «Людовик», 2007. 480 с.
2. *Научный архив* Коми научного центра УрО РАН Ф. 1. Оп. 20. Д. 363.Л. 42-53.
3. *Месяц Г.А.* Наука Урала: новые рубежи // Советская Россия. 1987. 7 февраля. С. 3.
4. *Понизовкина Е.* Время Месяца // Наука Урала. 2007. № 14. 15 июня. С. 3.
5. *Самарин А.В.* История Коми научного центра Уральского отделения АН СССР: становление и развитие (1944-1991 гг.). Сыктывкар, 2006. 236 с.
6. *Коми научному центру* Уральского отделения Российской академии наук – 50 лет / Отв. ред. Н.И.Тимонин. Сыктывкар, 1994. 158 с.
7. *Рощевский М.П.* Власть и политика // Морозов Иван Павлович в воспоминаниях и документах. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1999. 255 с.
8. *Калинин Е.П.* Воспоминания о И.П. Морозове // Морозов Иван Павлович в воспоминаниях и документах. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1999. 255 с.
9. *НА Коми НЦ УрО РАН* Ф. 1. Оп. 20. Д. 197. Л. 125-127.
10. *НА Коми НЦ УрО РАН*. Ф.1. Оп. 20. Д. 371. Л.18.
11. *Архив Уральского отделения РАН*. Ф.20. Оп.1. Д.63. Л.41.
12. *НА Коми НЦ УрО РАН*. Ф. 1. Оп. 20. Д. 328. Л. 9-32.
13. *НА Коми НЦ УрО РАН*. Ф. 1. Оп. 20. Д. 363. Л. 45.
14. *НА Коми НЦ УрО РАН*. Ф. 8. Оп. 1. Д. 8. Л. 65.
15. *Архив УрО РАН*. Ф.20. Оп.1. Д.22. Л.51-52.
16. *Архив УрО РАН*. Ф.20. Оп.1. Д.75. Л.137.

Статья поступила в редакцию: 22. 09. 2011.

ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 658.14+658.15

ЛЕСНОЙ СЕКТОР РЕСПУБЛИКИ КОМИ: УПРАВЛЕНИЕ ФИНАНСОВЫМИ РЕСУРСАМИ И ВОЗМОЖНОСТИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

М.М. СТЫРОВ*, В.С. ПАНФИЛОВ**

**Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера
Коми НЦ УрО РАН, г.Сыктывкар*

***Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, г.Москва
styrov@iespn.komisc.ru; panf@ecfor.ru*

В статье рассматриваются особенности управления финансовыми ресурсами предприятий лесного сектора Республики Коми в условиях кризиса в аспекте влияния на уровень рентабельности и устойчивость хозяйственной деятельности. Анализ производится с использованием кластерно-отраслевого подхода. Выявлены основные проблемы финансовой деятельности предприятий. Обозначены меры по обеспечению устойчивого развития лесного сектора региона.

Ключевые слова: Республика Коми, лесной сектор, промышленные предприятия, кластер, финансовые ресурсы, управление, финансовая устойчивость, ликвидность, оборачиваемость активов, рентабельность, динамика производства

M.M. STYROV, V.S. PANFILOV. WOOD INDUSTRY OF THE KOMI REPUBLIC: FINANCIAL RESOURCES MANAGEMENT AND FACILITIES OF STEADY GROWTH

Specificity of financial resources management of the Komi Republic wood industry in time of financial crisis in connection with their impact on profitability and stability of economic activity is analyzed. The analysis is carried out by cluster-brunch method. Main weak points of financial activities are revealed. Measures for the sustainable development of regional wood industry are formulated.

Key words: Komi Republic, wood industry, industrial enterprises, cluster, financial resources, management, financial soundness, liquidity, solvency, assets' turnover, profitability, industrial dynamics

Финансы – важнейший элемент системы управления предприятием, без которого невозможно осуществление никакой хозяйственной деятельности. Финансовые отношения пронизывают весь воспроизводственный процесс, обслуживают расчеты с поставщиками и кредиторами, формируют накопления и резервы, создают стимулы к трудовой и предпринимательской деятельности.

Одной из характерных тенденций современного этапа развития мировой экономики является возрастающий отрыв финансовых потоков от реального производства. Это проявляется в глобализации и централизации финансового капитала, опережающем развитии фондового рынка, больших валютных и товарных спекуляциях [1].

Кризис 2008 г. – по преимуществу финансовый. Именно перебои в кредитной системе инициировали распад хозяйственных связей, нарушение сложившихся цепочек производства и потребления, разду-

вание инвестиционных и спекулятивных пузырей – нефтяного, строительного, автомобильного.

Степень интеграции российских предприятий в мировую экономику достигла весьма высокого уровня. Если раньше отношения с внешним миром касались в основном товарного экспорта и импорта, то сейчас особенно заметной стала зависимость в финансовой сфере. По авторской оценке, не менее половины финансовых ресурсов промышленности северных регионов – иностранного происхождения. Поэтому вполне закономерно, что пертурбации на мировых финансовых рынках быстро и очень чувствительно отразились на функционировании предприятий реального сектора России.

Одной из наиболее пострадавших во время кризиса сфер отечественной экономики оказался лесной сектор северных регионов – лесозаготовка, деревообработка и целлюлозно-бумажное производство. В Республике Коми (РК) лесная промыш-

ленность является второй по значимости после топливно-энергетической. На нее приходится около 12% сальдированной прибыли, 10 – инвестиций в основной капитал, 9 – занятых в экономике, 7% валовой добавленной стоимости в регионе [2]. Особенно высока социальная значимость лесного сектора, так как он обеспечивает большую долю рабочих мест и доходов населения почти половины сельских районов республики.

Уже в первые месяцы разворачивания кризиса обнаружились серьезные проблемы в функционировании лесопромышленных предприятий РК: перебои в производственном процессе, убытки, задержки заработной платы, неплатежи по налогам и кредитам. Резко сократилось производство продукции: древесноволокнистых плит – на 40%, фанеры и древесностружечных плит – на 30, пиломатериалов – на 20%, по некоторым из видов оно не восстановилось до сих пор. Численность занятых за два года снизилась на 9% (2,2 тыс. чел.). Почти на 1,5 млрд. руб. сократились поступления в бюджетную систему. Приостановлена реализация большинства инвестиционных проектов [3 – 5].

Однако при сходных внешних условиях динамика хозяйственной деятельности у различных предприятий была неодинакова. Некоторые хозяйствующие субъекты нарастили объем выпуска и показатели рентабельности, успешно реализовали начатые инвестиционные программы, сохранили и укрепили производственный и кадровый потенциал.

С самого начала кризиса было очевидно, что именно качество управления финансовыми ресурсами самих предприятий является решающим фактором их выживания в неблагоприятных условиях. Внешние же обстоятельства хозяйственной деятельности стали проверкой на прочность, выявляя накопившиеся внутренние противоречия и разрушая нежизнеспособные экономические структуры.

Поэтому исследование особенностей функционирования финансовых ресурсов предприятий может дать ключ к пониманию результатов их деятельности в условиях кризиса и поиску возможностей устойчивого развития.

Содержание и показатели управления финансами предприятия

Финансовые ресурсы предприятия – это денежные средства, сформированные из собственных и привлеченных источников и вложенные во внеоборотные и оборотные активы для осуществления производственной деятельности и получения прибыли. В круговороте финансовых ресурсов выделяются три фазы – формирование, оборот и использование. Процессы, реализующие указанные фазы, и составляют содержание управления финансовыми ресурсами.

Формирование финансовых ресурсов нацелено на обеспечение предприятия необходимым объемом денежных средств для выполнения производственно-сбытовой программы, а также минимизацию стоимости и оптимизацию структуры источников для поддержания финансовой устойчивости. Использование финансовых средств направ-

лено на рациональное их размещение в целях увеличения выпуска продукции и уровня прибыльности. Задачей управления денежным оборотом является такое регулирование трансформации финансовых ресурсов из товарной формы в денежную и обратно, чтобы для исполнения финансовых обязательств денежные средства были в наличии в нужный момент времени.

Критериями эффективности управления финансовыми ресурсами в рамках их формирования, оборота и использования являются, соответственно, уровни финансовой устойчивости, платежеспособности и деловой активности [6].

Финансовая устойчивость – это степень независимости предприятия от использования заемных средств, которая определяется долей собственных финансовых ресурсов в общей сумме капитала предприятия. Минимально допустимым значением является 50% [7]. Платежеспособность – способность своевременно исполнять финансовые обязательства, характеризуемая отношением быстро реализуемых активов к величине краткосрочных обязательств (коэффициент срочной ликвидности), которое должно быть не ниже единицы [8]. Деловая активность – интенсивность использования капитала предприятия, измеряемая оборачиваемостью активов, т.е. отношением годовой выручки к их объему. Этот показатель сильно разнится по отраслям и поэтому не имеет общепринятой нормы.

Перечисленные индикаторы комплексно характеризуют эффективность управления финансовыми ресурсами предприятия и являются факторными по отношению к конечным результатам его деятельности – рентабельности активов, характеризующей общую эффективность производства, и темпу роста выручки от реализации, отражающему динамику развития организации [9].

Помимо стратегии управления финансовыми ресурсами на итоговое значение целевых показателей влияет, безусловно, множество других факторов: конъюнктура, технология, маркетинг и др. Однако при анализе достаточно больших совокупностей предприятий возможно выявить влияние именно финансовой политики. Корреляционный анализ подтверждает наличие статистически значимой зависимости целевых показателей – рентабельности активов и темпа роста выручки – от параметров управления финансовыми ресурсами [9].

Оценка эффективности управления финансовыми ресурсами лесного сектора региона на основе кластерно-отраслевого подхода

Эмпирическое сопоставление факторных и целевых показателей позволяет утверждать, что примерно в шести случаях из десяти по показателям эффективности управления финансовыми ресурсами можно объяснить и предвидеть эффективность функционирования и динамику развития предприятий [9].

Поиск адекватных способов оценки эффективности управления финансовыми ресурсами предприятий привел к целесообразности приме-

ния кластерно-отраслевого подхода. Он включает два основных этапа: классификационный и аналитический. Классификация предприятий проводится по вышерассмотренным показателям с помощью многомерного иерархического анализа и позволяет выделить кластеры – группы предприятий, близких по финансовым характеристикам. Результаты кластеризации являются стартовыми для детального анализа и оценки влияния эффективности управления финансовыми ресурсами на эффективность деятельности и динамику развития предприятий в отдельных отраслях лесопромышленного сектора.

Аналитический этап состоит в исследовании кластерной структуры по выявленным типам предприятий как фактора развития отраслевых сегментов лесного сектора, т.е. рассмотрении показателей развития отрасли как результата влияния деятельности предприятий различных кластеров с учетом их удельного веса в отрасли. Это открывает дорогу к пониманию закономерностей финансово-экономических отношений и поиску возможностей устранения возникающих в них диспропорций [10].

Информационной базой исследования послужили данные финансовой отчетности 89 предприятий лесного сектора РК за 2007–2010 гг. С использованием многомерного иерархического анализа общая совокупность предприятий была разделена на три кластера, с четко различающимися характеристиками управления финансовыми ресурсами.

В высокоэффективном кластере находятся предприятия, показатели управления финансовыми ресурсами которых отвечают нормативным значениям: коэффициент финансовой автономии в среднем достигает здесь 0,6; коэффициент срочной ликвидности – 1,4; оборачиваемость активов более двух раз. Предприятия низкоэффективного кластера имеют отклонение от нормы по одному или нескольким из указанных критериев: коэффициент финансовой автономии здесь составляет в среднем 0,1; коэффициент срочной ликвидности – 0,5; оборачиваемость активов – 1,7. В убыточный кластер вошли хозяйствующие субъекты с отрицательным значением собственного капитала и очень низким уровнем оборачиваемости активов – менее 0,4.

Кластерно-отраслевой подход показал крайне неравномерную структуру основных звеньев лесного сектора РК (рис. 1).

В целом в структуре лесной промышленности региона преобладают предприятия высокоэффективного кластера – 74% производства продукции, на втором месте идут низкоэффективные

(21%) и в конце – убыточные (5%). Это нормальная пропорция с позиции теории систем, полагающей, что каркас системы должен состоять из устойчивого элемента, но допускающей и разумное наличие нестабильных структур для развития.

Однако в подотраслях лесного сектора наблюдается резкая дифференциация и деформация соотношения кластеров. Если в целлюлозно-бумажном производстве доминирующее положение принадлежит высокоэффективным предприятиям, то в деревообработке наблюдается угрожающее возрастание доли низкоэффективного и убыточного кластеров, а в лесозаготовках эти группы играют ведущую роль при почти полном отсутствии высокоэффективных организаций. Такая диспропорция отражает серьезные внутренние противоречия хозяйственной деятельности и свидетельствует о проблемах в управлении финансовыми ресурсами в неэффективных отраслях.

Наиболее серьезная проблема – *недостаточная обеспеченность предприятий собственными финансовыми ресурсами*.

Как уже было отмечено, доля собственных средств в формировании капитала предприятия должна составлять не менее 50-60%, только тогда создается необходимый запас прочности в изменяющихся условиях внешней среды. Для большей части лесозаготовительных и значительной части деревообрабатывающих предприятий лесного сектора РК, как для многих других организаций отечественной экономики, характерен недостаточный уровень (20-30%), а подчас и полное отсутствие собственного капитала. Такие предприятия формируют низкоэффективный и убыточный кластеры и препятствуют устойчивой работе лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности республики.

Недостаточный уровень собственных средств несет в себе две основные угрозы. Во-первых, опираясь преимущественно на заемное финансирова-

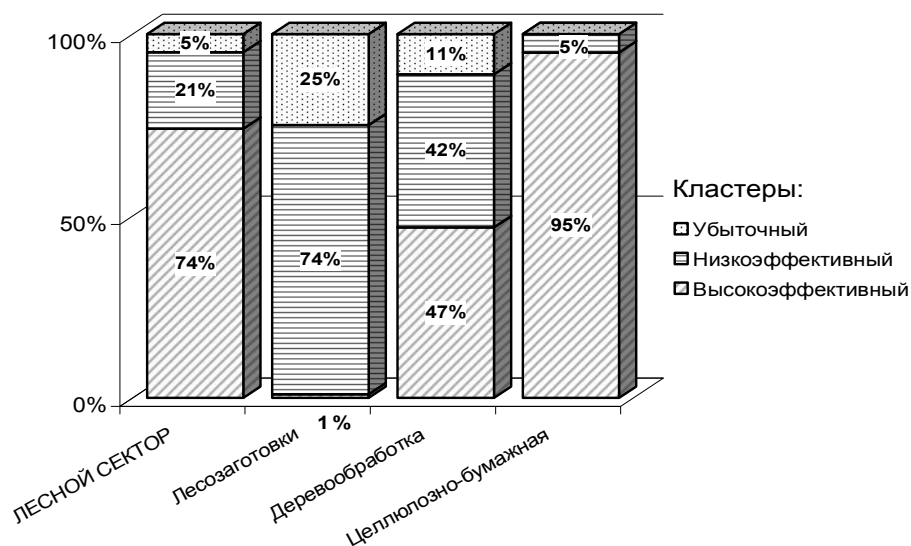


Рис. 1. Кластерная структура лесного сектора Республики Коми по эффективности управления финансовыми ресурсами за 2009 г.

ние, предприятие попадает в сильную зависимость от политики своих кредиторов, и даже незначительное изменение условий предоставления банковского или товарного кредита создает нехватку оборотных средств и как следствие – перебои в производственной деятельности.

Во-вторых, необходимость уплаты процентов по кредитам является мощным рычагом, кратно сокращающим объем прибыли предприятия при ухудшении деловой конъюнктуры. К тому же в условиях финансового кризиса процентные ставки увеличиваются в 1,5 раза и более, что дополнительно усугубляет масштаб убытков. Из-за высокой нагрузки по долговым обязательствам у некоторых предприятий процентные платежи поглощают до 90% прибыли от продаж, а на пике кризиса вдвое превосходят ее.

Именно такая ситуация произошла в лесном секторе республики. Вследствие недостаточной финансовой устойчивости снижение производства в убыточном кластере было очень глубоким и составляло в среднем 29%, отрицательная рентабельность (точнее, убыточность) активов достигала 14%. В низкоэффективном же кластере показатели развития заметно отставали от высокоэффективного (рис. 2). Многие предприятия этих групп обанкротились. Помимо множества малых и средних организаций в числе несостоятельных оказались такие крупные заводы, как Сыктывкарский ЛДК и Княжпогостский завод ДВП.

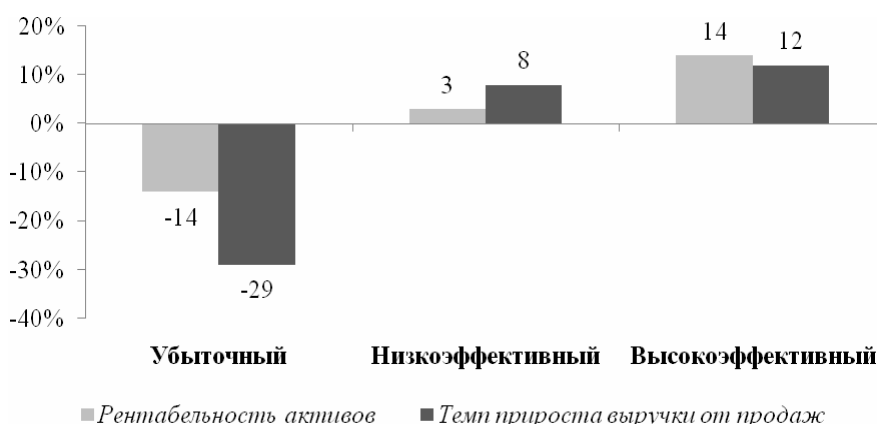


Рис. 2. Показатели эффективности деятельности и темпов развития предприятий лесного сектора РК по кластерам в 2009 г., %.

Нехватку собственного капитала, с одной стороны, вызывают внешние причины: макроэкономические диспропорции между сырьевыми и обрабатывающими отраслями, отток капитала из страны и его концентрация у зарубежных владельцев, нестабильность хозяйственных условий на протяжении последних двух десятилетий, высокий уровень инфляции, неразвитость фондового рынка и др.

Но еще большее влияние оказывают ошибки самих предприятий. К ним следует отнести слабое обеспечение предприятия собственными финансовыми ресурсами в момент его создания, несопоставимо быстрое наращивание заемных источников относительно прироста собственных, высокая степень изъятия прибыли учредителями, сиюминут-

ность целей развития, диспаритетные холдинговые отношения и др. Именно эти ошибки снизили «иммунитет» предприятий к изменениям внешней конъюнктуры и на фоне внешних финансовых потрясений привели к банкротству многих представителей низкоэффективной и убыточной групп.

Однако в лесном секторе республики есть примеры и более осмотрительных стратегий формирования финансовых ресурсов, которые демонстрируют, как правило, предприятия высокоэффективного кластера. Естественно, что высокий уровень финансовой устойчивости позволил им мягче перенести период стагнации.

Например, в деревообработке предприятия этого типа (в их числе «Сыктывкарский фанерный завод», «Севлеспил», «Экофорэст-Коми» и др.) имели положительную рентабельность активов, которая прежде достигала 30% (очень хороший показатель!), а в период кризиса хоть и кратно снизилась, но осталась в положительном диапазоне, несмотря на чувствительное снижение спроса на продукцию. Уже в 2010 г. они восстановили и докризисный объем производства, и уровень рентабельности.

В целлюлозно-бумажной промышленности положительным примером является управление собственным капиталом на ОАО «Монди Сыктывкарский ЛПК». В период реализации инвестиционного проекта «Степ» объем финансовых ресурсов этого предприятия увеличился в 2,6 раза и достиг 42 млрд. руб. При столь стремительных темпах наращивания средств коэффициент финансовой независимости «Монди СЛПК» сохранил свое высокое значение (60%) благодаря дополнительным вложениям головной компании в уставный капитал и полном реинвестировании чистой прибыли на нужды развития.

Вследствие устойчивой финансовой политики динамика производства комбината все годы была положительна. При общем снижении в период кризиса целлюлозно-бумажного производства в стране на 7%, предприятие смогло не только сохранить объемы продаж и прибыли, но и увеличить их, в отличие от многих конкурентов, например, Архангельского ЦБК.

Вторая ошибка управления финансовыми ресурсами многих промышленных предприятий – *низкий уровень ликвидности*, или, иначе говоря – *нехватка денежных средств для своевременного выполнения финансовых обязательств*.

Эта ситуация чаще всего происходит из-за нехватки собственных финансовых ресурсов, но может иметь и специфические предпосылки. Среди них: преимущественное использование кредиторской задолженности и краткосрочных кредитов для

формирования активов, недоступность долгосрочных источников финансирования (инвестиционных кредитов и облигаций), отвлечение большого объема средств на инвестиционные программы, неосмотрительное наращивание величины активов и объема выпуска в погоне за конъюнктурой спроса.

Опасным следствием низкого уровня ликвидности в условиях неблагоприятной финансовой или сбытовой конъюнктуры является возникновение перебоев в производственной деятельности предприятия из-за неплатежей за сырье, услуги, несвоевременного перечисления налогов и заработной платы.

Эти несоразмерности также характерны в большей степени для предприятий низкоэффективного и убыточного кластеров. Средний уровень коэффициента срочной ликвидности у них составлял 0,5 и менее при норме 1. Напротив, высокоэффективные предприятия, как правило, не допускали снижения уровня срочной ликвидности ниже единицы, что помогало им сохранять свободу в маневрировании денежными потоками даже при нестабильности финансовых и товарных рынков.

Наконец, третий просчет управления финансовыми ресурсами ряда предприятий состоял в *неэффективном управлении активами*. Если в высокоэффективном кластере оборачиваемость активов составляла не менее одного раза, а иногда достигала двух и более раз в год, то в низкоэффективном кластере показатель чаще равнялся 0,6-1 оборотам, а в убыточном – 0,5 оборотов и менее.

Особенно характерна эта проблема для убыточного кластера лесозаготовительной подотрасли, проявлялась она также и в деревообработке. Ее прямым следствием стала неспособность обеспечить достойную отдачу на вложенный капитал собственникам и кредиторам предприятия, повышенная нагрузка по обслуживанию долгов, недостаточная гибкость и маневренность в развитии, низкая эффективность хозяйственной деятельности.

Так, например, у большинства предприятий убыточного кластера лесозаготовительной промышленности оборачиваемость активов не превышала 0,6-0,7 раза при том, что у высоко- и низкоэффективных она достигала 1-2 раза в год. Это явное свидетельство недостаточного внимания руководства к качественному управлению активами или неспособности обеспечить его по тем или иным причинам. Поэтому закономерно, что в следующем, 2010 г. лишь каждое пятое предприятие этих групп смогло показать уверенную динамику восстановления, а многие другие были признаны несостоятельными и прекратили свое существование.

Предпосылки замедления оборачиваемости активов, как правило, состояли в направлении значительных средств на экстенсивное расширение производственных мощностей, непосильном объеме одновременно реализуемых инвестиционных проектов, недогрузке производственных мощностей, невнимании к вопросам оптимизации товарных запасов и дебиторской задолженности.

В частности, одной из решающих причин банкротства Княжпогостского завода ДВП стал переизбыток одновременно реализуемых инвестиционных проектов: организация собственных лесозаготовок, одновременный запуск новых видов продукции – мягкой плиты, пиломатериалов, деревянных изделий и деревянных домов. Сами по себе эти неплохие проекты не успели оправдать себя, к тому же не были обеспечены собственным финансированием. Обширные инвестиционные программы создали серьезные трудности в период кризиса также и в деятельности Жешартского фанерного комбината, завода «Леском» и уже упомянутого Сыктывкарского ЛДК.

Примечательно, что такие заводы, как «Сыктывкарский ЛДК» и «Леском» используют передовое технологическое оборудование, и их продукция высоко котируется на зарубежных рынках благодаря хорошему качеству. Очевидно, что факторы финансового управления, а именно необеспеченность собственными ресурсами и неосмотрительность инвестиционной политики стали причиной дестабилизации их хозяйственной деятельности и получения отрицательных результатов.

Необходимо отметить, что ситуация в лесном комплексе республики в эти годы находилась в сильной зависимости от неустойчивого развития строительной отрасли. Увеличение объемов в ней, подогреваемое ипотечными инструментами и рыночными спекуляциями, провоцировало рост выпуска и уровня цен в смежных отраслях, к которым относятся лесопильное и фанерно-плитное производство. Под впечатлением благоприятной конъюнктуры деревообрабатывающие предприятия привлекали заемный капитал и осуществляли масштабные инвестиции в наращивание производственных мощностей, ослабляя контроль за уровнем затрат.

Но с приходом мирового кризиса бурный рост строительства сменился резким спадом из-за дестабилизации кредитной системы и потери взаимного доверия контрагентов [11]. Резкая смена делового климата заставила и взаимосвязанные, в том числе деревообрабатывающие, предприятия вспомнить о необходимости не столько быстрого, сколько устойчивого роста, непреложным правилом которого является недопустимость превышения темпов роста привлеченных финансовых ресурсов над собственными.

Свою лепту в дестабилизацию реального сектора экономики внесли и коммерческие банки. Будучи заложниками масштабного формирования своей ресурсной базы за счет краткосрочных заимствований на зарубежных фондовых рынках, они в период кризиса бесконтрольно повышали процентные ставки и урезали заемщикам лимиты кредитования. Возникшая отсюда нехватка оборотных средств стала для предприятий «добивающим ударом» после ценового и сбытового шока. Тем не менее, как уже отмечалось, степень воздействия этих неблагоприятных факторов на предприятия напрямую зависела от их собственных внутренних резервов устойчивости.

Закключение

Таким образом, качество управления финансовыми ресурсами предприятий действительно оказывает заметное влияние на эффективность деятельности и динамику роста в неблагоприятных внешних условиях, являясь необходимым (хотя и недостаточным) условием устойчивого развития.

Главные слабости финансового управления в лесном секторе РК заключаются в низкой обеспеченности собственными финансовыми ресурсами, обширном использовании дорогостоящих банковских кредитов для формирования капитала, чрезмерно быстром наращивании активов, инвестиций, выручки и затрат предприятий в условиях благоприятной конъюнктуры, неэффективном использовании активов многих предприятий.

Допущенные ошибки в управлении финансовыми ресурсами обусловили соответствующую хозяйственную динамику в кластерах: в высокоэффективном кластере наблюдалось умеренное снижение производства и быстрое его восстановление при сохранении уровня рентабельности в положительном диапазоне. В низкоэффективном кластере снижение прибыли было более глубоким, нередко достигая отрицательных показателей, а снижение выпуска продукции оказывалось весьма болезненным. В убыточном кластере неэффективное управление финансовыми ресурсами стало важным фактором неустойчивости и банкротства одних или обусловило резкое сокращение производственного и рыночного потенциала других предприятий.

В свою очередь, удельный вес тех или иных кластеров определил общую картину развития отраслей лесного сектора республики в последние годы. Преобладание высокоэффективного кластера в целлюлозно-бумажной промышленности позволило сохранить высокую рентабельность и устойчивые темпы роста, а доминирование низкоэффективных и убыточных предприятий в деревообработке и лесозаготовках привело к резкому снижению объемов производства, получению больших убытков и банкротству множества не только малых и средних, но и крупных предприятий.

Для исправления неудовлетворительной хозяйственной ситуации лесопромышленным предприятиям республики необходимо стремиться к достижению нормативного уровня финансовой автономии, соизмеряя привлечение банковских кредитов с темпами роста собственных средств; отдавать предпочтение интенсивному направлению развития; осторожнее реагировать на увеличение спроса, сдерживая прирост мощностей и постоянных затрат; обеспечивать создание финансовых резервов в виде положительных «зазоров» реального уровня финансовой устойчивости и срочной ликвидности над нормативными значениями.

Органам региональной власти целесообразно осуществлять мониторинг финансовых ресурсов предприятий для своевременного принятия управ-

ляющих воздействий и добиваться постепенного повышения финансовой устойчивости в лесозаготовках и деревообработке посредством отраслевых соглашений, регулирования условий поддержки инвестиционных проектов и разъяснительной работы.

Федеральным же органам власти можно рекомендовать производить регулирование потоков кредитных ресурсов с международных финансовых рынков и контролировать возникновение инвестиционных и спекулятивных пузырей в экономике, а также законодательно усилить ответственность собственников и управленцев за возникновение финансовой несостоятельности предприятия.

Литература

1. *Ивантер В.В., Панфилов В.С.* Конец экономики роста или смена парадигмы развития? Доклад на заседании Президиума РАН 21.10.2010 г. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.ecfor.ru/pdf.php?id=pub/ivan12>
2. *Лесное хозяйство* Республики Коми. 2009: Стат. сб. / Комистат. Сыктывкар, 2009. С.58.
3. *Статистический ежегодник* Республики Коми: Стат. сб. / Комистат. Сыктывкар, 2010. С.74, 213, 256, 257, 289, 399.
4. *Финансы* Республики Коми. 2009: Стат.сб. / Комистат. Сыктывкар, 2009. С.32.
5. *Финансы* Республики Коми. 2011: Стат. сб. / Комистат. Сыктывкар, 2011. С.33.
6. *Гаджиев Ю.А., Акопов В.И., Колечков Д.В. и др.* Макроэкономическая динамика северных регионов России. Сыктывкар, 2009. С.208.
7. *Фаузер В.В., Бочкова С.В., Елькина Н.Я.* Анализ финансовой устойчивости организации: вопросы теории. Сыктывкар, 2004. С.196.
8. *Шеремет А.Д., Сайфулин Р.С.* Методика финансового анализа. 3-е изд., перераб. и доп. – М., 2001. С.163
9. *Сыров М.М.* Финансовые и экономические показатели управления предприятием и оценка их взаимосвязи в промышленности Республики Коми // Материалы X Всероссийской научно-теоретической конференции «Политические, экономические и социокультурные аспекты регионального управления на Европейском Севере». Сыктывкар, 2011. Ч.П. С.255.
10. *Сыров М.М.* Управление промышленными предприятиями: кластерно-отраслевой подход // Проблемы теории и практики управления, 2010. №10. С.93-101.
11. *Панфилов В.С.* Мировой кризис: генезис и последствия для макроэкономической и социальной стабильности в РФ // Проблемы прогнозирования, 2001. №3. С.3-21.

Статья поступила в редакцию 31. 10. 2011.

УДК 36 (470.13)

РОЛЬ ПРОЕКТА «ОТ ПОСОБИЯ К ЗАРПЛАТЕ» В ПОВЫШЕНИИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ

В.В. ТИХОМИРОВА

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

В статье анализируется реализация проекта «От пособия к зарплате», исследуется его влияние на снижение уровня бедности малоимущих семей, повышение доходов и возможности трудоустройства участников проекта, а также трудности, возникающие при заключении социальных контрактов.

Ключевые слова: социальная защита, адресная социальная помощь, социальные пособия, социальное обслуживание, целевые адресные социальные программы

V.V. TIKHOMIROVA. THE GUIDELINES OF IMPROVEMENT OF TARGETED PUBLIC ASSISTANCE IN THE KOMI REPUBLIC

Project implementation «From allowance to salary» is analyzed. Its influence on the decrease of poverty level of low-income families, increase in incomes and possibility of employment for participants of the project, and also the difficulties arising at the conclusion of social contracts is investigated.

Key words: Social security, address public assistance, hardship allowances, social services, goal-oriented address social programs

В последние годы в системе социальной защиты отдельных регионов получила развитие новая модель социальной работы с малоимущими семьями и малоимущими одиноко проживающими гражданами – оказание адресной социальной помощи на условиях заключения социального контракта (общественного договора).

Социальный контракт или договор социальной адаптации – это договор о взаимных обязательствах между получателем адресной социальной помощи и обществом (в лице органа, уполномоченного на предоставление государственной социальной помощи).

Эта модель социальной работы включает разработку программы индивидуальной социальной адаптации – плана действий обеих сторон, совместно разработанного в результате анализа причин сложившейся трудной жизненной ситуации, а также выявления потенциальных возможностей получателя помощи. В ходе реализации программы адаптации осуществляется социальное сопровождение контракта со стороны специалистов служб защиты для помощи и контроля ситуации.

Методология введения системы социального контракта на базе опыта Франции отработывалась в 2003-2005 гг. в трех регионах России (Республике Коми, Тульской и Ростовской областях) в рамках проекта ТАСИС «Реформа системы социальной защиты в Российской Федерации». Работа проводилась в соответствии с соглашением между Пра-

вительством РФ и Комиссией Европейского Сообщества, а координатором и активным участником проекта с российской стороны выступало Министерство здравоохранения и социального развития РФ.

Основная цель проводимых в регионах России мероприятий по введению системы социального контракта в разных ее формах – повышение реальных доходов семей, находящихся за чертой бедности и их выход из разряда нуждающихся в государственной помощи. Результатом этого должно быть не временное улучшение, как это происходит в случае выплаты социальных пособий на определенный срок, а долговременный эффект выхода семьи на индивидуальные схемы защиты и самообеспечение. Одним из направлений социальной контрактации является проект «От пособия к зарплате», который вошел в практику оказания государственной социальной помощи на территории Республики Коми в 2005 г.

Реализация данного проекта показала, что для его результативного продвижения, а также использования опыта социальной контрактации для совершенствования других форм адресной социальной помощи населению важно оценить экономическую, социальную и институциональную эффективность проекта «От пособия к зарплате». Кроме того, следовало получить достоверные сведения о потенциальных получателях пособия: выявить социальный статус малоимущих семей, обозначить характеристики этой категории населения с

позиции повышения и реализации их экономической активности, определить уровень профессионального образования данной категории населения, наличие трудового опыта, жизненную позицию и готовность к трудоустройству. Для решения этих задач автором проведены два социологических исследования: со стороны субъектов и объектов защиты, использующих специализированный метод социологического исследования – анкетный опрос.

Цель первого исследования – установить влияние пособия на снижение уровня бедности малоимущих семей, повышение доходов участников проекта и оказание им содействия в трудоустройстве. Респондентами явились все участники проекта с 2006 по 2009 гг. включительно. Выборочная совокупность составила 343 респондента.

Цель второго исследования – выявить, каким образом идет реализация проекта «От пособия к зарплате», уяснить трудности, с которыми встречаются социальные работники при заключении социальных контрактов. Респондентами выступили специалисты и социальные работники, непосредственно участвовавшие в разработке и реализации договоров, а также программ социальной адаптации.

Исследование влияния пособия на снижение уровня бедности

В исследовании принимали участие 77 семей в количестве членов 299 чел., в которых воспитывается 173 ребенка. Городских семей – 27. В них проживает 63 ребенка. Многодетных семей – 10. В них воспитывается 41 ребенок. Молодых семей – семь. На их иждивении восемь детей. Одиноких матерей 18, они содержат 34 ребенка. Наибольшее количество неполных семей пришлось на города Печору (девять семей) и Сыктывкар (семь семей). Из них три многодетные семьи, одна семья воспитывает шесть детей (Печора).

В сельской местности проживает 50 семей, в них 110 детей. Многодетных семей – 17. На их иждивении 55 детей. Молодых семей до 30 лет – пять, в них 10 детей. Неполных семей, проживающих в сельской местности, – девять. Из них шесть семей приходится на Сысольский р-н. В данных семьях 16 детей. Одна семья многодетная (Корткеросский р-н).

Из вышеприведенных данных видно, что потребителями услуг социальной работы выступили семьи «группы риска»: неполные семьи, молодые и многодетные семьи. Именно они сегодня становятся одним из основных объектов социальной защиты. При этом решающим аспектом является экономическая составляющая данного типа семей. Все они относятся к «малоимущим семьям», располагая душевым доходом ниже величины прожиточного минимума.

Главный отличительный признак неполной семьи – отсутствие одного из родителей. К сожалению, в современной Республике Коми семья с одним родителем – распространенное явление. Выполнение неполной семьей своих функций имеет специфику, связанную с нарушением структуры семьи. Исследование показало, что основная доля неполных семей – это семьи, которые возглавляет

мать, в силу этого исследователи называют эти семьи – «семьи одиноких матерей». В нашем исследовании неполные семьи «по доле бедных» опережают все другие типы семей.

В подобном социальном положении оказались и многодетные семьи, в которых низкая материальная обеспеченность обусловлена численностью иждивенцев. Появление ребенка в семье, как правило, существенно снижает уровень ее жизни, а наличие трех и более детей делает семью в подавляющем числе случаев бедной. При этом многодетные семьи, особенно неполные семьи с тремя и более детьми, отличаются максимальными риском и степенью бедности. В силу более высокой иждивенческой нагрузки и меньшего относительного числа занятых членов семьи они неблагоприятно выделяются по сравнению с другими категориями семей по всем социально-экономическим показателям уровня и качества жизни. Значительную часть исследуемых семей составили молодые семьи, где также наблюдается низкий уровень и структура доходов.

Основной причиной бедности исследуемых семей является относительно низкая конкурентоспособность трудоспособных членов таких семей на рынке труда. Это обусловлено их занятостью в воспитании детей, непривлекательностью для работодателей приема на работу граждан с высокой иждивенческой нагрузкой и существенными семейными обязанностями, а также низким уровнем социальной помощи, оказываемой государственными и муниципальными органами социальной защиты.

На вопрос: «Где вы трудитесь?» из 126 взрослых членов семей 14 человек не дали ответа. На производстве работают 26,7% всех опрошенных. Однако в сельской местности работа на производстве более выражена (19,6%). В бюджетной сфере работают 8% сельчан и 5,3% городских жителей. Зарегистрированы в службе занятости в качестве безработных около $\frac{1}{5}$ всех респондентов (17,8%). Из них в городе 6,2% и в сельской местности 11,6%. Эти данные говорят о том, что у сельских жителей меньше сфер приложения своего труда. Пункт «другое» отметили 47 чел., или 41,9%. Из них 25,9% приходится на представителей сельского населения. Данные факты могут отражать возможности скрытой занятости в городской местности и наличие подсобного и фермерского хозяйства – в сельской.

На вопрос: «Каким образом Вы узнали о проекте «От пособия к зарплате»? ответил 81 респондент. Из них 60 семей (или 74%) узнали о проекте в органах социальной защиты. Далее в ранжированном ряду идут: из газеты, радио, передачи на телевидение – восемь семей; от знакомых и соседей – три семьи; из рекламного объявления – две; другое – девять.

Вышеприведенные сведения говорят о том, что органы социальной защиты в должной мере обеспечивают информированность семей о правах на государственную поддержку всех ее членов в сферах труда, здравоохранения, образования, социального обеспечения и социального обслуживания.

Что же побудило участников проекта обратиться в органы социальной защиты? Здесь на первое место вышла потребность в трудоустройстве – 35,7%. Потребность в материальной помощи – 30,2%. Потребность в увеличении доходов – 19,8%. Желание узнать о проекте выразило 18 семей. Возникла необходимость в получении образования у 13 респондентов. Жилищная проблема волновала пять семей. Консультация специалиста потребовалась четырем семьям. По медицинским показаниям в органы социальной защиты обратилась одна семья.

Таким образом, из вышеперечисленных побуждений наивысший приоритет у участников проекта имела потребность в трудоустройстве, особенно это выражено у жителей сельской местности (10,3%). На второе место вышла потребность в увеличении доходов и далее потребность в материальной помощи. Три городские семьи наивысшим приоритетом для себя считают получение образования. Есть семьи, желающие отработать северный стаж. Проблемы, которые удалось решить участникам проекта, отражены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты, достигнутые благодаря проекту «От пособия к зарплате»*

№ п/п	Проблемы семей, которые удалось решить	Всего	В том числе	
			Город	Село
1.	Организована индивидуальная трудовая деятельность	31	7	24
2.	Оказано содействие в трудоустройстве	23	6	17
3.	Повышен доход	20	7	13
4.	Получены образование, повышена квалификация	16	14	2
5.	Заведено личное подсобное хозяйство	13	0	13
6.	Погашена задолженность по оплате ЖКУ	13	10	3
7.	Снижен уровень бедности	12	3	9
8.	Оказана юридическая помощь	4	2	2
9.	Оказана медицинская помощь	3	0	3
10.	Решена жилищная проблема	3	2	1
11.	Оказана психологическая помощь	2	2	0

* По данным социологического исследования автора.

Как видно из таблицы, на первое место участники проекта поставили организацию индивидуальной трудовой деятельности, далее идут оказание содействия в трудоустройстве и повышение дохода. Многие респонденты получили образование и повысили свою квалификацию, завели личное подсобное хозяйство и погасили задолженность по оплате ЖКУ. Значительная часть семей отметила, что у них снизился уровень бедности.

В графе «другое» городские жители отметили, что им удалось устроить ребенка в садик, купить лекарства для ребенка, купить вещи для детей. Сельские жители смогли приобрести материал и инстру-

менты для ремонта трактора, покупки теплицы, сельхозинвентаря, построить овощехранилище.

На вопрос: «На что, в большей степени, вы стали расходовать дополнительные средства от реализации пособия «От пособия к зарплате», поступающие в ваш семейный бюджет?», большинство семей (23,5%) ответили «на приобретение оборудования, необходимого для трудовой деятельности». Далее в ранжированном ряду выступили: расходы по обязательным платежам и сборам (15,2%); на продукты питания (13,6%); на непродовольственные товары и услуги (7,6%).

В графе «другое» – городскими жителями были выделены: оплата обучения, верхняя одежда ребенку, долги ЖКХ, приобретение стройматериала. Сельские жители потратили дополнительные средства на приобретение скота, медицинскую помощь, лекарства и наем жилого помещения.

Из 77 семей, участвовавших в проекте, оказанной помощью удовлетворены 37 семей. Частично удовлетворены 33 семьи, и шесть семей остались неудовлетворенными.

Удовлетворенность системой социальной защиты показывает отношение граждан к концепции, принципам, механизмам, результатам мероприятий, направленных на обеспечение граждан достойными условиями жизни. Оценка удовлетворенности системой социальной защиты – это в некотором смысле определение соответствия ожиданий граждан фактической заботе о них государства и его представителей. Вышеприведенные данные социологического исследования показывают, что почти половина респондентов полностью удовлетворена результатами проекта.

Позиции, которые помешали участникам проекта достичь желаемого результата, отражены в табл. 2.

Таблица 2

Препятствия в реализации проекта «От пособия к зарплате»*

№ п/п	Что помешало достичь желаемого результата?	Количество семей
1.	Низкий размер пособия	25
2.	Невозможность получить мгновенного результата	18
3.	Не хватает знаний и опыта	14
4.	Маленький срок назначения пособия	12
5.	Неумение вести документацию, отчетность	12
6.	Отсутствие потенциальных рабочих мест	9
7.	Жесткие условия договора	7
8.	Плохое состояние здоровья	6
9.	Отсутствие дорог в период сезонной распутицы	6
10.	Проживание в отдаленной от райцентра местности	5
11.	Неприемлемый режим работы	3
12.	Отсутствие мест в детских дошкольных учреждениях	1
13.	Плохие привычки (лень)	1

* По данным социологического исследования автора.

На первое место в ответе о препятствиях в реализации проекта семьи поставили «низкий размер пособия». Невозможность получить мгновенный результат напрямую связана с маленьким сроком назначения пособия. Большинству респондентов не хватает знаний и опыта работы, а также умения вести документацию и отчетность. Многие семьи жалуются на жесткие условия договора. Жителей сельской местности волнует отсутствие дорог в период сезонной распутицы, проживание в отдаленной от райцентра местности и отсутствие потенциальных рабочих мест. Семьи одиноких матерей беспокоит отсутствие мест в детских дошкольных учреждениях.

Достоинства проекта респонденты оценили следующим образом (табл. 3).

Таблица 3

**Оценка результативности проекта
«От пособия к зарплате»***

№ п/п	Что понравилось в проекте?	Всего	В том числе	
			Город	Село
1.	Почувствовали заботу государства о семье	25	13	12
2.	Стали чувствовать себя более уверенно	25	13	12
3.	Повысился уровень доходов	22	8	14
4.	Появились новые возможности	20	12	8
5.	Устроились на работу	20	8	12
6.	Появилась уверенность в завтрашнем дне	17	6	11
7.	Стали чувствовать себя «нужными»	15	4	11
8.	Повысился уровень самооценки	15	6	9
9.	Расширился круг знакомств	14	5	9
10.	Наладились отношения в семье	6	1	5
11.	Другое	6	1	5

* По данным социологического исследования автора.

Большинство семей отметили, что почувствовали заботу государства о семье (32,9%). Столько же семей стали чувствовать себя более уверенно. Повысился уровень доходов у 28,9% семей. У 20 семей (26,3%) появились новые возможности. Столько же семей отметили, что устроились на работу. 17 семей (22,4%) указали, что у них появилась уверенность в завтрашнем дне. Далее в ранжированном ряду идут: повысился уровень самооценки (19,7%); стали чувствовать себя «нужными» (19,7%); расширился круг знакомств (18,4%); наладились отношения в семье (7,9%).

Исследование трудностей реализации социального контракта

В исследовании принимали участие 44 респондента. Из них 25 специалистов по социальной работе из городских округов и 19 – из муниципальных районов.

На вопрос: «С какими трудностями Вам пришлось столкнуться при отборе семей?» спе-

циалисты по социальной работе отметили, что многие семьи не могли участвовать в проекте, так как по условиям проекта, среднедушевой денежный доход малоимущей семьи должен быть равен средней величине прожиточного минимума или ниже 50 % средней величины прожиточного минимума. Почти 85% респондентов отметили, что существовали жесткие критерии отбора семей. Малоимущие семьи, прошедшие отбор, не выражали желания участвовать в проекте, так как в основной массе это неблагополучные семьи, злоупотребляющие спиртными напитками. Далее, 80% респондентов указали на иждивенческое настроение малоимущих семей, нежелание работать, связывать себя договором, нести солидарную ответственность и обязательства, а также нежелание что-либо менять в своей жизни.

Специалисты сельских районов особо указали на низкий размер пособия и дифференциацию размера пособия от количества членов семьи. Они выделили отсутствие условий для реализации договора у участников проекта. Среди них: проживание семей в удаленных от города населенных пунктах; отсутствие профессиональных навыков; бесперспективность организации личного (индивидуального) предпринимательства ввиду отсутствия рынка сбыта товаров и услуг; нежелание и опасение потенциальных участников проекта регистрировать предпринимательскую деятельность; малограмотность семей в плане ведения финансовых документов; опасение семей остаться без выгоды из-за большого налогообложения.

В ответе на вопрос: «С какими трудностями Вам пришлось столкнуться при заключении договоров и разработки программ социальной адаптации?» практически все специалисты выделили трудности в организации взаимодействия с различными ведомствами, бумажную волокиту, которая занимает много времени, и недоверие участников проекта к государству. Далее были отмечены: ограниченные возможности социальной адаптации вследствие небольшого размера пособия; сложности в работе с гражданами, имеющими высшее образование; плохое состояние здоровья у потенциальных участников проекта.

Особо респондентами высказаны претензии на то, что в проекте не оговорена схема контроля и разделения ответственности за выполнение программных мероприятий, что вызывало беспокойство и трудности в работе.

В ходе реализации проекта имели место и случаи негативного отношения его участников. На первое место в ранжированном ряду вышло негативное отношение семей к контролю со стороны социальных служб за расходованием пособия, к обследованиям жилищных условий, доскональной отчетности.

**Оценка эффективности проекта
«От пособия к зарплате»**

Оценка результатов социологических исследований доказала экономическую, институциональную и социальную эффективность рассматриваемого проекта.

Экономические преимущества проекта вытекают из самой концепции – активизация трудового потенциала участников программ социальной адаптации на основе социального контракта. В данном случае реализуется сочетание пассивных и активных мер поддержки и решается задача повышения благосостояния малоимущих слоев не только за счет социальных трансфертов, но и расширения занятости.

В ходе реализации проекта «От пособия к зарплате» удалось вовлечь в сферу трудовой деятельности длительно неработающих трудоспособных граждан, создать условия для использования имеющегося трудового потенциала семей и самостоятельного преодоления ими состояния бедности.

Проект «От пособия к зарплате» продемонстрировал свою результативность и экономическую эффективность: с 2006 по 2010 гг. в нем приняли участие 117 семей, из них увеличили свой среднедушевой доход выше величины прожиточного минимума, установленной в Республике Коми, т.е. преодолели порог бедности, 56 семей. Реализация данного проекта явилась одним из эффективных методов борьбы с бедностью. Она способствовала сокращению социального иждивенчества, так как ее участники переходили из отряда получателей социальной помощи в отряд налогоплательщиков. Экономический эффект от проекта составил свыше 11 млн. руб. или 219% (табл. 4).

Таблица 4

Оценка экономической эффективности проекта «От пособия к зарплате»*

Показатели	Значение
Участвовало семей / человек	117 / 448
Изменили статус благодаря проекту семей / человек	56 / 209
Затраты на реализацию проекта, млн. руб.	3,6
Положительный эффект от проекта, всего млн. руб.	11,4
В том числе:	
Экономия на социальных пособиях	9,9
В том числе:	
пособие по нуждаемости	8,9
жилищные субсидии	0,1
ежемесячные детские пособия	0,5
питание детей в школе	0,5
Дополнительные доходы бюджетной системы	1,5
В том числе:	
налог на доходы физических лиц	0,7
взносы в Пенсионный фонд	0,8
Итоговый экономический эффект, %	219

*Рассчитано по данным Агентства Республики Коми по социальному развитию.

Использование сэкономленных на пособиях средств может способствовать дальнейшему выведению из состояния бедности других семей с неработающими членами трудоспособного возраста, еще не включившихся в адресную социальную программу.

Кроме того, участники проекта вышли из получателей социальных пособий, ежемесячных пособий на детей, пособий по оплате ЖКХ и перестали получать социальную поддержку в виде бесплатного питания детей в школе.

Институциональные преимущества заключаются в развитии эффективного межведомственного взаимодействия служб социальной защиты. Это объединение усилий и координация действий органов государственной власти, местного самоуправления, заинтересованных учреждений, ведомств, организаций, общественных объединений в реализации мер социальной поддержки незащищенных слоев населения. Программы социальной адаптации трудоспособных граждан, действующие на основе социального контракта, существенно снизили барьеры взаимодействия социальных ведомств и стали реальным и продуктивным инструментом их эффективного сотрудничества.

Социальный эффект от внедрения проекта «От пособия к зарплате» выразился в реализации трудового потенциала незанятых или занятых неполный рабочий день малоимущих граждан и росте качества человеческого капитала. Методы социальной адаптации (реабилитации) способствовали получению новых профессиональных навыков, переобучению и включению участников проекта в активный поиск работы.

Предложения по работе с социальным контрактом

По результатам социологической оценки реализации проекта сформулированы следующие рекомендации по социальной контрактации населения.

К числу предпосылок вхождения малоимущего населения в систему социальных контрактов относится готовность к трудоустройству. Поэтому важно исследовать характеристики данной категории населения с точки зрения повышения и реализации их экономической активности. Прежде всего, это касается той его части, которая не принадлежит к активным слоям.

Согласно условиям реализации программы стартовый доход ее участников не должен превышать пороговый уровень 50% от прожиточного уровня. В зависимости от социально-экономического потенциала данные типы семей практически находятся на грани биологического выживания. Их социальный статус определяется как «неблагополучные» и «асоциальные» семьи. Установка на работу, несмотря на потребность в повышении уровня жизни, у данной категории граждан определяется как пассивная.

Отсюда характер помощи, формы и методы работы с ними очень индивидуальны и требуют приложения времени, сил и средств. Работа с данными типами семей больше предусматривает постановку перспективных целей, т.е. отстраненных во времени отдаленных по срокам достижения, требующих для своего решения не только оптимальных средств, но и определенного периода времени. Многие социальные проблемы невозможно решить быстро, за 3-6 месяцев, так как они имеют комплексный, затяжной и в ряде случаев объективный характер.

Малоимущие граждане в составе рассмотренных категорий имеют ряд особенностей, из-за которых их перевод в экономически активные слои и реализация трудового потенциала требуют определенных усилий. Прежде всего, это невысокий уровень профессионального образования, ограничивающий выбор вариантов возможного трудоустройства и отсутствие трудового опыта, что снижает шансы на хорошо оплачиваемую работу. Далее это недостаточная готовность к труду в общественном хозяйстве и наличие малолетних детей. Существуют семьи, в которых безработные члены семьи не планируют трудоустройства. Здесь бедность является следствием экономической неактивности трудоспособных членов малоимущих семей. Следовательно, технологии работы с потенциальными участниками социального контракта будут отличаться от методов деятельности служб занятости, клиенты которых самостоятельно ищут работу.

Особенности состава участников проекта позволили выделить три группы: 1) не имеющие специальности и трудового опыта, прекратившие поиск работы ввиду его безуспешности; 2) занятые в домашнем хозяйстве и воспитанием детей; 3) не желающие работать. Различия участников указанных групп обуславливают необходимость использования новых подходов к восстановлению их экономической и трудовой активности.

Общим для всех групп является этап, предшествующий трудоустройству и включающий психологическую подготовку, профориентацию и социальную адаптацию. Для членов первой группы, слабо подготовленных в профессиональном плане, необходи-

ма подготовка и переквалификация по востребованному рынком труда профессиям. Для второй группы из-за совмещения трудовых и семейных функций актуальна гибкая занятость, в том числе на неполном режиме. Поскольку это осложняет трудоустройство в индустриализированных видах деятельности, для них предпочтительнее занятость в услугах. Повышение экономической активности женщин, воспитывающих детей, возможно только при условии содействия устройству детей в дошкольные учреждения и на режим продленного дня в школе. Для третьей группы приоритетны общественные работы, противодействующие утрате трудовой активности и социальному иждивению.

Активизация безработных более эффективна в тех муниципальных образованиях, где уровень занятости высок, и менее эффективна в районах, где мало вакантных рабочих мест. В муниципальных образованиях, где наблюдается дефицит рынка труда, требуется шире создавать условия для индивидуальных схем защиты и самозанятости. Открытие собственного дела предпочтительнее в сфере услуг, особенно в обслуживании местного населения, где меньше зависимость от крупного и среднего бизнеса, ниже материальные издержки и выше связь с потребностями жителей данной территории. При этом, как показала практика, существует острая необходимость обучения основам бизнеса, бухгалтерского учета и отчетности, выделения стартовых финансовых ресурсов.

Исследование показало, что для сопровождения контрактов социальной адаптации специалистам по социальной работе не хватает базовых знаний в психологии, педагогике, экономике и законодательстве. Это обусловлено процессами трудоустройства членов малоимущих семей, условиями регистрации индивидуальной трудовой деятельности, фермерских и крестьянских хозяйств, малого предпринимательства и личного подсобного хозяйства. Решение острой проблемы кадрового обеспечения потребует значительных организационных усилий, затрат времени и средств.

Статья поступила в редакцию 01.11.2011.

УДК 51-37

ОПТИМИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА УПАКОВКИ НАРЕЗАННЫХ РУЛОНОВ БУМАГИ

В.Л. НИКИТЕНКОВ, О.В. БАЙБОРОДИНА, А.А. ПОБЕРИЙ

*Сыктывкарский государственный университет, г. Сыктывкар
Nik@syktsu.ru*

Под оптимизацией бизнес-процесса понимается рационализация процесса упаковки рулонов готовой продукции, путем сокращения расходов и уменьшения затрат. Этот эффект достигается анализом действующей ситуации с целью выявления причин перерасхода упаковочной бумаги и выработки политики решения проблемы, которая будет приемлема как сегодня, так и в дальнейшем при изменении условий производства и сбыта.

Ключевые слова: оптимизация, упаковка нарезанных рулонов, политика «трех лидеров», упаковочная бумага

V.L.NIKITENKOV, O.V.BAIBORODINA, A.A.POBERY. OPTIMIZED BUSINESS PROCESS OF PACKING SLICED ROLLS OF PAPER

Business process optimization is understood as rationalization of the process of sliced rolls packing by reduction of losses and expenses. This is reached by the current situation analysis to reveal the reasons of packing paper over-expenditure and development of a new policy in solving these problems, that will be acceptable both today and tomorrow at change of production and sale conditions.

Key words: optimization, sliced rolls packing, policy of "three leaders", packing paper

Основной задачей любого предприятия является эффективная работа производства, позволяющая обеспечить конкурентоспособность продукции на мировом рынке. Необходимость снижения себестоимости производимой продукции в целлюлозно-бумажной отрасли без значительных капиталовложений заставляет искать места нерационального использования как финансовых, так и материальных ресурсов и средств [1–9].

Одним из таких узких мест является заключительная стадия производства бумаги – линия отделки рулонов. На данном участке выработанный рулон оборачивается в упаковочную бумагу (УБ). Узлы оборачивания бывают различных конструкций, в части возможности установки от одного и более форматов. В настоящей статье рассматривается вариант, где на узле оборачивания можно установить несколько форматов УБ. Такой тип упаковки наиболее часто используется на российских предприятиях производства бумаги [7].

Большое количество заказов рулонов различных форматов зачастую не позволяет организовать возможность оборачивания рулонов только одного формата. Для непрерывного упаковывания различных форматов рулонов готовой продукции необходимо достаточно быстро переходить от одного формата УБ на другой. В этой части конструкции узлов оборачивания тоже различаются и бы-

вают с ручным, полуавтоматическим и автоматическим выбором формата УБ.

Поскольку форматы рулонов – величина нестандартная и зависит от заказов, то и форматы УБ – также величина нестандартная, зависящая от формата конкретного оборачиваемого рулона и величины загиба, который определен ГОСТом. Очень важно рационально выбирать форматы УБ, учитывая заказываемые форматы рулонов, определенные ГОСТом, загиб бумаги и конструктивные особенности узлов оборачивания, так как нерациональная политика закупок ведет к перерасходу УБ.

1. Анализ действующей политики

1.1. Основные понятия и формулы

Имеется N типов форматов бумаги с длинами $l[N]$ ("линейка" форматов), вырезанные в количестве $b[N]$ ("линейка" количества). Для их упаковки используется УБ нескольких типов, закупаемая в достаточном количестве для упаковки.

Для начала рассмотрим действующую ситуацию на производстве. Имеется m типов форматов УБ с форматами $u[i]$, $i \in 1:m$. Упорядочим форматы по убыванию.

$$\begin{aligned} u[1] > u[2] > \dots > u[m] \\ (r[1]) (r[2]) \quad (r[m]) \end{aligned} \quad (1)$$

Пусть все закупаемые типы УБ используются в раскатах при упаковке рулонов. Упорядочим также по убыванию форматы рулонов (с учетом попарной упаковки коротких форматов (при действующих стандартах короткими являются форматы менее 500 мм)

$$l[1] > l[2] > \dots > l[N] \quad (2)$$

$$(b[1]) (b[2]) \dots (b[N])$$

(выше в скобках указаны закупаемые форматы УБ и количество упаковываемых в каждый из них рулонов).

Все форматы при этом будут разбиты на m групп, в i -й из которых содержатся форматы от $l[N_{i-1} + 1]$ до $l[N_i]$ ($N_0 = 0$, $N_m = N$).

Обозначим через $\underline{l}$ минимальный выступ (обязательный по ГОСТу) при намотке УБ на рулон. Теперь можно подсчитать перерасход от упаковки рулона. Перерасходом УБ будем считать превышение минимального выступа:

$$\Delta l[i, k] = u[i] - l[k] - \underline{l}. \quad (3)$$

Таким образом, определяется перерасход от упаковки рулона формата $l[k]$ в УБ формата $u[i]$.

Пусть теперь α – часть рулона УБ, идущая на упаковку одного рулона бумаги. Тогда для упаковки i -й группы форматов требуется следующее количество рулонов УБ:

$$r[i] = \left(\sum_{k=1}^{N_i - N_{i-1}} b[N_{i-1} + k] \right) \cdot \alpha. \quad (4)$$

Подсчитаем расход УБ при упаковке всех рулонов.

$l[i] (mm)$	1680	1660	1400	1260	1245	900	840	800	750	700	699	680	620	600	440	420	400
$b[i] (рул.)$	24	3	14	11	9	4	797	29	3	41	7	5	1	155	4	52	2

$$S = \sum_{i=1}^m u[i] \cdot r[i] = \sum_{i=1}^m u[i] \cdot \alpha \cdot \left(\sum_{k=1}^{N_i - N_{i-1}} b[N_{i-1} + k] \right). \quad (5)$$

$$\delta(S_0) = \frac{S_0}{S} \cdot 100 = \sum_{i=1}^m \frac{\sum_{k=1}^{N_i - N_{i-1}} \Delta l[i, k] \cdot b[N_{i-1} + k]}{u[i] \cdot \left(\sum_{k=1}^{N_i - N_{i-1}} b[N_{i-1} + k] \right)} \cdot 100 (\%). \quad (7)$$

Таким образом, по мнению авторов, безотходная упаковка реализуется, когда все рулоны упаковываются с краевым выступом равным $\underline{l}$. При этом $S = 0$. Здесь не учтен возможный брак при упаковке.

1.2. Вычисление перерасхода УБ на примере фактических данных

Рассмотрим применение данного алгоритма на примере фактических данных Монди СЛПК – одного из крупнейших предприятий по производству бумаги и целлюлозы не только в России, но и в Европе. Предприятие находится в г. Сыктывкаре, Республика Коми. На ОАО «Монди СЛПК» функционируют четыре бумагоделательные машины, производящие офсетную, офисную, газетную и типографскую бумаги и различные картоны.

Проведем анализ данных одной бумагоделательной машины на интервале год и, хотя на предприятии производится большое количество рулонов не только различных форматов, но и различных диаметров, вычислим перерасход УБ и рассчитаем экономический эффект для одного диаметра рулонов ($d=900mm$), который составляет 0,24% от общего количества рулонов всех диаметров.

Рассмотрим «линейку» форматов в заданном количестве:

$l[i] (mm)$	1680	1660	1400	1260	1245	900	880	840	800	750	700	699	680	620	600
$b[i] (рул.)$	24	3	14	11	9	4	2	823	30	3	41	7	5	1	155

Отсортируем форматы с учетом того, что рулоны короче 500 мм вырезаются и упаковываются парами (в таблице ниже выделены).

Тогда суммарный перерасход УБ выражается формулой

$$S_0 = \sum_{i=1}^m \alpha \cdot \left(\sum_{k=1}^{N_i - N_{i-1}} \Delta l[i, k] \cdot b[N_{i-1} + k] \right). \quad (6)$$

Или в относительной форме

Теперь подсчитаем остатки при упаковке рулонов в УБ (с учетом минимального загиба с обеих каждой стороны, равного 100 мм по ГОСТу). При действующей политике используется пять видов УБ (1950, 1750, 1550, 1250, 1000), каждому из которых соответствует своя группа в таблице:

$l[i] (mm)$	1680	1660	1400	1260	1245	900	880	840	800	750	700	699	680	620	600
$b[i] (рул.)$	24	3	14	11	9	4	2	823	30	3	41	7	5	1	155
$\Delta l[i, k] (mm.)$	70	90	150	90	105	150	170	210	0	50	100	101	120	180	200
$b(k):$	27		14		20		829			242					

Остатки при упаковке рулона в соответствующий ему формат УБ $\Delta l[i, k]$ подсчитаны по формуле (3).

Для упаковки рулонов закупается пять типов УБ:

$u[i] (mm)$	1950	1750	1550	1250	1000
$b[i] (рул.)$	27α	14α	20α	829α	242α

Подсчитаем относительный перерасход УБ по группам при такой политике закупок.

$$\delta S_1 = (70 \cdot 24\alpha + 90 \cdot 3\alpha) \cdot \frac{100\%}{1950 \cdot 27\alpha} = \frac{195000}{52650} \% \approx 3,7\%;$$

$$\delta S_2 = (150 \cdot 14\alpha) \cdot \frac{100\%}{1750 \cdot 14\alpha} = \frac{210000}{24500} \% \approx 8,57\%;$$

$$\delta S_3 = (90 \cdot 11\alpha + 105 \cdot 9\alpha) \cdot \frac{100\%}{1550 \cdot 20\alpha} = \frac{193500}{31000} \% \approx 6,24\%;$$

$$\delta S_4 = (150 \cdot 4\alpha + 170 \cdot 2\alpha + 210 \cdot 823\alpha) \cdot \frac{100\%}{1250 \cdot 829\alpha} = \frac{17377000}{1036250} \% \approx 16,76\%$$

$$\delta S_5 = (50 \cdot 3\alpha + 100 \cdot 41\alpha + 101 \cdot 7\alpha + 120 \cdot 5\alpha + 180\alpha + 200 \cdot 155\alpha) \cdot \frac{100\%}{1000 \cdot 242\alpha} \approx 15,18\%$$

Подсчитаем суммарный перерасход УБ:

$$\delta(S_0) = \frac{195000 + 210000 + 193500 + 17377000 + 3673700}{52650 + 24500 + 31000 + 1036250 + 242000} \% \approx 15,61\%$$

Теперь вычислим массу перерасхода УБ учитывая, что масса $1 м^2$ УБ приблизительно равна $0,22 кг$, диаметр D равен $900 мм$, и что при упаковке рулонов – УБ наматывается три раза, т.е. площадь перерасхода УБ равна: $\sum_k \sum_i \Delta l[i, k] \cdot 3\pi \cdot D \cdot b[i]$

(8). Через полученную по формуле для действующей политики площадь найдем массу перерасхода УБ:

$$m_{дейст.} \approx 1836,35 м^2 \cdot 0,22 \frac{кг}{м^2} = 403,997 кг.$$

2. Политика трех «лидеров»

2.1. Новая политика закупок

Весомая часть перерасхода УБ формируется от остатков при упаковке рулонов формата с большим количеством рулонов (как, например, формат 840). Чтобы уменьшить перерасход, добавим форматы для безотходного покрытия форматов с наибольшим числом рулонов, такие форматы будем называть «лидерами». Другими словами, политика закупок УБ должна ориентироваться на «лидеров», чтобы уменьшить перерасход.

Безотходная упаковка для «лидера» $u^*[i]$ получается прибавлением к формату «лидера» (обозначим его $l^*[N_{i-1} + 1]$) минимального загиба по ГОСТу с обеих сторон:

$$u^*[i] = l^*[N_{i-1}] + 2 \cdot l \quad (9)$$

(Индекс l^* равен $N_{i-1} + 1$, потому что в группе

рулонов, упаковываемых в УБ формата $u^*[i]$, он будет стоять первым, так как он дает безотходный (нулевой) остаток, и любой стоящий перед ним рулон не может упаковываться в тот же формат УБ, не давая отрицательный остаток в формуле (3)).

Нужно определить, каким должно быть число форматов УБ для упаковки «лидеров».

Рассмотрим на примере абстрактной схемы (рис. 1).

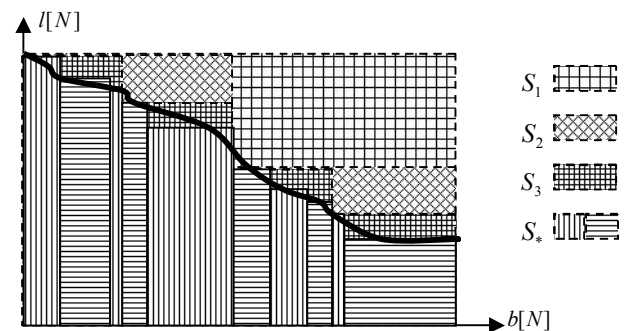


Рис. 1. Абстрактная схема упаковки рулонов в УБ. Примечание. Жирная линия условно показывает идеальную (каждому формату рулонов соответствует свой формат УБ) упаковку.

Можно упаковать все рулоны в один тип УБ – S_1 , но тогда перерасходу будет соответствовать вся площадь выше прямоугольников S_* .

Упаковав в два типа УБ (им соответствует два прямоугольника S_2), перерасходу будет соответствовать площадь выше S_* и ниже верхней границы S_2 , что значительно меньше при упаковке в один формат.

Соответственно получаем еще меньший перерасход при упаковке в 4 формата S_3 .

Идеальная (безотходная) ситуация получается при упаковке каждого типа рулонов в свой идеальный формат (этой ситуации соответствует упаковка S_*).

Таким образом, идеальной упаковкой будет та, что стремится к своеобразной интегральной кривой (жирная кривая на рисунке), описывающей линейку форматов. То есть в идеале для каждого формата рулона потребуется приобрести соответствующий безотходный формат УБ, другими словами будет $m = N$. Поэтому для нашего случая остановимся на введении *трех новых форматов УБ* и посмотрим, даст ли это достаточную экономию.

2.2. Применение политики трех «лидеров»

Рассмотрим ту же «линейку» форматов фактических данных (уже отсортированную с учетом попарной упаковки):

$l[i] (mm)$	1680	1660	1400	1260	1245	900	880	840	800	750	700	699	680	620	600
$b[i] (пул.)$	24	3	14	11	9	4	2	823	30	3	41	7	5	1	155

Расставим форматы рулонов $l[i]$ в зависимости от количества $b[i]$ по убыванию, чтобы определить лидеров:

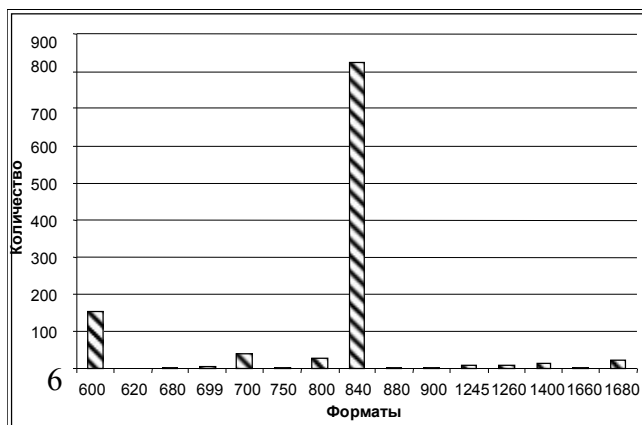


Рис. 2. Диаграмма "форматы - количество".

Выделим трех лидеров (три формата с самыми высокими столбцами). Ими оказались форматы: 840, 600, 700. Подберем для них безотходную упаковку по формуле (9) учитывая, что минимальный загиб l равен 100 мм.:

$$u^*[1] = 840 + 2 \cdot 100 = 1040$$

$$u^*[1] = 600 + 2 \cdot 100 = 800$$

$$u^*[1] = 700 + 2 \cdot 100 = 900.$$

Теперь к используемым пяти форматам УБ (1950, 1750, 1550, 1250, 1000) добавим три полученных формата для упаковки «лидеров». Получаем следующий набор форматов УБ: 1950, 1750, 1550, 1250, 1040, 1000, 900, 800.

Вычислим остатки при упаковке рулонов в новый набор форматов УБ:

$l[i] (mm)$	1680	1660	1400	1260	1245	900	880	840	800	750	700	699	680	620	600
$b[i] (пул.)$	24	3	14	11	9	4	2	823	30	3	41	7	5	1	155
$\Delta l[i, k] (mm.)$	70	90	150	90	105	150	170	0	0	50	0	1	20	80	0
$b[k] :$	27		14	20		6		823	33		54			155	

Остатки при упаковке рулона в соответствующий ему формат УБ $\Delta l[i, k]$ подсчитаны по формуле (3).

Для упаковки рулонов закупается 8 типов УБ:

$u[i] (mm)$	1950	1750	1550	1250	1040	1000	900	800
$b[i] (пул.)$	27α	14α	20α	6α	823α	33α	54α	155α

Подсчитаем по группам относительный перерасход УБ при новой политике закупок.

$$\delta S_1 = (70 \cdot 24\alpha + 90 \cdot 3\alpha) \cdot \frac{100\%}{1950 \cdot 27\alpha} =$$

$$\frac{195000}{52650} \% \approx 3,7\%$$

$$\delta S_2 = (150 \cdot 14\alpha) \cdot \frac{100\%}{1750 \cdot 14\alpha} = \frac{210000}{24500} \% \approx 8,57\%$$

$$\delta S_3 = (90 \cdot 11\alpha + 105 \cdot 9\alpha) \cdot \frac{100\%}{1550 \cdot 20\alpha} = \frac{193500}{31000} \% \approx 6,24\%$$

$$\delta S_4 = (150 \cdot 4\alpha + 170 \cdot 2\alpha) \cdot \frac{100\%}{1250 \cdot 6\alpha} = \frac{94000}{7500} \% \approx 12,53\%$$

$$\delta S_5 = 0 \cdot 823\alpha \cdot \frac{100\%}{1040 \cdot 823\alpha} = \frac{0}{855920} \% = 0\%$$

$$\delta S_6 = (0 \cdot 30\alpha + 50 \cdot 3\alpha) \cdot \frac{100\%}{1000 \cdot 33\alpha} = \frac{15000}{33000} \% \approx 0,45\%$$

$$\delta S_7 = (0 \cdot 41\alpha + 7\alpha + 20 \cdot 5\alpha + 80\alpha) \cdot \frac{100\%}{900 \cdot 54\alpha} =$$

$$\frac{18700}{48600} \% \approx 0,38\%$$

$$\delta S_8 = 0 \cdot 155\alpha \cdot \frac{100\%}{800 \cdot 155\alpha} = \frac{0}{124000} \% = 0\%$$

Подсчитаем суммарный перерасход УБ:

$$\delta(S_0) = \frac{195000 + 210000 + 193500 + 94000 + 0 + 15000 + 18700 + 0}{52650 + 24500 + 31000 + 7500 + 33000 + 48600 + 124000} \% \approx 0,61\%$$

Сравним с перерасходом при действующей политике: $15,61\% - 0,61\% = 15\%$

То есть введение трех новых форматов для трех «лидеров» дало нам такую экономию закупаемой УБ, относительно прежней политики закупок.

При новой политике можно также определить массу перерасхода. Для начала найдем площадь перерасхода, используя формулу (8) (но для новых форматов УБ и остатков): $61,59 \text{ м}^2$.

Теперь определим массу через найденную площадь:

$$m_{\text{нов.}} \approx 61,59 \text{ м}^2 \cdot 0,22 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2} = 13,549 \text{ кг}.$$

Сравним с перерасходом массы при прежней политике:

$$\delta(m) = m_{дейст.} - m_{нов.} = 403,997 \text{ кг} - 13,549 \text{ кг} \\ = 390,448 \text{ кг}$$

Такова масса УБ, которую удастся сэкономить при внедрении новой политики закупок. Исходя из стоимости УБ 32,6 руб. за 1 кг экономия составит:

$$390,448 \text{ кг} \cdot 32,6 \frac{\text{руб.}}{\text{кг}} \approx 12728,6 \text{ руб.}$$

Такую денежную экономию даст переход на новую политику на данном диаметре 900 мм., который, напомним, составляет 0,24% от всей совокупности упаковываемых рулонов. Видно, что введение хотя бы трех новых форматов для безотходной упаковки дает существенную экономию и оправдывает ориентированную на «лидеров» новую политику закупок УБ.

3. Заключение

Из данного материала видна экономическая целесообразность рационализации процесса закупки УБ и эффективность применения политики «лидеров», которую можно использовать и в других задачах. Представленные алгоритмы могут быть использованы при разработке программного обеспечения [7], что позволит при изменении исходных данных (форматов рулонов заказа, краевых загيبов...) оперативно получать необходимое количество требуемых форматов УБ, при использовании которых снижаются расходы на этапе упаковки рулонов бумажного полотна.

Литература

1. Канторович Л.В., Залгаллер В.А. Рациональный раскрой промышленных материалов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1971. 298 с.
2. Мухачева Э.А. Рациональный раскрой промышленных материалов. Применение АСУ. М.: Машиностроение, 1984. 177с.
3. Воронин А.В., Кузнецов В.А. Математические модели и методы в планировании и управлении предприятием ЦБП. Петрозаводск: ПетрГУ, 2000. 256 с.
4. Никитенков В.Л., Холопов А.А. Задачи линейного программирования и методы их решения. Сыктывкар: СыктГУ, 2008. 277с.
5. Байбородина О.В. Работа продолжается // Целлюлоза, бумага, картон. 2010. № 6. С. 42-44.
6. Никитенков В.Л., Подоров А.Е. Модификации задачи раскроя отходов // Вестник Сыктывкарского ун-та. Сер. 1. Математика. Механика. Информатика. 2009. Вып. 10. С. 119-136.
7. Поберий А.А. Оптимизация бизнес-процесса упаковки нарезанных рулонов. II Республиканская молодежная научная выставка, 27-29 апреля 2010 г. Сыктывкар: Стикер, 2010. С. 64-65.
8. Культин Н. Основы программирования в Delphi7. / СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 608 с.
9. Веденеева Е.А. Функции и формулы Excel 2007. СПб.: Питер, 2008. 384 с.

Статья поступила в редакцию 21.08.2011.

ВАЛЕНТИН АЛЕКСАНДРОВИЧ ИВАНОВ



21 ноября 2011 г. исполнилось 70 лет заведующему лабораторией аграрной экономики Института социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми НЦ УрО РАН, доктору экономических наук, профессору **Валентину Александровичу Иванову**.

В.А.Иванов – широко известный ученый на Европейском Севере исследованиями и фундаментальными работами в области аграрной экономики, адаптации хозяйствующих субъектов агропродовольственного комплекса Севера к рыночным условиям. Им разработана концепция продовольственного обеспечения населения районов Севера, обоснована необходимость формирования многоукладной экономики, создания на селе комплексного хозяйства, основанного на интеграции сельского, лесного хозяйства и промыслов, привлечения горной и лесной ренты для восстановления и развития аграрного производства и села. Он внес значительный вклад в управление инновационными процессами в АПК и совершенствование форм и приоритетов государственной поддержки сельскохозяйственных товаропроизводителей, а также в организацию исследований по экономике сельского хозяйства северных территорий. Им разработаны модель управления инновационной деятельностью в АПК, теоретические положения и концепция устойчивого развития сельского хозяйства применительно к северному региону. В.А.Иванов доказал, что устойчивое развитие аграрного сектора северных регионов основано на тесном взаимодействии аграрной политики и саморазвитии сельских хозяйствующих субъектов.

В настоящее время центральное место в исследованиях лаборатории аграрной экономики под руководством В.А.Иванова занимает обоснование направлений повышения устойчивого развития агропромышленного комплекса и сельских территорий Севера.

Валентин Александрович автор и соавтор свыше 150 научных работ, в том числе 31 монографии, 6 научно-методических работ, 9 научных докладов и 10 брошюр.

Труды В.А.Иванова отличаются актуальностью, новизной и практической значимостью. Они научно аргументированы и имеют большое теоретическое и практическое значение.

Полученные результаты исследований В.А.Иванова в период плановой экономики и на этапе рыночных преобразований использовались государственными и местными органами управления, руководителями организаций аграрного сектора по развитию и размещению отраслей регионального АПК, формированию продовольственного фонда для территорий Севера, при разработке региональных законов, программ по агропромышленному и сельскому развитию.

Он принимал активное участие в разработке нормативно-правовых актов функционирования АПК в новых условиях хозяйствования. На всех уровнях отстаивал позиции по направлениям развития аграрного сектора Европейского Севера и Республики Коми.

Вклад ученого в развитие агропродовольственного сектора Республики Коми выразился в участии в разработке законов «О государственном регулировании агропромышленного производства» и «О государственной поддержке в сфере развития сельского хозяйства Республики Коми», программ «Социальное развитие села до 2010 г.», «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия в Республике Коми на 2008-2012 гг.», «Развитие оленеводства в Республике Коми (2011-2014 гг.)», «Схемы территориального планирования Республики Коми» (2008 г.), концепции «Основные направления развития АПК Республики Коми до 2020 г.».

В.А.Иванов является членом Ученого совета Института социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми НЦ УрО РАН, с 1991 по 2007 гг. был членом регионального диссертационного совета по защите кандидатских диссертаций ИСЭиЭПС Коми НЦ УрО РАН.

Известны заслуги ученого в развитии высшего образования. Внесен значительный методический вклад в преподавании ряда экономических дисциплин. Учебные курсы и методические пособия к ним нашли реализацию в ВУЗах республики. В течение многих лет назначался председателем и членом ГАК в ВУЗах г. Сыктывкара.

Много времени Валентин Александрович уделяет подготовке научной смены, воспитанию молодых научных работников высшей квалификации. Под его руководством подготовлено и защищено шесть кандидатских диссертаций. Более ста дипломников, выпускников ВУЗов защитили дипломные работы, проекты. В настоящее время руководит аспирантами, курсовыми и дипломными проектами студентов экономистов-менеджеров.

В итоге многолетней активной научной и педагогической деятельности и достигнутых результатов В.А.Иванов награжден Почетными грамотами Совета Министров Коми АССР (1977 г.), Президиума Верховного Совета Коми АССР (1991 г.), Президиума Академии наук СССР (1974 г.), Российской академии наук и профсоюза работников

Российской академии наук (1999 г.), Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Коми (2001 г., 2009 г.), администрации г. Сыктывкара (1994 г.). В 2001 г. ему присвоено почетное звание «Заслуженный работник Республики Коми».

редколлегия

ПОТЕРИ



22 декабря 2011 г. на 80-м году жизни скончался известный ученый и организатор науки, заслуженный деятель науки Российской Федерации и Республики Коми, лауреат Государственной премии Республики Коми, главный научный сотрудник Института химии Коми НЦ УрО РАН, доктор геолого-минералогических наук, профессор

БОРИС АЛЕКСЕЕВИЧ ГОЛДИН

С 1955 г. Борис Алексеевич работал в Коми филиале АН СССР. В 1963 г. возглавил лабораторию петрографии и рудных полезных ископаемых Института геологии. Как специалист по петрологии магнитов, их формационному анализу, минерогенезу и рудообразованию, он был лидером слаженной творческой группы, защитившей фундаментальный отчет «Магматические комплексы южной части

Печорского Урала и их рудоносность».

В середине 1980-х гг. ЦНИИ материаловедения начал создавать в Сыктывкаре современный научно-производственный комплекс, где предполагалось разрабатывать и внедрять новейшие высокоэффективные технологии и материалы. Для этого планировалось построить высокотехнологичное предприятие завод «Орбита» и организовать в составе Коми филиала АН СССР научный отдел по новым материалам. Разработку нового направления взял на себя Б.А.Голдин. В мае 1985 г. в составе Отдела химии Коми филиала АН СССР он возглавил лабораторию химии и физики твердого тела. В этот период еще раз проявились незаурядные организаторские способности Бориса Алексеевича, его широкий кругозор и интуиция. Он собрал вместе физиков, геологов, химиков, которые начали работать над созданием новых видов керамических и композиционных материалов на основе неметаллических рудных формаций. Как заведующий сначала лаборатории, а затем отдела химии и физики твердого тела Института химии Коми НЦ УрО РАН, он всегда уделял особое внимание исследованию возможностей промышленного использования богатой минеральной сырьевой базы Республики Коми. На основе именно таких исследований им были изучены все основные виды минерального сырья Республики Коми, имеющие промышленно значимые месторождения: титановый лейкоксен Яреги, каолиниты Пузлы, бокситы Среднего Тимана, марганцевые родохрозиты и фарфоровые камни Приполярья, разнообразие глин. Борис Алексеевич впервые установил северо-западный уральский платино-золото-кобальт-медь-никеленосный рудный пояс, выделил новую перспективную для Урала Патокско-Саблинскую (Западно-Приполярно-Уральскую) платиноносную провинцию.

Многие инновационные разработки ученого внедрены в производство, в том числе новая перспективная форстеритовая керамика и изготовленные из нее конденсаторы и гибридные микросхемы, разработаны технологии получения электропроводящей керамики на основе маложелезистых бокситов Среднего Тимана, созданы малоотходные технологии получения жаростойких керамических и композиционных материалов с использованием минерального сырья.

При непосредственном участии Бориса Алексеевича сотрудниками лаборатории керамического материаловедения были разработаны наукоемкие перспективные технологии переработки природного минерального сырья для получения дефицитных композиционных керамических материалов и изделий – от строительной плитки и санфаянса до абразивных порошков, безвольфрамовых режущих инструментов, бронезащитных элементов и деталей для летательных аппаратов. Глубокое изучение оксикаридов и сложных оксидов титана позволило Борису Алексеевичу с сотрудниками лаборатории разработать технологии получения новых керамических материалов для твердотельной электроники и техники связи: СВЧ-диэлектриков, объемных и пленочных резисторов, ионисторов, пьезо- и сегнетоэлектриков, обладающих малыми массогабаритными характеристиками; электронных устройств, экономящих драгоценные металлы и повышающих надежность электронной техники. Созданная в лаборатории керамического материаловедения при активном участии Б.А.Голдина высокоэффективная и экологически чистая технология по переработке лейкоксенового концентрата Ярегского месторождения для получения тугоплавких материалов на основе карбонитридов и карбидов титана и кремния, на-ноламинатных композитов, обеспечит комплексное использование ценных компонентов одного из самых перспективных месторождений республики. За цикл работ «Создание научных основ перспективных технологий обогащения минерального сырья Республики Коми и получения наукоемкой товарной продукции – порошков, керамики и композитов на его основе» ученый получил Государственную премию Республики Коми.

Борис Алексеевич всегда проявлял готовность к активной общественной и научно-организационной работе. В 1978-1986 гг. он работал в Сыктывкарском госуниверситете в должности про-

фессора кафедры общей физики, а в 1984-1985 гг. был проректором по научной работе. В разное время он возглавлял местком Коми филиала АН СССР, Сыктывкарского государственного университета, с 1996 по 2006 гг. занимал должность заместителя председателя Президиума Коми научного центра.

Борис Алексеевич всегда стремился передать свои знания и научный опыт коллегам. Он подготовил большое количество учеников, высококвалифицированных специалистов. Лично и в соавторстве опубликовал более 300 научных работ, в том числе 14 монографий, более десятка патентов и несколько учебников.

Заслуги Б.А.Голдина отмечены орденом «Почета», юбилейной медалью «За доблестный труд», грамотами Верховного Совета Коми АССР, Академии наук СССР и Российской академии наук.

В нашей памяти Борис Алексеевич останется удивительно многогранной личностью – и крупный ученый, и блестящий педагог, и активный общественный деятель. Его ученики будут помнить его как талантливого руководителя и мягкого, доброго человека.

редколлегия

НАГРАДЫ

Сотрудники Коми НЦ УрО РАН, получившие государственные награды в 2011 г.



Медалью ордена «За заслуги перед Отечеством II степени» награждены: ведущий научный сотрудник Института физиологии Коми научного центра Уральского отделения РАН к.х.н. **Раиса Григорьевна Оводова** за достигнутые трудовые успехи и многолетнюю плодотворную работу; ведущий научный сотрудник Института социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми научного центра Уральского отделения РАН к.э.н. **Виталий Васильевич Терентьев** и заведующий отделом Института физиологии Коми научного центра Уральского отделения РАН д.м.н. **Евгений Рафаилович Бойко** за большие заслуги в области науки и многолетнюю плодотворную деятельность; заместитель председателя Президиума по общим вопросам Коми научного центра Уральского отделения РАН **Анатолий Афанасьевич Клименков** за заслуги в области образования, науки и большой вклад в подготовку квалифицированных специалистов.

Почетного звания «Заслуженный работник Республики Коми» удостоены к.г.н. Валерий Ишханович Акопов – в.н.с. Института социально-экономических и энергетических проблем Севера, д.б.н. Галина Виссарионовна Железнова – в.н.с. Института биологии.

Почетной грамотой Республики Коми награждены к.э.н. Юсиф Алим оглы Гаджиев – зав. лаб. Института социально-экономических и энергетических проблем Севера, Диана Тагировна Козлова – н.с. Института языка, литературы и истории, к.б.н. Сергей Калистратович Кочанов – зав. лаб. Института биологии, к.г.-м.н. Татьяна Викторовна Майдль – с.н.с. Института геологии.

Премии Правительства Республики Коми в области научных исследований вручены: д.б.н. Ие Васильевне Забоевой, к.б.н. Елене Морисовне Лаптевой, д.с.-х.н. Василию Александровичу Безносикову, д.б.н. Галине Владимировне Русановой, д.б.н. Инне Борисовне Арчевой за научную работу «Атлас почв Республики Коми»;

д.г.-м.н. Сергею Карповичу Кузнецову, к.г.-м.н. Игорю Николаевичу Бурцеву, к.г.-м.н. Владимиру Павловичу Лютоеву за цикл научных работ «Перспективные виды минерального сырья Тимано-Североуральского региона и геотехнологии»;

акад. Юрию Семеновичу Оводову, д.б.н. Сергею Владимировичу Попову, к.х.н. Раисе Григорьевне Оводовой, к.х.н. Виктории Владимировне Головченко, к.б.н. Елене Александровне Гюнтер за цикл научных работ «Пектиновые вещества Европейского Севера».

За многолетнюю безупречную работу знаком отличия «За заслуги перед Республикой Коми» награждены: чл.-корр. РАН Асхаб Магомедович Асхабов, акад. Юрий Семенович Оводов, акад. Михаил Павлович Рощевский, акад. Николай Павлович Юшкин.

За добросовестное исполнение должностных обязанностей знаком отличия «За безупречную службу Республике Коми» награждены: д.б.н. Капитолина Степановна Бобкова – г.н.с. Института биологии, д.г.-м.н. Борис Алексеевич Голдин – г.н.с. Института химии, к.э.н. Тамара Евгеньевна Дмитриева – зав. лаб. Института социально-экономических и энергетических проблем Севера, д.б.н. Ия Васильевна Забоева – г.н.с. Института биологии, к.г.-м.н. Евгений Павлович Калинин – в.н.с. Института геологии, Татьяна Николаевна Кранина – зав. учреждением РАН ДОУ ДС №47, д.г.-м.н. Эмма Ивановна Лосева – в.н.с. Института геологии, к.т.н. Николай Алексеевич Манов – в.н.с. Института социально-экономических и энергетических проблем Севера, д.и.н. Элеонора Анатольевна Савельева – г.н.с. Института языка, литературы и истории, д.г.-м.н. Николай Иосифович Тимонин – г.н.с. Института геологии, д.и.н. Владимир Иванович Чупров – г.н.с. Института языка, литературы и истории.

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 подписанные 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. *Мартынчук 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 очереди, 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 РАН

Вып.4(8)

Редактор Т.В.Цветкова
Компьютерный дизайн и стилистика Р.А.Микушев
Компьютерное макетирование Н.А.Сулейманова

Лицензия № 0047 от 10.01.1999.
Компьютерный набор. Подписано в печать 24.12.2011.
Формат бумаги 60x84¹/₈. Печать офсетная.
Усл.-печ.л. 14,75. Уч.-изд.л. 14,5. Тираж 300. Заказ № 59.

Редакционно-издательский отдел
Коми научного центра УрО РАН.
167982, ГСП, г.Сыктывкар, ул.Первомайская, 48.