

Научный журнал

Основан в 2010 г.
Выходит 4 раза в год

Учредитель
Коми научный центр
УрО РАН

ИЗВЕСТИЯ

КОМИ НАУЧНОГО ЦЕНТРА
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН

№2(6)

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. Цхада, чл.-корр. РАН Ф.Н. Юдахин

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 коммуникаций и охране культурного наследия. Свид. о регистрации 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. Слабое взаимодействие нейтрино с веществом как концентрация стандартной электрослабой модели..... 4
- С.В. Некипелов, А.С. Виноградов, В.Н. Сивков. Закономерности в распределениях сил осцилляторов атомов второго периода в ультрамягкой рентгеновской области спектра12

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Б.Н. Дудкин, А.Ю. Бугаева, Г.Г. Зайнуллин. Особенности спекания ксерогеля состава «гексаалюминат лантана – оксид иттрия», полученного золь-гель способом19
- М.А. Рязанов. Кислотно-основные свойства поверхности оксидных материалов.....25

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Е.Н. Мелехина. Таксономическое разнообразие и ареалогия орибатид (oribatei) европейского севера России.....30
- Г.В. Русанова. Динамические аспекты почвообразования в Большеземельской тундре.....38
- В.П. Нужный, Н.А. Киблер, А.С. Цветкова, Д.Н. Шмаков, П.В. Нужный, С.В. Панько. Интегративный анализ взаимодействия электростимуляционной системы и сердца.....45

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Д.А. Бушнев. Низкомолекулярные продукты пиролиза керогена.....53
- В.А. Петровский, В.П. Филоненко, А.Е. Сухарев. Использование нитрида бора в кристаллогенетических экспериментах формирования карбонадоподобных агрегатов.....58
- А.М. Асхабов, Д.В. Рундквист, В.И. Силаев. Н.П.Юшкин: труд, поиск, жизнь.....64

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Ю.Г. Смирнов. Численное моделирование некоторых прикладных задач теории переноса гамма-излучения.....72
- Н.П. Богданов, М.Ю. Демина, Л.С. Полутрудова. Моделирование ползучести биологических тканей76

ИСТОРИКО-ФИЛОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Т.Л. Кузнецова. Постигание жизни в поисках новых форм (об одной из тенденций развития коми прозы рубежа XX – XXI вв.)80
- В.В. Понарядов. Развитие вокализма финно-угорских а- и ä-основ в пермских языках.....85

ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

- Т.В. Тихонова. Лесная сертификация – инструмент социально-экологической ответственности предприятий90
- А.А. Харевский. Арктическая политика Канады: трансформация подхода к управлению северными территориями.....97

РЕЦЕНЗИИ

- Н.Л. Рогалина. Власть и аграрные реформы в России XX в.103

- ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТДЕЛ (ЮБИЛЕИ)107

C O N T E N T S

PHYSICAL And MATHEMATICAL SCIENCES

N.A. Gromov. Rare interactions of neutrinos with matter as contraction of the standard electroweak model	4
S.V. Nekipelov, A.S. Vinogradov, V.N. Sivkov. Regularities in oscillator strength distributions of second row atoms in ultra soft X-ray range spectrum.....	12

CHEMICAL SCIENCES

B.N. Dudkin, A.Yu. Bugaeva, G.G. Zaynullin. Some specifics of sintering lanthanum hexaaluminate – yttrium oxide xerogels, synthesized by sol-gel method.....	19
M.A. Ryazanov. Acid-base properties of the surface of oxide materials.....	25

BIOLOGICAL SCIENCES

E.N. Melekhina. Taxonomic diversity and areology of oribatid mites (oribatei) of the European North of Russia	30
G.V. Rusanova. Dynamic aspects of soilformation in the Bolshezemelskaya tundra.....	38
V.P. Nuzhny, N.A. Kibler, A.S. Tsvetkova, D.N. Shmakov, P.V. Nuzhny, S.V. Panyko. The combined analysis of the interaction of electrocardiostimulating system and the heart	45

GEOLOGICAL And MINERALOGICAL SCIENCES

D.A. Bushnev. Low molecular weight products of kerogen pyrolysis.....	53
V.A. Petrovsky, V.P. Filonenko, A.E. Sukharev. Use of boron nitride in crystallogenic experiments to forming carbonado-like aggregates	58
A.M. Askhabov, D.V. Rundkvist, V.I. Silaev. N.P. Yushkin: work, search, life.....	64

TECHNICAL SCIENCES

Yu.G. Smirnov. Numerical modeling of some applied problems of the theory of carrying over of gamma radiation.....	72
N.P. Bogdanov, M.Yu. Demina, L.S. Polugrudova. Modeling of creep of biological tissues.....	76

HISTORICAL And PHILOLOGICAL SCIENCES

T.L. Kuznetsova. Comprehension of life in searches of the new forms (on one of the tendencies of development of the Komi prose on the boundary of XX-XXI centuries).....	80
V.V. Ponaryadov. The development of vocalism of Finno-Ugric <i>a</i> - and <i>d</i> -stems in the Permian Languages	85

SOCIAL SCIENCES

T.V. Tikhonova. Forest certification – instrument of social-ecological responsibility of the enterprises	90
A.A. Kharevsky. Canada's Arctic policy: transforming approach to northern territories management.....	97

REVIEWS (OPINIONS).....	103
-------------------------	-----

OFFICIAL (ANNIVERSARIES).....	107
-------------------------------	-----

УДК 539.12.01

СЛАБОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НЕЙТРИНО С ВЕЩЕСТВОМ КАК КОНТРАКЦИЯ СТАНДАРТНОЙ ЭЛЕКТРОСЛАБОЙ МОДЕЛИ

Н.А. ГРОМОВ

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

Предложена модификация электрослабой модели, в которой лептонный сектор описывается контрактированной группой $SU(2; j) \times U(1)$, а бозонный и кварковый сектора — стандартной калибровочной группой $SU(2) \times U(1)$. Все поля предельной модели делятся на два класса: нейтринные поля в слое и все остальные поля в базе расслоения. Свойства расслоенного пространства полей описываются полуримановой геометрией, в которой геометрия базы не зависит от точек слоя. Поскольку нейтринные поля находятся в слое, рассмотренная модель с малым, но тем не менее отличным от нуля, контракционным параметром, объясняет наблюдаемое на опыте слабое взаимодействие нейтрино с веществом, а также его увеличение с ростом энергии. Малый контракционный параметр связан с универсальной константой Ферми слабого взаимодействия и оценивается величиной $j_{min} \approx 10^{-3}$, когда энергия частиц измеряется в ГэВ. Модифицированную модель следует рассматривать при энергиях, заведомо более низких, чем пороги рождения калибровочных бозонов.

Ключевые слова: калибровочная теория, электрослабая модель, контракция, нейтрино

N.A. GROMOV. RARE INTERACTIONS OF NEUTRINOS WITH MATTER AS CONTRACTION OF THE STANDARD ELECTROWEAK MODEL

The modification of the electroweak model, which lepton sector corresponds to the contracted gauge group $SU(2; j) \times U(1)$ whereas boson and quark sectors are standard ones, is suggested. The field space of the model is fibered under contraction in such a way that neutrino fields are in the fiber and all other fields are in the base. Properties of the fibered field space are understood in context of semi-Riemannian geometry. For small, but different from zero contraction parameter, this model can explain why neutrinos so rarely interact with anything. Small contraction parameter is connected with the universal Fermi constant of weak interactions and is approximated as $j_{min} \approx 10^{-3}$, when energy is measured in GeV. The modified model should be considered at low energies much less than gauge bosons masses.

Key words: gauge theory, electroweak model, contraction, neutrino

Введение

Стандартная электрослабая модель взаимодействия элементарных частиц, основанная на калибровочной группе $SU(2) \times U(1)$, действующей в бозонном, лептонном и кварковом секторах, обладает предсказательной силой и дает хорошее описание электрослабых процессов. В свое время с ее помощью были предсказаны и открыты W- и Z-бозоны. На современных ускорителях ведутся поиски бозона Хиггса. Вместе с тем, недостатком стандартной модели является тот факт, что она содержит около полутора десятков свободных параметров. Однако среди них нет параметра, который а priori можно считать малым и связать с наблюдаемым на опыте чрезвычайно редким взаимодействием нейтрино с веществом — свойством, которое выделяет нейтрино всех

типов среди других элементарных частиц.

Калибровочная группа электрослабой модели представляет собой прямое произведение двух простых групп. В физике хорошо известна операция контракции групп [1], которая связана с введением специального стремящегося к нулю параметра. Эта операция преобразует, например, полупростую или простую группу в неполупростую, а для соответствующей групповой модели дает ее предельный случай. Известно, что для лучшего понимания физической системы полезно исследовать ее предельное поведение, отвечающее предельным значениям ее параметров.

Цель настоящей работы — построить такой вариант электрослабой модели, который описывает очень редкое, по сравнению с другими частицами, взаимодействие нейтрино с веществом, особен-

но при низких энергиях, а также учитывает рост этого взаимодействия при возрастании энергии. Предложена модель, в которой бозонный и кварковый сектора такие же, как в стандартной электрослабой модели, а лептонный сектор описывается контрактированной неполупростой группой $SU(2; j) \times U(1)$, где j — контракционный параметр. Предварительное обсуждение данной модели можно найти в работах [2], [3].

Калибровочные теории для неполупростых групп, алгебры Ли которых допускают невырожденную метрику, изучались в работах [4], [5]. Конструкция, приведенная в [6], основывается на наблюдении: лежащую в основе стандартной модели группу можно представить как полупрямое произведение групп $U(1)$ и $SU(2)$.

Первый раздел имеет вводный характер. В нем приводится определение полуримановой геометрии, показывается как с помощью нильпотентной образующей ее можно получить из римановой геометрии, напоминаются определение и свойства контрактированной группы $SU(2; j)$, реализованной в виде матричной группы с симметрично расставленным контракционным параметром [7]. Во втором разделе перечисляются основные этапы построения стандартной электрослабой модели. В третьем разделе находятся трансформационные свойства калибровочных нейтринных и лептонных полей и модифицируется лептонный сектор стандартной электрослабой модели в соответствии с калибровочной группой $SU(2; j) \times U(1)$ преобразованием соответствующего стандартного лагранжиана. Здесь же дается интерпретация предложенного варианта модели.

1. Полуриманова геометрия и контракция унитарной группы

Полуриманова геометрия может быть сформулирована традиционно с помощью вещественных геометрических объектов (координат, компонент метрического тензора и т.д.), а также получена из римановой геометрии переходом к нильпотентным координатам. Последний подход оказался эффективным при изучении контракций (предельных переходов) классических групп.

1.1. Однократно расслоенная полуриманова геометрия

Общая теория многократно расслоенных полуримановых пространств развита в работах Р.И. Пименова [8]– [14]. Поскольку многократно расслоенные полуримановы пространства связаны с последовательностью вложенных друг в друга проекций, каждая из которых порождает однократно расслоенную полуриманову геометрию, то для прояснения основных понятий имеет смысл ограничиться рассмотрением однократно расслоенной полуримановой геометрии [14], [15].

В гладком многообразии M_n задано гладкое расслоение $pr : M_n \mapsto M_m$ с базой M_m и слоем $pr^{-1}(N) = M_{n-m}$, $N \in M_m$. В окрестности любой точки $M \in M_n$ можно выбрать систему координат так, чтобы

$$pr(x^1, \dots, x^m, x^{m+1}, \dots, x^n) = (x^1, \dots, x^m). \quad (1)$$

Допускаются к рассмотрению только те геометрические объекты, которые согласуются с этой проекцией (расслоением), в частности, только координатные преобразования вида

$$\begin{cases} x^{\mu'} = f^{\mu'}(x^1, \dots, x^m), \\ x^{i'} = f^{i'}(x^1, \dots, x^m, x^{m+1}, \dots, x^n) \end{cases} \quad (2)$$

при обычных условиях на гладкость и на якобиан. Здесь и далее $\alpha, \beta = 1, \dots, n$, $\mu, \nu = 1, \dots, m$, $i, k = m+1, \dots, n$. Обозначая $\mathcal{D}_{\beta}^{\alpha'} = \partial_{\beta} x^{\alpha'}$, запишем матрицу преобразований (2) в виде

$$(D_{\beta}^{\alpha'}) = \begin{pmatrix} (D_{\nu}^{\mu'}) & 0 \\ (D_{i'}^{\nu'}) & (D_{k'}^{i'}) \end{pmatrix},$$

$$D_k^{\mu'} = 0, D_{k'}^{\mu} = 0, \det(D_{\nu}^{\mu'}) \neq 0, \det(D_{k'}^{i'}) \neq 0. \quad (3)$$

В базе M_m расслоения задается невырожденная (псевдо)риманова метрика $g_{\mu\nu}$, компоненты которой зависят только от координат базы $g_{\mu\nu}(x^1, \dots, x^m)$ или $\partial_i g_{\mu\nu} = 0$. В слоях M_{n-m} тоже задается невырожденная (псевдо)риманова метрика $g_{ik}(x^1, \dots, x^n)$, компоненты которой зависят от всех координат M_n . Чтобы уравнивать расслоенную геометрию с (псевдо)римановой по числу компонент метрики, вводятся компоненты $g_{\mu i} = g_{i\mu}$, зависящие от всех координат. Геометрически эти компоненты задают m -распределение

$$\omega_i = g_{\mu i} dx^{\mu} + g_{k i} dx^k = 0, \quad (4)$$

ортогональное (трансверсальное) к слою. Здесь и далее подразумевается суммирование по повторяющимся индексам. В результате метрический (флаг)тензор полуриманового пространства V_n^m имеет вид $g_{\alpha\beta} = (g_{\mu\nu}, g_{\mu i}, g_{ik})$ и преобразуется при изменениях координат (2), (3) следующим образом

$$\begin{aligned} g_{\mu'\nu'} &= g_{\mu\nu} \mathcal{D}_{\mu'}^{\mu} \mathcal{D}_{\nu'}^{\nu}, & g_{i'k'} &= g_{ik} \mathcal{D}_{i'}^i \mathcal{D}_{k'}^k, \\ g_{\mu'i'} &= g_{\mu i} \mathcal{D}_{\mu'}^{\mu} \mathcal{D}_{i'}^i + g_{k i} \mathcal{D}_{\mu'}^k \mathcal{D}_{i'}^i, \end{aligned} \quad (5)$$

что отличается от преобразования компонент метрики в невырожденной римановой или псевдоримановой геометрии. Это отличие подчеркивается названием — флагентензор.

По метрическому флагентензору $g_{\alpha\beta}$ строятся компоненты "флагаффинной связности" $\Gamma_{\beta\gamma}^{\alpha} = \Gamma_{\gamma\beta}^{\alpha}$ (символы Кристоффеля), согласующиеся с этой метрикой. Последнее означает, что для ковариантного дифференцирования ∇ относительно связности $\Gamma_{\beta\gamma}^{\alpha}$ имеют место $\nabla g_{\mu\nu} = 0$ и $\nabla g_{ik} = 0$, но условие $\nabla g_{\mu i} = 0$ не налагается. Флагаффинная связность согласуется с расслоением, что приводит к двум результатам. Во-первых, $\Gamma_{i\alpha}^{\mu} = 0$ и, во-вторых, компоненты $\Gamma_{\mu\nu}^i$ не выражаются через компоненты метрики, оставаясь совершенно произвольными функциями всех координат. В расслоенной полуримановой геометрии, в отличие от невырожденной, нет взаимно однозначного соответствия между метрикой и связностью [14].

Известно, что в римановой геометрии всегда можно в окрестности каждой фиксированной точки p выбрать систему координат так, чтобы $\partial_{\alpha} g_{\beta\gamma}(p) = 0$. В полуримановом случае это не всегда возможно.

Необходимым и достаточным условием существования такой евклидовой в точке системы координат является выполнение условий:

$$\nabla_i g_{k\mu} + \nabla_k g_{i\mu} = 0. \quad (6)$$

В этой системе координат компоненты связности обращаются в нуль в точке p : $\Gamma_{\beta\gamma}^\alpha(p) = 0$, кроме компонент $\Gamma_{\mu\nu}^i$, которые произвольны.

По компонентам связности обычным образом строится флаго-тензор кривизны $R_{\beta\gamma\delta}^\alpha$. Он также в двух отношениях отличается от риманового тензора кривизны. Во-первых, имеют место (инвариантные) условия: $R_{i\alpha\beta}^\mu = R_{\alpha i\beta}^\mu = 0$, а во-вторых, хотя $R_{\beta\gamma\delta}^\alpha$ выражается через символы Кристоффеля обычным образом, но $R_{\beta\gamma\delta}^\alpha$ через метрику $g_{\alpha\beta}$ не выражается (из-за произвольности $\Gamma_{\mu\nu}^i$).

Инвариантами полуримановой геометрии V_n^m являются:

1. Для вектора $dx = (dx^\mu, dx^i)$ общего положения его **длина в базе**

$$ds = \sqrt{g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu} = |dx|_1. \quad (7)$$

2. Для вектора, целиком лежащего в слое $\delta x = (0, \delta x^k)$, его **длина в слое**

$$ds_{(2)} = \sqrt{g_{ik} \delta x^i \delta x^k} = |\delta x|_2. \quad (8)$$

3. **Угол** между векторами общего положения $dx = (dx^\mu, dx^i)$, $dy = (dy^\mu, dy^i)$

$$\begin{aligned} \cos \varphi &= \frac{g_{\mu\nu} dx^\mu dy^\nu}{\sqrt{g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu} \sqrt{g_{\mu\nu} dy^\mu dy^\nu}} = \\ &= \frac{(\mathbf{x}, \mathbf{y})_1}{|\mathbf{x}|_1 |\mathbf{y}|_1}, \end{aligned} \quad (9)$$

векторы в базе **не коллинеарны**.

4. **Угол** между векторами общего положения $dx = (dx^\mu, dx^k)$, $dy = (dy^\mu, dy^k)$, $dz = dy - dx$,

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{\sqrt{g_{ik} (dy^i - dx^i)(dy^k - dx^k)}}{\sqrt{g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu} \sqrt{g_{\mu\nu} dy^\mu dy^\nu}} = \\ &= \frac{|dz|_2}{|dx|_1} = \frac{|dy - dx|_2}{|dx|_1}, \end{aligned} \quad (10)$$

векторы в базе **коллинеарны**.

5. **Угол** между вектором общего положения $dx = (dx^\mu, dx^i)$ и вектором в слое $\delta x = (0, \delta x^k)$

$$\begin{aligned} \psi &= \frac{g_{ik} dx^i \delta x^k + g_{\mu k} dx^\mu \delta x^k}{\sqrt{g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu} \sqrt{g_{ik} \delta x^i \delta x^k}} = \\ &= \frac{g_{ik} dx^i \delta x^k + g_{\mu k} dx^\mu \delta x^k}{|dx|_1 |\delta x|_2}. \end{aligned} \quad (11)$$

Определение 1. Совокупность описанных выше объектов с законами преобразования (2),(3) определяет полуриманову геометрию V_n^m .

Во избежание терминологических недоразумений уточним, что расслоение pr не имеет ничего общего с главным расслоением, где в слое действует какая-то группа. При последнем подходе над пространством $(x^1, \dots, x^n)$ как бы надстраивается нечто вроде касательного пространства $(dx^1, \dots, dx^n)$, и затем единый объект $(x^1, \dots, x^n, dx^1, \dots, dx^n)$ мыслится

состоящим из базы $(x^1, \dots, x^n)$ и слоя $(dx^1, \dots, dx^n)$. В полуримановой геометрии расслоение совершается в самом пространстве $(x^1, \dots, x^n)$. Поэтому не надо смешивать терминологию и методику этих двух разных расслоений.

1.2. Полуриманово пространство с нильпотентными координатами

В предыдущем разделе полуриманова геометрия строилась для вещественных объектов как структура, согласованная с расслоением. Вместе с тем, вырожденную геометрию можно реализовать с помощью нильпотентных объектов. В частности, расслоенное пространство можно получить из риманова пространства домножением координат слоя на нильпотентную единицу ι , $\iota^2 = 0$.

Получим V_n^m из риманового пространства V_n заменой $x^{m+1}, \dots, x^n$ на $\iota x^{m+1}, \dots, \iota x^n$. При этом потребуем соблюдения следующих эвристических правил: деление вещественных или комплексных чисел на ι не определено, т.е. для вещественного или комплексного a выражение $\frac{a}{\iota}$ определено только при $a = 0$, однако одинаковые нильпотентные единицы можно сокращать $\frac{\iota}{\iota} = 1$, кроме того

$$\sqrt{a^2 + \iota^2 b^2} = \begin{cases} |a|, & \text{если } a \neq 0, \\ \iota |b|, & \text{если } a = 0. \end{cases} \quad (12)$$

Замена $x^k \rightarrow \iota x^k$ индуцирует замену $g_{\mu k} \rightarrow \iota g_{\mu k}$, т.е. метрический тензор содержит нильпотентные компоненты

$$g_{\alpha\beta} = \begin{pmatrix} g_{\mu\nu} & \iota g_{\mu k} \\ \iota g_{i\nu} & g_{ik} \end{pmatrix}, \quad (13)$$

а условие его невырожденности $\det(g_{\alpha\beta}) = \det(g_{\mu\nu}) \det(g_{ik}) \neq 0$ сводится к невырожденности метрики в базе $\det(g_{\mu\nu}) \neq 0$ и в слое $\det(g_{ik}) \neq 0$.

Элементы $D_k^{\mu'} = \frac{\partial x^{\mu'}}{\partial x^k}$ матрицы преобразования заменяются на $D_k^{\mu'} = \frac{1}{\iota} \frac{\partial x^{\mu'}}{\partial x^k}$, т.е. $\frac{\partial x^{\mu'}}{\partial x^k} = 0$, а элементы $D_\mu^{i'} = \frac{\partial x^{i'}}{\partial x^\mu}$ заменяются на $\iota \frac{\partial x^{i'}}{\partial x^\mu} = \iota D_\mu^{i'}$. Поэтому преобразование дифференциалов координат запишется

$$\begin{pmatrix} dx^{\mu'} \\ \iota dx^{i'} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} D_\mu^{\mu'} & 0 \\ \iota D_\mu^{i'} & D_i^{i'} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dx^\mu \\ \iota dx^i \end{pmatrix}, \quad (14)$$

а преобразования координат принимают согласованный с расслоением вид (2),(3). Из общей формулы $g_{\alpha'\beta'} = g_{\alpha\beta} D_{\alpha'}^\alpha D_{\beta'}^\beta$ для метрики (13) с помощью матрицы (14) получаем преобразования (5) метрического тензора.

Инварианты полуриманова пространства V_n^m находятся из инвариантов риманового пространства V_n , а именно

$$\begin{aligned} ds &= \sqrt{g_{\alpha\beta} dx^\alpha dx^\beta} = \\ &= \sqrt{g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu + \iota^2 (g_{ik} dx^i dx^k + 2g_{\mu i} dx^\mu dx^i)} = \\ &= \begin{cases} \sqrt{g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu} = ds_1, & \text{если } \exists \mu \quad dx^\mu \neq 0, \\ \iota \sqrt{g_{ik} dx^i dx^k} = \iota ds_2, & \text{если } \forall \mu \quad dx^\mu = 0, \end{cases} \end{aligned} \quad (15)$$

что совпадает с (7),(8). Здесь ds_1 – длина в базе, а ds_2 – длина в слое. Легко получить инварианты (9)

и (10). Поскольку угол между вектором общего положения $dx = (dx^\mu, \iota dx^i)$ и вектором в слое $\delta x = (0, \iota \delta x^i)$ равен бесконечности, то в качестве инварианта берется дополняющий угол между ними. Он находится из формулы для синуса угла ψ дополнительного до прямого между векторами dx и δx в римановом пространстве

$$\cos\left(\frac{\pi}{2} - \psi\right) = \sin \psi = \frac{g_{\alpha\beta} dx^\alpha \delta x^\beta}{|dx| |\delta x|} \quad (16)$$

заменой $x^i \rightarrow \iota x^i$, $g_{\mu i} \rightarrow \iota g_{\mu i}$, $\psi \rightarrow \iota \psi$. Поскольку $|dx| = \sqrt{g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu} = |dx|_1$, $|\delta x| = \iota \sqrt{g_{ik} \delta x^i \delta x^k} = \iota |\delta x|_2$, $\sin \iota \psi = \iota \psi$ и $g_{\alpha\beta} dx^\alpha \delta x^\beta = g_{\alpha k} dx^\alpha \iota \delta x^k = \iota \delta x^k (g_{ik} \iota dx^i + \iota g_{\mu k} dx^\mu) = \iota^2 \delta x^k (g_{\mu k} dx^\mu + g_{ik} dx^i)$, то из (16) имеем

$$\begin{aligned} \iota \psi &= \frac{\iota^2 \delta x^k (g_{\mu k} dx^\mu + g_{ik} dx^i)}{|\delta x|_1 \iota |\delta x|_2} = \\ &= \iota \left(\frac{g_{ik} dx^i \delta x^k + g_{\mu k} dx^\mu \delta x^k}{|\delta x|_1 |\delta x|_2} \right), \end{aligned} \quad (17)$$

что совпадает с (11) после сокращения на ι .

Независимость геометрии в базе от геометрии в слое получается автоматически. Действительно, производная $\frac{1}{\iota} \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x^i}$ определена лишь при $\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x^i} = 0$, т.е. $g_{\mu\nu}(x^1, \dots, x^m)$ не зависит от x^i .

Подобным образом псевдориманово пространство ${}^p V_m$ с сигнатурой, состоящей из p плюсов и $(m - p)$ минусов, можно получить из риманова пространства V_m аналитическим продолжением локально ортогональных координат, заменив x^s на ιx^s , $s = p + 1, \dots, p$.

1.3. Контракция унитарной группы $SU(2; j)$

Преобразование риманова пространства в расслоенное полуриманово путем умножения части локально ортогональных координат на нильпотентную единицу остается в силе при нулевой кривизне, а также обобщается на случай комплексного пространства. Рассмотрение же группы преобразований пространства при такой операции приводит к контракции последней [16].

Двумерное комплексное расслоенное пространство $C_2(\iota)$ с одномерной базой $\{z_2\}$ и одномерным слоем $\{z_1\}$ получается из C_2 заменой $z_1 \rightarrow \iota z_1$. Чтобы рассматривать оба пространства C_2 и $C_2(\iota)$ одновременно, введем параметр $j = 1, \iota$ и обозначим их $C_2(j)$. Расслоенное пространство $C_2(\iota)$ имеет две эрмитовы формы: одну в базе расслоения $\bar{z}_2 z_2 = |z_2|^2$, а другую в слое $\bar{z}_1 z_1 = |z_1|^2$, где черта обозначает комплексное сопряжение. Обе формы можно записать единой формулой

$$z^\dagger z(j) = j^2 |z_1|^2 + |z_2|^2, \quad (18)$$

где $z^\dagger = (j \bar{z}_1, \bar{z}_2)$.

Определение 2. Контрактированная группа $SU(2; j)$ определяется [7] как группа преобразований

$$\begin{aligned} z'(j) &= \begin{pmatrix} j z'_1 \\ z'_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha & j \beta \\ -j \bar{\beta} & \bar{\alpha} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} j z_1 \\ z_2 \end{pmatrix} = u(j) z(j), \\ \det u(j) &= |\alpha|^2 + j^2 |\beta|^2 = 1, \quad u(j) u^\dagger(j) = 1 \end{aligned} \quad (19)$$

пространства $C_2(j)$, которая оставляет инвариантной эрмитову форму (18).

Эквивалентный и более традиционный в физике способ описания контракции группы [1] заключается в устремлении контракционного параметра к нулю $j \rightarrow 0$.

Генераторы группы $SU(2; j)$

$$\begin{aligned} T_1(j) &= j \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} = j \frac{1}{2} \tau_1, \\ T_2(j) &= \frac{j}{2} \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix} = j \frac{1}{2} \tau_2, \\ T_3(j) &= \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \tau_3, \end{aligned} \quad (20)$$

где τ_k есть матрицы Паули, удовлетворяют коммутационным соотношениям

$$\begin{aligned} [T_1(j), T_2(j)] &= -i j^2 T_3(j), \quad [T_3(j), T_1(j)] = -i T_2(j), \\ [T_2(j), T_3(j)] &= -i T_1(j) \end{aligned} \quad (21)$$

и образуют алгебру $su(2; j)$. Действия унитарной группы $U(1)$ и электромагнитной подгруппы $U(1)_{em}$ в расслоенном пространстве $C_2(\iota)$ описываются теми же самыми матрицами, что и в пространстве C_2 , а именно

$$\begin{aligned} \omega(\beta) &= e^{i\beta Y} = \begin{pmatrix} e^{i\frac{\beta}{2}} & 0 \\ 0 & e^{i\frac{\beta}{2}} \end{pmatrix}, \\ \omega_{em}(\gamma) &= e^{i\gamma Q} = \begin{pmatrix} e^{i\gamma} & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \end{aligned} \quad (22)$$

где $Y = \frac{i}{2} \mathbf{1}$, $Q = Y + T_3$.

Представления групп $SU(2; \iota)$, $U(1)$, $U(1)_{em}$ линейны, так как они реализуются линейными операторами в расслоенном пространстве $C_2(\iota)$.

2. Стандартная электрослабая модель

В описании электрослабой модели мы будем следовать книгам [17]–[19]. Стандартная электрослабая модель характеризуется лагранжианом

$$L = L_B + L_L + L_Q, \quad (23)$$

где бозонный сектор $L_B = L_A + L_\phi$ состоит из двух частей:

$$\begin{aligned} L_A &= \frac{1}{8g^2} \text{Tr}(F_{\mu\nu})^2 - \frac{1}{4} (B_{\mu\nu})^2 = \\ &= -\frac{1}{4} [(F_{\mu\nu}^1)^2 + (F_{\mu\nu}^2)^2 + (F_{\mu\nu}^3)^2] - \frac{1}{4} (B_{\mu\nu})^2 \end{aligned} \quad (24)$$

есть лагранжиан калибровочных полей, а

$$L_\phi = \frac{1}{2} (D_\mu \phi)^\dagger D_\mu \phi - V(\phi) \quad (25)$$

есть лагранжиан полей материи. Фермионный сектор складывается из лептонного L_L и кваркового лагранжианов L_Q . Лептонный лагранжиан выбирается в виде

$$\begin{aligned} L_L &= L_l^\dagger i \tilde{\tau}_\mu D_\mu L_l + e_r^\dagger i \tau_\mu D_\mu e_r - \\ &- h_e [e_r^\dagger (\phi^\dagger L_l) + (L_l^\dagger \phi) e_r], \end{aligned} \quad (26)$$

где $L_l = \begin{pmatrix} \nu_l \\ e_l \end{pmatrix}$ есть $SU(2)$ -дублет, e_r есть $SU(2)$ -синглет, h_e – константа и e_r, e_l, ν_l есть двухкомпонентные

лорентцевы спиноры. Здесь τ_μ есть матрицы Паули, $\tau_0 = \tilde{\tau}_0 = 1$, $\tilde{\tau}_k = -\tau_k$. Кварковый лагранжиан равен

$$L_Q = Q_l^\dagger i\tilde{\tau}_\mu D_\mu Q_l + u_r^\dagger i\tau_\mu D_\mu d_r - h_d[d_r^\dagger(\phi^\dagger Q_l) + (Q_l^\dagger \phi)d_r] - h_u[u_r^\dagger(\tilde{\phi}^\dagger Q_l) + (Q_l^\dagger \tilde{\phi})u_r], \quad (27)$$

где левые поля u - и d -кварков первого поколения образуют дублет $Q_l = \begin{pmatrix} u_l \\ d_l \end{pmatrix}$ относительно электрослабой группы $SU(2)$, а правые поля u_r, d_r есть $SU(2)$ -синглеты, $\tilde{\phi}_i = \epsilon_{ik}\tilde{\phi}_k$, $\epsilon_{00} = 1$, $\epsilon_{ii} = -1$ есть представление группы $SU(2)$, сопряженное к фундаментальному, наконец, h_u, h_d — это константы при массовых слагаемых. Все поля u_l, d_l, u_r, d_r есть двухкомпонентные лорентцевы спиноры.

Ковариантные производные полей материи в лагранжиане (25) имеют вид

$$D_\mu \phi = \partial_\mu \phi - ig \left(\sum_{k=1}^3 T_k A_\mu^k \right) \phi - ig' Y B_\mu \phi, \quad (28)$$

где $T_k = \frac{1}{2}\tau_k$, $k = 1, 2, 3$ есть генераторы группы $SU(2)$ (20), $Y = \frac{1}{2}1$ — генератор группы $U(1)$ и $\phi = \begin{pmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \end{pmatrix} \in C_2$. Калибровочные поля

$$A_\mu(x) = -ig \sum_{k=1}^3 T_k A_\mu^k(x), \quad \hat{B}_\mu(x) = -ig' B_\mu(x) Y \quad (29)$$

принимают значения в алгебрах Ли $su(2)$, $u(1)$, соответственно, а тензоры напряжений равны

$$F_{\mu\nu}(x) = \mathcal{F}_{\mu\nu}(x) + [A_\mu(x), A_\nu(x)], \quad \hat{B}_{\mu\nu} = \partial_\mu \hat{B}_\nu - \partial_\nu \hat{B}_\mu. \quad (30)$$

Потенциал $V(\phi)$ в (25) вводится руками и имеет специально подобранный в форме сомбреро вид

$$V(\phi) = \frac{\lambda}{4} (\phi^\dagger \phi - v^2)^2, \quad (31)$$

где λ, v — константы.

Чтобы получить массы у векторных бозонов, используется специальный механизм Хиггса. Одно из основных состояний лагранжиана L_B

$$\phi^{vac} = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{v}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}, \quad A_\mu^k = B_\mu = 0 \quad (32)$$

выбирается в качестве вакуума модели, а затем рассматриваются малые возмущения полей

$$\phi_1(x), \quad \phi_2(x) = \frac{1}{\sqrt{2}}(v + \chi(x)), \quad A_\mu^a(x), \quad B_\mu(x) \quad (33)$$

относительно этого вакуума. Матрица

$$Q = Y + T_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (34)$$

которая аннигилирует основное состояние $Q\phi^{vac} = 0$, является генератором электромагнитной подгруппы $U(1)_{em}$. Вводятся новые поля

$$W_\mu^\pm = \frac{1}{\sqrt{2}} (A_\mu^1 \mp iA_\mu^2), \quad Z_\mu = \frac{1}{\sqrt{g^2 + g'^2}} (gA_\mu^3 - g'B_\mu), \quad A_\mu = \frac{1}{\sqrt{g^2 + g'^2}} (g'A_\mu^3 + gB_\mu), \quad (35)$$

где $W_\mu^\pm$ есть комплексные $\bar{W}_\mu^- = W_\mu^+$, а Z_μ, A_μ — вещественные поля.

Бозонный лагранжиан L_B можно записать в виде

$$L_B = L_B^{(2)} + L_B^{int}. \quad (36)$$

Как обычно, члены второго порядка по полям

$$L_B^{(2)} = \frac{1}{2} (\partial_\mu \chi)^2 - \frac{1}{2} m_\chi^2 \chi^2 - \frac{1}{4} \mathcal{Z}_{\mu\nu} \mathcal{Z}_{\mu\nu} + \frac{1}{2} m_Z^2 Z_\mu Z_\mu - \frac{1}{4} \mathcal{F}_{\mu\nu} \mathcal{F}_{\mu\nu} - \frac{1}{2} \mathcal{W}_{\mu\nu}^+ \mathcal{W}_{\mu\nu}^- + m_W^2 W_\mu^+ W_\mu^-, \quad (37)$$

где $\mathcal{Z}_{\mu\nu} = \partial_\mu Z_\nu - \partial_\nu Z_\mu$, $\mathcal{F}_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu$, $\mathcal{W}_{\mu\nu}^\pm = \partial_\mu W_\nu^\pm - \partial_\nu W_\mu^\pm$, описывают спектр бозонных частиц модели, а члены более высокого порядка L_B^{int} трактуются как их взаимодействия. Таким образом, лагранжиан (37) описывает заряженные W -бозоны с равными массами $m_W = \frac{1}{2}gv$, безмассовые $m_A = 0$ фотоны A_μ , нейтральные Z -бозоны с массой $m_Z = \frac{v}{2}\sqrt{g^2 + g'^2}$ и бозон Хиггса χ , $m_\chi = \sqrt{2}\lambda v$. W - и Z -бозоны обнаружены экспериментально и имеют массы $m_W = 80\text{GeV}$, $m_Z = 91\text{GeV}$. Бозон Хиггса до настоящего времени экспериментально не обнаружен.

Ковариантные производные лептонных полей $D_\mu L_l$ в (26) даются формулой (28) при $Y = -\frac{1}{2}1$ с L_l вместо ϕ , а $D_\mu e_r = (\partial_\mu + ig'B_\mu)e_r$. Для новых полей (35) эти производные можно записать в виде

$$D_\mu e_r = \partial_\mu e_r + ig'A_\mu e_r \cos \theta_w - ig'Z_\mu e_r \sin \theta_w, \quad D_\mu = \partial_\mu - i \frac{g}{\sqrt{2}} (W_\mu^+ T_+ + W_\mu^- T_-) - i \frac{g}{\cos \theta_w} Z_\mu (T_3 - Q \sin^2 \theta_w) - ieA_\mu Q, \quad (38)$$

где $T_\pm = T_1 \pm iT_2$, а e есть заряд электрона

$$Q = Y + T_3|_{Y=-\frac{1}{2}1} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix},$$

$$e = \frac{gg'}{\sqrt{g^2 + g'^2}}, \quad g = \frac{e}{\sin \theta_w},$$

$$\cos \theta_w = \frac{g}{\sqrt{g^2 + g'^2}}, \quad \sin \theta_w = \frac{g'}{\sqrt{g^2 + g'^2}}. \quad (39)$$

Тогда лептонный лагранжиан (26) через поля электрона и нейтрино записывается в виде

$$L_L = e_l^\dagger i\tilde{\tau}_\mu \partial_\mu e_l + \nu_l^\dagger i\tilde{\tau}_\mu \partial_\mu \nu_l + e_r^\dagger i\tau_\mu \partial_\mu e_r + \frac{g}{2 \cos \theta_w} \nu_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu Z_\mu \nu_l + \frac{g}{\sqrt{2}} e_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu W_\mu^- \nu_l - e e_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu A_\mu e_l + \frac{g \cos 2\theta_w}{2 \cos \theta_w} e_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu Z_\mu e_l + \frac{g}{\sqrt{2}} \nu_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu W_\mu^+ e_l - g' \cos \theta_w e_r^\dagger \tau_\mu A_\mu e_r + g' \sin \theta_w e_r^\dagger \tau_\mu Z_\mu e_r - h_e [e_r^\dagger \phi_2^\dagger e_l + e_l^\dagger \phi_2 e_r + e_r^\dagger \phi_1^\dagger \nu_l + \nu_l^\dagger \phi_1 e_r]. \quad (40)$$

Первые три слагаемые представляют кинетические члены левого электрона, левого нейтрино и правого электрона. Последние четыре слагаемые с множителем h_e есть массовые члены электрона. Оставшиеся слагаемые описывают взаимодействия полей электрона и нейтрино с полями калибровочных бозонов $A_\mu, Z_\mu, W_\mu^\pm$.

Следующие два поколения лептонов вводятся аналогично. Они представляют собой левые $SU(2)$ -дублеты

$$\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}_l, \quad \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}_l, \quad Y = -\frac{1}{2} \quad (41)$$

и правые $SU(2)$ -синглеты

$$\mu_r, \quad \tau_r, \quad Y = -1. \quad (42)$$

Полный лептонный лагранжиан есть сумма

$$L_L = L_{L,e} + L_{L,\mu} + L_{L,\tau}, \quad (43)$$

в которой каждое слагаемое имеет структуру (40) со своими константами h_e, h_μ, h_τ .

С точки зрения электрослабых взаимодействий кварки, как и лептоны, разбиваются на три поколения. Помимо u - и d -кварков первого поколения имеются пары (c, s) и (t, b) кварков, левые поля которых

$$\begin{pmatrix} c_l \\ s_l \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} t_l \\ b_l \end{pmatrix}, \quad Y = \frac{1}{6} \quad (44)$$

описываются $SU(2)$ -дублетами, а правые поля представляют собой $SU(2)$ -синглеты

$$c_r, t_r, \quad Y = \frac{2}{3}; \quad s_r, b_r, \quad Y = -\frac{1}{3}. \quad (45)$$

Соответственно, ковариантные производные задаются формулами

$$\begin{aligned} D_\mu Q_l &= \left(\partial_\mu - ig \sum_{k=1}^3 \frac{\tau_k}{2} A_\mu^k - ig' \frac{1}{6} B_\mu \right) Q_l, \\ D_\mu a_r &= \left(\partial_\mu - ig' \frac{2}{3} B_\mu \right) a_r, \\ D_\mu f_r &= \left(\partial_\mu + ig' \frac{1}{3} B_\mu \right) f_r, \end{aligned} \quad (46)$$

где $a = u, c, t$ и $f = d, s, b$, а Q_l пробегает теперь левые поля всех трех поколений кварков. Полный кварковый лагранжиан есть сумма

$$L_Q = L_{Q,(u,d)} + L_{Q,(c,s)} + L_{Q,(t,b)}, \quad (47)$$

в которой каждое слагаемое имеет структуру (27) со своими константами $h_u, h_d, h_c, h_s, h_t, h_b$.

3. Предельный вариант лептонного сектора электрослабой модели

В стандартной электрослабой модели одна и та же калибровочная группа $SU(2) \times U(1)$ действует в бозонном, лептонном и кварковом секторах, т.е. она является группой инвариантности бозонного L_B , лептонного L_L и кваркового L_Q лагранжианов. Мы рассмотрим модель, в которой группа $SU(2) \times U(1)$ действует в бозонном и кварковом секторах, в то время как в лептонном секторе действует контрактивная группа $SU(2; j) \times U(1)$. Иными словами, бозонный (24), (25) и кварковый (27), (47) лагранжианы остаются такими же, как в стандартной модели, а лептонный лагранжиан (40), (43) изменится.

Расслоенное пространство $C_2(j)$ фундаментального представления группы $SU(2; j)$ можно получить из пространства C_2 подстановкой jz_1 вместо z_1 . Подстановка $z_1 \rightarrow jz_1$ индуцирует преобразование

генераторов алгебры Ли $T_1 \rightarrow jT_1, T_2 \rightarrow jT_2, T_3 \rightarrow T_3$. Поскольку калибровочные поля принимают значения в алгебре Ли, мы можем вместо преобразования генераторов осуществить подстановку калибровочных полей, а именно

$$A_\mu^1 \rightarrow jA_\mu^1, \quad A_\mu^2 \rightarrow jA_\mu^2, \quad A_\mu^3 \rightarrow A_\mu^3, \quad B_\mu \rightarrow B_\mu. \quad (48)$$

Для калибровочных полей (35) и соответствующих тензоров напряжений эти подстановки таковы

$$\begin{aligned} W_\mu^\pm &\rightarrow jW_\mu^\pm, \quad Z_\mu \rightarrow Z_\mu, \quad A_\mu \rightarrow A_\mu, \\ \mathcal{W}_{\mu\nu}^\pm &\rightarrow j\mathcal{W}_{\mu\nu}^\pm, \quad \mathcal{Z}_{\mu\nu} \rightarrow \mathcal{Z}_{\mu\nu}, \quad \mathcal{F}_{\mu\nu} \rightarrow \mathcal{F}_{\mu\nu}. \end{aligned} \quad (49)$$

Подчеркнем, что заменить преобразование генераторов группы преобразованием калибровочных полей можно только в лептонном лагранжиане, который строится с помощью группы $SU(2; j)$. В бозонном и кварковом лагранжианах калибровочные поля не изменяются по сравнению со стандартной моделью.

Поле $L_l = \begin{pmatrix} \nu_l \\ e_l \end{pmatrix}$ есть $SU(2)$ -дублет, поэтому его компоненты преобразуются так же, как компоненты вектора z , а именно

$$\nu_l \rightarrow j\nu_l, \quad e_l \rightarrow e_l, \quad e_r \rightarrow e_r. \quad (50)$$

Поле правого электрона e_r есть $SU(2)$ -синглет и поэтому не преобразуется.

Подстановка (49), (50) в (40) приводит к лептонному лагранжиану

$$\begin{aligned} L_L(j) &= e_l^\dagger i\tilde{\tau}_\mu \partial_\mu e_l + e_r^\dagger i\tau_\mu \partial_\mu e_r + \frac{g \cos 2\theta_w}{2 \cos \theta_w} e_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu Z_\mu e_l - \\ &\quad - e e_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu A_\mu e_l + g' \cos \theta_w e_r^\dagger \tau_\mu A_\mu e_r - \\ &\quad - g' \sin \theta_w e_r^\dagger \tau_\mu Z_\mu e_r - m_e [e_r^\dagger e_l + e_l^\dagger e_r] + \\ &\quad + j^2 \left\{ \nu_l^\dagger i\tilde{\tau}_\mu \partial_\mu \nu_l + \frac{g}{2 \cos \theta_w} \nu_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu Z_\mu \nu_l + \right. \\ &\quad \left. + \frac{g}{\sqrt{2}} \nu_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu W_\mu^+ e_l + \frac{g}{\sqrt{2}} e_l^\dagger \tilde{\tau}_\mu W_\mu^- \nu_l \right\} = L_{e,b} + j^2 L_{e,f}. \end{aligned} \quad (51)$$

Мы положили $\phi = \phi^{vac}$ в (40) и ввели обозначение для массы электрона $m_e = h_e v / \sqrt{2}$. Поля (41), (42) преобразуются аналогично (50)

$$\begin{aligned} \nu_{\mu,l} &\rightarrow j\nu_{\mu,l}, \quad \nu_{\tau,l} \rightarrow j\nu_{\tau,l}, \quad \mu_l \rightarrow \mu_l, \quad \tau_l \rightarrow \tau_l, \\ \mu_r &\rightarrow \mu_r, \quad \tau_r \rightarrow \tau_r \end{aligned} \quad (52)$$

и полный лептонный лагранжиан есть сумма

$$\begin{aligned} L_L(j) &= L_{L,e}(j) + L_{L,\mu}(j) + L_{L,\tau}(j) = \\ &= L_{L,b} + j^2 L_{L,\nu}, \end{aligned} \quad (53)$$

в которой каждое из трех слагаемых имеет структуру (51) с массой $m_q = h_q v / \sqrt{2}$, $q = e, \mu, \tau$.

Пусть контрационный параметр стремится к нулю $j^2 \rightarrow 0$, тогда вклад $L_{L,\nu}$ полей электронного, мюонного и тау нейтрино, а также их взаимодействий с остальными полями в лагранжиан (53) будет исчезающе мал по сравнению с вкладом $L_{L,b}$ полей электрона, мюона, тау-лептона и полей калибровочных бозонов.

Идеальные математические конструкции реализуются в реальных физических системах с определенной погрешностью, связанной с всегда имеющейся погрешностью измерений. В том случае, когда

параметр j мал, но отличен от нуля, полный лагранжиан модели

$$L(j) = L_B + L_Q + L_L(j) = L_r + j^2 L_\nu \quad (54)$$

разбивается на лагранжиан L_ν , который содержит нейтринные поля вместе с их взаимодействиями с калибровочными полями и полями соответствующих лептонов, и лагранжиан L_r , содержащий все остальные поля. Вклад нейтринных полей L_ν оказывается малым относительно всех других полей модели благодаря малому контракционному параметру j . Таким образом, лагранжиан (54) описывает чрезвычайно редкое взаимодействие нейтрино с веществом, особенно при низких энергиях.

С точки зрения математики пространство элементарных полей стандартной электрослабой модели расслаивается в результате контракции таким образом, что поля нейтрино всех видов оказываются в слое, в то время как все остальные поля принадлежат базе расслоения.

Чтобы избежать терминологической путаницы, подчеркнем, что мы имеем в виду локально тривиальное расслоение, которое определяется проекцией в пространстве полей. Это расслоение понимается в контексте полуримановой геометрии [8]–[14] и не имеет ничего общего с главным расслоением. Простым и наиболее известным примером такого расслоенного пространства является нерелятивистское пространство-время с одномерной базой, которая интерпретируется как ось времени, и трехмерным слоем, который интерпретируется как собственное пространство. Хорошо известно, что в нерелятивистской физике время абсолютно и не зависит от свойств пространства, в то время как свойства пространства могут меняться с течением времени. Напомним также, что псевдоевклидово пространство-время специальной теории относительности переходит в нерелятивистское пространство-время, когда размерный параметр — скорость света c — стремится к бесконечности, а безразмерный параметр $\frac{v}{c}$ стремится к нулю.

В полном лагранжиане (54) пропорциональные j^2 слагаемые (см. (53)) представляют лагранжиан L_ν в слое, а оставшиеся слагаемые образуют лагранжиан L_r в базе. Математически, свойства базы не зависят от точек слоя, однако обратное утверждение неверно, поскольку геометрия слоя зависит от точек базы. Такое соотношение свойств базы и слоя представляет собой отражение структуры полупрямого произведения контрактированной группы $SU(2; \iota)$. Появление двух лагранжианов L_r и L_ν находится в соответствии с наличием двух эрмитовых форм в расслоенном пространстве $C_2(\iota)$, которые инвариантны относительно действия калибровочной группы $SU(2; \iota)$.

Слабые взаимодействия при низких энергиях описываются эффективным четырехфермионным лагранжианом [18], который включает в себя заряженные и нейтральные токи и характеризуется константой Ферми, которая находится из эксперимента и оказывается очень малой $G_F = 10^{-5} m_p^{-2} \approx 10^{-5} \text{ ГэВ}^{-2}$, где $m_p = 0,938 \text{ ГэВ}$ — масса протона. Следующий важный факт — это то, что взаимо-

действие нейтрино с веществом не является постоянным, но зависит от энергии сталкивающихся частиц. Хорошо известно, что сечение взаимодействия нейтрино с нуклонами растет при увеличении энергии [18]. При энергии больше 1 ГэВ этот рост носит линейный характер.

Эти экспериментальные факты позволяют дать физическую интерпретацию процесса контракции как предельного процесса во взаимодействии нейтрино с веществом, происходящего при уменьшении энергии нейтрино. Далее, поскольку это взаимодействие не исчезает при нулевой энергии, логично предположить, что контракционный параметр в пределе стремится к некоторой малой, но отличной от нуля величине. Амплитуда взаимодействия слабых токов, включающих два нейтрино (см., например, [18], стр.204), после замены группы $SU(2)$ на $SU(2; j)$ домножается на j^2 . Поэтому константа Ферми, которая стоит перед этой амплитудой, как раз и есть то самое предельное значение контракционного параметра, при котором лагранжиан (54) описывает малое сечение взаимодействия нейтрино с веществом. Однако, поскольку контракционный параметр j безразмерный, необходимо ввести еще размерный параметр $G_0 = m_p^{-2} \approx 1 \text{ ГэВ}^{-2}$, тогда $j^2 G_0 = G_F = 10^{-5} m_p^{-2}$, откуда получаем оценку $j_{min}^2 \approx 10^{-5}$, когда энергия измеряется в ГэВ.

Константа Ферми связана с параметрами стандартной электрослабой модели соотношением [18]

$$\frac{G_F}{\sqrt{2}} = \frac{g^2}{2m_W^2}, \quad (55)$$

откуда, поскольку $m_W^2 = g^2 v^2 / 4$, получаем $v \approx 246 \text{ ГэВ}$. Малость константы Ферми а posteriori приводит к "большому" значению параметра v , который входит в лагранжиан через массовые слагаемые $m_q = h_q v / \sqrt{2}$ кварков, электрона, мюона, τ -лептона, где он домножается на свободные параметры h_q модели. Поскольку другие безразмерные параметры (39) примерно равны единице: $g \approx 0,65$, $g' \approx 0,35$, $e \approx 0,31$, $\sin \theta_w \approx 0,47$, то все остальные слагаемые в лагранжиане (26) (или (51) при $j = 1$), включая нейтринные поля, имеют тот же порядок. Поэтому а priori нельзя судить о величине соответствующих слагаемых. Напротив, в полном лагранжиане $L(j)$ (54) слагаемые разного порядка величины появляются благодаря контракционному параметру j , поэтому нейтринные поля, включая их взаимодействия, получаются малыми относительно всех других полей модели и их взаимодействий.

При модификации калибровочной группы лептонного сектора существует опасение, что могут быть нарушены экспериментально проверенные феноменологические следствия стандартной электрослабой модели, например, $SU(2) \times U(1)$ -баланс сил во взаимодействиях электронов и нейтрино с адронами по каналу нейтральных токов. Однако сечение такого взаимодействия при малых переданных импульсах зависит от $\xi = (\sin \theta_W)^2$ [18]. Поскольку параметр j из преобразований генераторов группы $SU(2; j) \times U(1)$ перебрасывается на преобразование полей (48), (49), то угол Вайнберга в лептонном секторе не меняется, следовательно, сохраняется и баланс сил, а также

связь между зарядами лептонов и кварков. Перенос преобразования генераторов калибровочной группы на преобразование полей означает, что все групповые соотношения в лептонном секторе такие же, как в бозонном и кварковом секторах, поэтому остаются в силе все феноменологические выводы стандартной электрослабой модели, имеющие групповую природу.

Заключение

Предложенная электрослабая модель, в которой лептонный сектор описывается контрактивной группой $SU(2; j) \times U(1)$, а бозонный и кварковый сектор — стандартной калибровочной группой $SU(2) \times U(1)$, естественным образом учитывает как величину, так и характер взаимодействия нейтрино с веществом при низких энергиях. Подчеркнем особо, что процесс контракции связан с предельным поведением электрослабой модели при уменьшении энергии взаимодействующих частиц вплоть до нулевых значений, поэтому предложенную модель следует рассматривать при энергиях, заведомо более низких, чем пороги рождения калибровочных бозонов. При увеличении энергии частиц контракционный параметр возрастает до $j = 1$, что отвечает стандартной электрослабой модели.

Математически все поля предельной модели делятся на два класса: нейтринные поля в слое и все остальные поля в базе расслоения. Свойства расслоенного пространства полей описываются полуримановой геометрией, в которой геометрия базы не зависит от точек слоя. Поскольку нейтринные поля находятся в слое, рассмотренная модель с малым, но тем не менее отличным от нуля контракционным параметром, хорошо согласуется с имеющимися экспериментальными данными по взаимодействию нейтрино с веществом. Малый контракционный параметр связан с константой Ферми слабого взаимодействия и оценивается величиной $j_{min} \approx 10^{-3}$ при измерении энергии частиц в ГэВ.

Предельный вариант бозонного сектора электрослабой модели обсуждался в работах [20], [21]. В работе [22] рассмотрена модель, в которой группа $SU(2; j) \times U(1)$ действует в бозонном и лептонном секторах. При этом в слой, помимо нейтринных полей, попадают калибровочные поля $W^\pm$ -бозонов. Если и кварковый сектор инвариантен относительно этой группы, то к ним добавятся поля u -, c - и t -кварков. Выбор между этими вариантами возможен при наличии детальной информации о взаимодействии элементарных полей.

Работа поддержана программой Президиума РАН "Фундаментальные проблемы нелинейной динамики".

Литература

1. Inonu E., Wigner E.P. On the contraction of groups and their representations // Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1953. Vol. 39. P. 510-524.
2. Громов Н.А. Контракция электрослабой модели и нейтрино. Сыктывкар, 2010. 24 с. (Научные доклады / Коми науч. центр УрО РАН. Вып. 512).

3. Gromov N.A. The Electroweak Model with rarely interacted neutrinos // arXiv:1010.5512v3 [physics.gen-ph].
4. Nappi C.R., Witten E. A WZW model based on non-semisimple group // hep-th/9310112.
5. Tseytlin A.A. On gauge theories for non-semisimple groups // hep-th/9505129.
6. Sevostyanov A. Towards standard model without Higgs boson // hep-th/0702149v1.
7. Громов Н.А. Возможные контракции группы $SU(2) \times U(1)$ // Известия Коми научного центра УрО РАН, 2010. Вып. 1. С. 5-10.
8. Пименов Р.И. Алгебра флактензоров // Вестник ЛГУ, 1964. № 13. С. 150-152.
9. Пименов Р.И. К определению полуримановых пространств // Вестник ЛГУ, 1965. № 1. С. 137-140.
10. Пименов Р.И. Применение полуримановой геометрии к единой теории поля // Доклады АН СССР, 1964. Т. 157. № 4. С. 795-797.
11. Пименов Р.И. Единая аксиоматика пространств с максимальной группой движений // Литовский матем. сб., 1965. Т. 5. № 3. С. 457-486.
12. Пименов Р.И. Полуриманова геометрия // Труды семинара по векторному и тензорному анализу. МГУ, 1968. Вып. 14. С. 154-173.
13. Пименов Р.И. Полуриманова геометрия и единые теории // Проблемы гравитации. Тбилиси, 1965. С. 111-114.
14. Пименов Р.И. Основы теории темпорального универсума. Сыктывкар: Коми НЦ УрО АН СССР, 1991. 193 с.
15. Gromov N.A. The R.I. Pimenov unified gravitation and electromagnetism field theory as semi-Riemannian geometry // Ядерная физика, 2009. Т. 72. № 5. С. 837-843; arXiv: 08100349v1 [gr-qc].
16. Громов Н.А. Контракции и аналитические продолжения классических групп. Единый подход. Сыктывкар: Коми НЦ УрО АН СССР, 1990. 220 с.
17. Рубаков В.А. Классические калибровочные поля. М.: Эдиториал УРСС, 1999. 336 с.
18. Окунь Л.Б. Лептоны и кварки. М.: Эдиториал УРСС, 2005. 352 с.
19. Пескин М., Шредер Д. Введение в квантовую теорию поля. Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2001. 784 с.
20. Gromov N.A. Analog of Electroweak Model for contracted gauge group // Ядерная физика, 2010. Т. 73. № 2. С. 347-351; arXiv: 0811.4701v1 [math-ph].
21. Gromov N.A. Limiting case of modified Electroweak Model for contracted gauge group // Ядерная физика, 2011. Т. 74. № 6. С. 1-6; Phys. At. Nucl. 2011. Vol. 74. № 6. P. 908-913; arXiv:1003.1832v3 [math-ph].
22. Gromov N.A. Neutrino and contraction of Electroweak Model // arXiv:1010.5512v1 [physics.gen-ph].

Статья поступила в редакцию 22.04.2011.

УДК 537.531;535.32-34;

ЗАКОНОМЕРНОСТИ В РАСПРЕДЕЛЕНИЯХ СИЛ ОСЦИЛЛЯТОРОВ АТОМОВ ВТОРОГО ПЕРИОДА В УЛЬТРАМЯГКОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

С.В. НЕКИПЕЛОВ*, А.С. ВИНОГРАДОВ**, В.Н. СИВКОВ***

*Коми государственный педагогический институт, г.Сыктывкар

**Институт физики им. В.А. Фока, Санкт-Петербургский государственный университет, г.Санкт-Петербург

***Коми научный центр УрО РАН, г.Сыктывкар

NekipelovSV@mail.ru

В работе обсуждаются экспериментальные данные по распределению сил осцилляторов в широком спектральном интервале и в области ультрамягкого рентгеновского излучения с применением правил сумм. На основании сравнительного анализа формулируются закономерности распределения парциальных сил осцилляторов в области ближней тонкой структуры 1s-спектров поглощения атомов углерода, азота, кислорода и фтора в молекулах и твердых телах.

Ключевые слова: сечения поглощения, ближняя тонкая структура рентгеновских спектров поглощения, силы осцилляторов, «правило сумм»

S.V. NEKIPELOV, A.S. VINOGRADOV, V.N. SIVKOV. REGULARITIES IN OSCILLATOR STRENGTH DISTRIBUTIONS OF SECOND ROW ATOMS IN ULTRA SOFT X-RAY RANGE SPECTRUM

The oscillator strength distribution experimental data are discussed in the wide spectral interval and ultra soft x-ray radiation range with using the sum rules. Regularities in partial oscillator strength distribution in the range of NEXAFS 1s-absorption spectra of the carbon, nitrogen, oxygen and fluorine atoms in molecules and solid states are formulated on the basis of comparative analysis.

Key words: absorption cross sections, NEXAFS, oscillator strength, «sum rules»

Введение

Сила осциллятора является параметром, вводимым в рамках дипольного (длинноволнового) приближения, для характеристики взаимодействия излучения с веществом, связанным с сечением фотопоглощения и правилами сумм [1-3]. В условиях, когда длина волны излучения значительно превышает размеры атома, сечение фотопоглощения оказывается пропорциональным спектральной плотности силы осцилляторов $\partial f/\partial E$, что позволяет проводить непосредственное определение спектрального распределения сил осцилляторов путем интегрирования спектральной зависимости сечений поглощения, измеряемой экспериментально. Обозначая через Ψ_i и Ψ_f – волновые функции основного и возбужденного состояний электрона, запишем уравнения [1, 2], связывающие сечение и силу осцилляторов

$$\sigma_{f,i}(E) = 109,8 \text{ (Мб эВ)} \cdot df_{f,i}/dE \text{ (эВ}^{-1}\text{)} \quad (1)$$

$$f_{f,i}(E) = 2mE/\hbar^2 |(\mathbf{cr})_{f,i}|^2 = |\int \Psi_f^*(\mathbf{cr}) \Psi_i d\mathbf{r}|^2, \quad (2)$$

где $\mathbf{c}$ – вектор поляризации падающего излучения, e и m – заряд и масса электрона, $\hbar = h/2\pi$ – постоянная Планка и $E = \hbar\omega$ – энергия кванта. Кроме то-

го, в таких условиях можно пренебречь комптоновским рассеянием, которое всегда сопутствует фотопоглощению, и релятивистскими эффектами.

Длинноволновое приближение хорошо выполняется в области энергий квантов меньше нескольких десятков тысяч электрон-вольт, что на порядок превышает энергии связи 1s-уровней для таких легких атомов [4], как углерод (284.2 эВ), азот (409.9 эВ), кислород (543.1 эВ) и фтор (696.7 эВ), спектральные зависимости сечения поглощения которых в составе молекулярных (N_2 , CO_2 , CH_4 , CH_2NO_2 , NH_3 , BF_3 , CF_4) и твердотельных соединений ($NaNO_2$, $NaNO_3$, NH_4F) обсуждаются в настоящей работе. Сечения фотопоглощения в областях энергий много больших порога ионизации внутренних уровней характеризуются степенной зависимостью от частоты излучения как $\omega^{(-7/2)}$ и могут быть с высокой точностью рассчитаны в рамках водородоподобной модели и борновского приближения. Интегральный вклад от этих высокоэнергетических областей, где длинноволновое приближение не справедливо, вносит весьма малый вклад в сумму сил осцилляторов и составляет доли процентов, что значительно ниже точности экспериментальных измерений сечений поглощения. Принимая во вни-

мание вышесказанное, можно считать данные экспериментальных измерений распределения сил осцилляторов для соединений, состоящих из атомов II периода C, N, O и F, соответствующими дипольному приближению и сравнивать их интегральные величины в широком спектральном интервале с правилами сумм. Важнейшим из правил сумм является правило Томаса-Рейхе-Куна (ТРК) или «золотое правило сумм» о сумме сил осцилляторов по всем переходам $n \rightarrow n'$ из определенного состояния атома n в какое-либо состояние из полного набора собственных функций n' , которое справедливо для произвольного атома, молекулы или квазимолекулы в твердом теле, для любого направления поляризации излучения. Если N – полное число электронов в системе, тогда правило ТРК запишется так:

$$S_0 = \sum f_{n',n} = N. \quad (3)$$

Помимо этого для атомов вводятся и другие интегральные соотношения, связывающие сечения поглощения и силы осцилляторов со средними характеристиками атома, которые являются моментами распределения сил осцилляторов S_r ($r = \pm 1, \pm 2 \dots$) по энергии E :

$$S_r = \sum (E_{n'})^r f_{n',n}. \quad (4)$$

Правила сумм, в особенности правило (3), широко используются для тестирования различных приближенных методов теоретического описания процесса фотопоглощения, согласования результатов, полученных разными методами, оценки справедливости длинноволнового приближения. В данной работе «золотое правило сумм» применяется для оценки достоверности экспериментальных данных по сечениям поглощения и распределений сил осцилляторов ряда соединений как в широком спектральном интервале, так и в ультрамягкой рентгеновской области спектра.

Экспериментальная часть

В настоящей работе проводится сопоставление и анализ экспериментальных данных по спектральным зависимостям сечений поглощения в ультрамягкой рентгеновской области спектра, измеренных непосредственно авторами N_2 [5], CO_2 [6], CF_4 , CH_4 [7], CH_2NO_2 [8], NH_3 [9], $NaNO_2$ [10], $NaNO_3$ [11], NH_4F [12], BF_3 [13]. Изучение спектрального распределения сечений поглощения указанных молекул и кристаллов в области 250-1400 эВ проводилось методом прямого фотопоглощения на рентгеновском спектрометре - монохроматоре РСМ-500 [14] с покрытой золотом вогнутой дифракционной решеткой, имеющей радиус кривизны 6 м и плотность штрихов 600 штр/мм. Сечения поглощения σ исследовались в области ближней тонкой структуры (Near edge x-ray absorption fine structure, NEXAFS) 1s-краев поглощения с использованием тормозного излучения рентгеновской трубки с вольфрамовым анодом. При этом энергетическое разрешение ΔE составляло 0.2 эВ, 0.3 эВ, 0.6 эВ и 1.0 эВ в области 1s – порога ионизации углерода, азота, кислорода и фтора, соответственно. Сечения поглощения в широком интервале энергий квантов 250 - 1500 эВ измерялись на рентгеновских монохроматических ли-

ниях. Регистрация рентгеновского излучения осуществлялась пропорциональным счетчиком с метилалевым наполнением. Для фильтрации коротковолнового излучения использовались зеркала с алюминиевым, титановым, полистирольным и золотым покрытиями, установленными под различными углами к падающему пучку [15]. Исследуемый газ напускался в газовую кювету длиной $l = 30$ мм с титановыми вакуумно-плотными разделительными пленками на окнах общей толщиной 200 – 250 нм. Применение пленок титана такой толщины обеспечивало гарантированное подавление монохроматического излучения в области вакуумного ультрафиолета ($E > 20$ эВ) [16] и ультрамягкого рентгеновского излучения с энергиями выше $Ti2p$ – края поглощения (454 эВ). Давление газа в кювете варьировалось в интервале от 0,2 до 16 мм рт. ст. в процессе измерений. При этом погрешность измерения давления составляла не более 5%, а сечений поглощения 10 – 15%. Образцы из твердых веществ приготавливались методом термического испарения в вакууме на подложке из свободной титановой пленки. Для определения суммарной силы осцилляторов резонансов формы и в широкой области энергий квантов использовалось соотношение (1) между σ и спектральной плотностью силы осцилляторов. При вычислении парциальной силы осцилляторов определение вклада в поглощение валентных электронов осуществлялось путем экстраполяции σ из длинноволновой области спектра по значениям, полученным с помощью рентгеновских монохроматических линий. Для расчетов сил осцилляторов в широком спектральном интервале использовались данные других исследований [16-23]. Более подробное описание методики измерений сечений поглощения изложено в наших предыдущих работах [6-12].

Результаты и обсуждение

На рисунках 1-3 в логарифмическом масштабе приведен общий ход спектральной зависимости сечения поглощения исследованных молекул в широком интервале энергий квантов. Видно, что абсолютные сечения поглощения, измеренные в области 250 – 1500 эВ на рентгеновских характеристических линиях, согласуются с величинами, равными сумме атомных сечений поглощения [4], а также сшиваются с данными в области вакуумного ультрафиолета [16-23] и жесткого рентгеновского излучения [4]. Для молекул азота, метана, углекислого газа, аммиака и четырехфтористого углерода имеются данные по сечениям поглощения во всем спектральном интервале, что позволяет протестировать их достоверность с помощью «золотого правила сумм» (3). Интегрирование дает величины полных сил осциллятора S_0 равные 14.2 (N_2), 22.3 (CO_2), 10.8 (CH_4), 41.6 (CF_4), 9.8 (NH_3), что в пределах погрешности измерений сечений поглощения согласуются с полным числом электронов в этих молекулах 14 (N_2), 22 (CO_2), 10 (CH_4), 42 (CF_4), 10 (NH_3), и тем самым подтверждает, в частности, надежность данных по сечениям поглощения этих

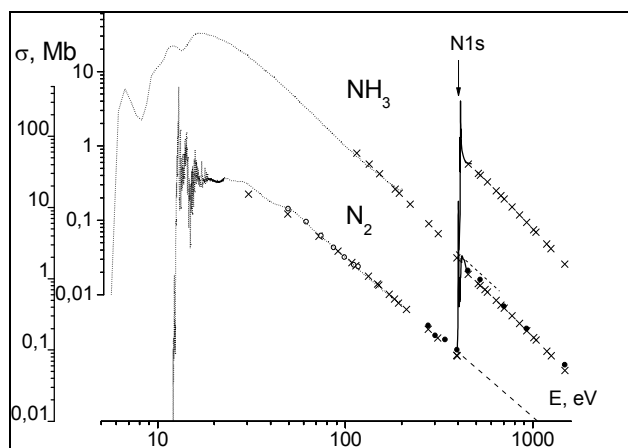


Рис.1. Спектральная зависимость сечения поглощения молекул азота и аммиака в широкой области энергий квантов. Стрелкой указано энергетическое положение N1s-порога ионизации. Сплошная линия и темные кружочки – результаты, полученные с помощью тормозного излучения и рентгеновских монохроматических линий, соответственно. Крестиками указаны σ , рассчитанные как сумма атомных сечений поглощения из таблиц [4]. Данные, взятые из литературы: точечная линия из [19] (азот) и из [20] (аммиак), а светлые кружочки из [18] (азот). Пунктирные прямые линии – экстраполяция сечения поглощения.

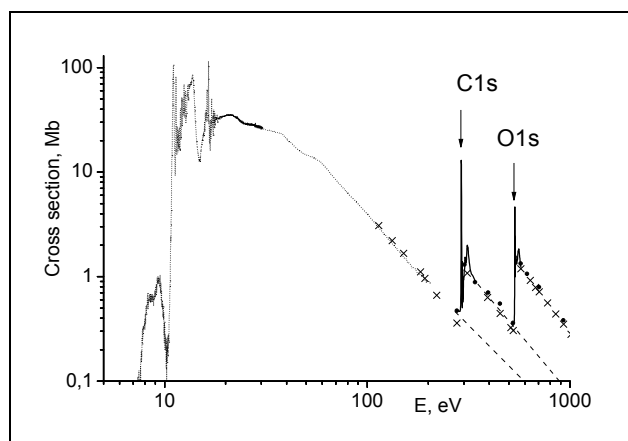


Рис.2. Спектральная зависимость сечения поглощения σ молекулы CO_2 аммиака в широкой области энергий квантов. Стрелками указаны энергетические положения 1s-порогов ионизации атомов углерода (297.5эВ) и кислорода (540.8 эВ) в CO_2 . Сплошная линия и темные кружочки – результаты, полученные с помощью тормозного излучения и рентгеновских монохроматических линий, соответственно. Крестиками указаны σ , рассчитанные как сумма атомных сечений поглощения из таблиц Хенке [4]. Данные, взятые из литературы: точечная линия [21]. Пунктирные прямые линии – экстраполяция сечения поглощения.

молекул в ультрамягкой рентгеновской области спектра. На следующем этапе рассмотрим спектральные зависимости парциальных C1s- и N1s-сечений поглощения, относящихся только к электронным переходам из C1s- и N1s-атомных уровней, которые выделяются путем экстраполяции се-

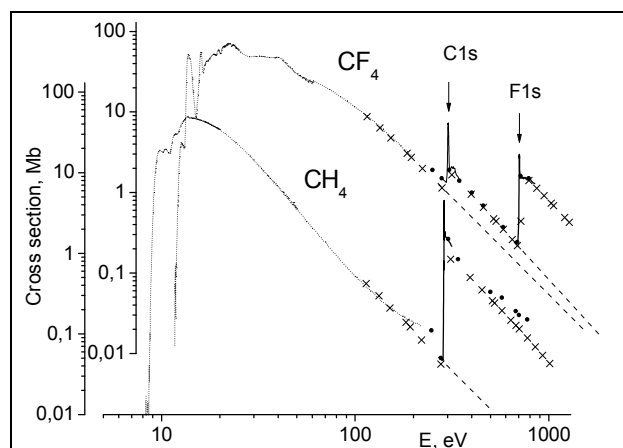


Рис.3. Спектральные зависимости сечения поглощения молекул CH_4 и CF_4 в широком интервале энергий квантов. Стрелками указаны энергетические положения 1s-порогов ионизации атомов углерода и фтора. Сплошная линия и темные кружочки – результаты данной работы, полученные с помощью тормозного излучения и рентгеновских монохроматических линий, соответственно. Крестиками указаны σ , рассчитанные как сумма атомных сечений поглощения из таблиц Хенке [4]. Точечные линии: данные взятые из литературы для молекул CH_4 [22] и CF_4 [23]. Пунктирные прямые линии – экстраполяция сечения поглощения.

чения поглощения из длинноволновых областей по степенному закону в область высоких энергий (прямые пунктирные линии на рис. 1-3). Площади между экспериментальной и экстраполированной кривыми пропорциональны 1s-парциальным интегральным силам осцилляторов S_{1s} , которые относятся только к переходам из 1s-оболочки. Измерения величин S_{1s} для C1s- и N1s-оболочек в исследованных молекулах, которые содержат одного сорта атомов, кроме водорода, показали, что их значения равны 2.3 (CH_4), 1.95 (N_2), 1.8 (NH_3), что согласуется с числом электронов на 1s-уровне, равное 2. Для вычисления сумм парциальных сил осцилляторов в указанных молекулах требуется только одна экстраполяция из предпороговой области спектра, что должно приводить к меньшим ошибкам, чем в случае более сложных молекул. Отметим, что вклад атомов водорода в сечение поглощения рентгеновского излучения этих молекул очень мал и, поэтому им можно пренебречь. Численная корреляция сумм парциальных сил осцилляторов и числа электронов в 1s-оболочке позволяет сделать вывод, что распределение парциальных сил осцилляторов для 1s-спектров поглощения атомов углерода и азота согласуется с закономерностями, предсказываемыми в рамках одноэлектронного подхода [1 – 3]. В одноэлектронном приближении электроны атома в начальном и конечном состояниях движутся в некотором усредненном центральном симметричном потенциале и их состояния описываются одноэлектронными волновыми функциями в нерелятивистском приближении. В этом случае упомянутые выше правила сумм и, в частности (3), справедливы для каждой подоболочки (nl) в отдельности:

$$S_{nl} = \sum f_{nl',nl} = N_{nl}, \quad (5)$$

где N_{nl} – число электронов в (nl) – подоболочке. Следует отметить, что количественная корреляция сумм парциальных сил осцилляторов S_{1s} для 1s-подоболочек атомов азота и углерода экспериментально подтверждается и для ряда других исследованных нами молекул и кристаллов, содержащих несколько атомов II периода CO_2 (2.0), CF_4 (1.7), CH_3NO_2 (2.3), NaNO_3 (2.1), NaNO_2 (2.2). Что является дополнительным аргументом справедливости одноэлектронного приближения в процессах фотопоглощения рентгеновского излучения 1s-электронов в атомах углерода и азота в сложных молекулярных и твердотельных соединениях. Естественно ожидать такого же явления и для парциальных 1s-спектров поглощения атомов кислорода и фтора, но к настоящему времени не имеется подтверждающих это обоснованных экспериментальных данных. Это связано с тем, что ошибка суммы S_{1s} в значительной степени зависит от точности измерений сечений поглощения в области NEXAFS 1s-спектров поглощения. Применяемая в настоящей работе для измерений сечений поглощения методика титановых абсорбционных фильтров, ограничена лишь областью энергий 225–450 эВ (интервал энергий между Ti2p-порогом ионизации и его вторым порядком), где располагаются 1s-края поглощения углерода и азота. Пороги ионизации 1s-оболочек атомов кислорода (543.1 эВ) и фтора (696.7 эВ) располагаются в области больших энергий вне этого интервала. Тем не менее, нами были проведены оценки выполнения правила ТРК для парциальных O1s- и F1s-сил осцилляторов в молекулах CO_2 , CH_3NO_2 , CF_4 и BF_3 и кристалле NH_4F . При этом учет немонотонного фона проводился по данным измерений сечений поглощения на рентгеновских характеристических линиях. Результаты показали, что значения парциальных сумм сил осцилляторов также оказываются близкими к двум: 2.1 (O1s CO_2), 2.0 (O1s CH_3NO_2), 1.7 (F1s CF_4), 1.7 (F1s BF_3) и 1.7 (F1s NH_4F).

Спектральные зависимости 1s-парциальных сечений поглощения атомов углерода, азота, кислорода и фтора, соответственно, для ряда молекулярных и кристаллических соединений приведены на рис. 4 – 9. Из них четко видно, что для спектров разных соединений при наличии очень сильного различия в интенсивностях и энергетических положениях элементов тонкой структуры в припороговых областях наблюдается близкое равенство сечений поглощения вдали от начала поглощения как между собой, так и с атомными сечениями поглощения.

Равенство числа 1s-электронов суммам S_{1s} для 1s-спектров атомов II периода углерода, азота, кислорода и фтора в разных соединениях и совпадение сечений поглощения вдали от порогов с сечениями изолированных атомов, естественным образом предполагает численную корреляцию интегральных сил осцилляторов в области NEXAFS их 1s-спектров в разных соединениях. Характерные размеры этой припороговой области можно оценить путем сопоставления парциальных зависимо-

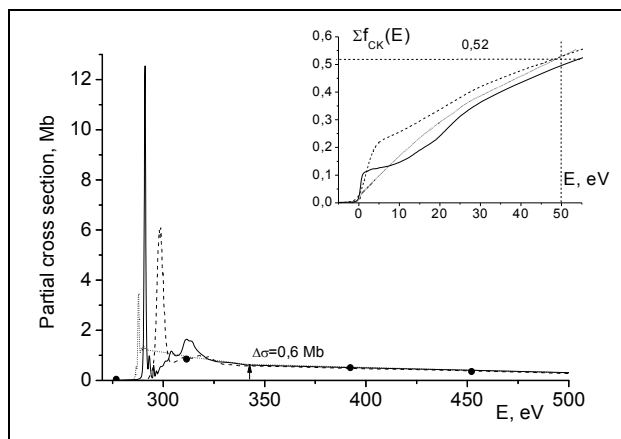


Рис.4. Парциальные сечения молекул CO_2 (сплошная линия), CF_4 (пунктирная линия) и CH_4 (точечная линия) в расчете на один атом углерода. Кругочками указаны σ , рассчитанные как сумма атомных сечений поглощения [4]. Вертикальным отрезком отмечена величина парциального сечения поглощения на 50 эВ выше от начала поглощения. На вставке приведены спектральные зависимости сумм S_{1s} – парциальных сил осцилляторов этих молекул. За начало отсчета энергетической шкалы принята энергия с длинноволновой стороны на половине интенсивности первой полосы поглощения в каждом спектре.

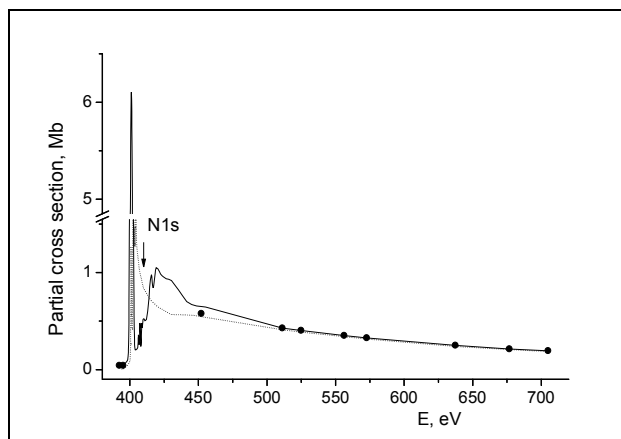


Рис.5. Парциальные сечения молекул азота и аммиака в расчете на один атом азота. Кругочками указаны σ , рассчитанные как сумма атомных сечений поглощения [4].

стей сечений поглощения и данных атомных сечений. Соответствующие спектральные сечения поглощения представлены на рис. 4 – 7, на которых эти интервалы отмечены вертикальными отрезками. Из рисунков видно, что в области энергий на 40–60 эВ выше начала поглощения в спектрах всех атомов, определенного на половине величины сечения в максимуме первой полосы поглощения, наблюдается равенство экспериментальных и атомных сечений поглощения. Оно дает основания ожидать близкого равенства величин сумм парциальных сечений поглощения в области 40–60 эВ выше 1s-края поглощения для конкретного атома

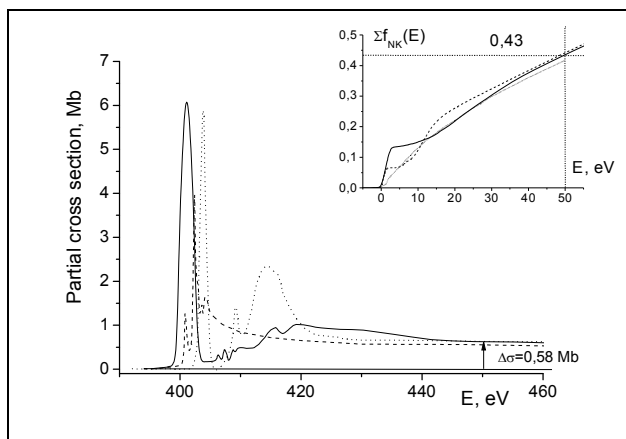


Рис.6. Парциальные сечения молекул азота N_2 (сплошная линия), аммиака NH_3 (пунктирная линия) и нитрометана CH_3NO_2 (точечная линия) в расчете на один атом азота. Вертикальным отрезком отмечена величина парциального сечения поглощения на 50 эВ выше начала поглощения.

На вставке приведены спектральные зависимости сумм $N1s$ – парциальных сил осцилляторов этих молекул. За начало отсчета энергетической шкалы принята энергия с длинноволновой стороны на половине интенсивности первой полосы поглощения в каждом спектре.

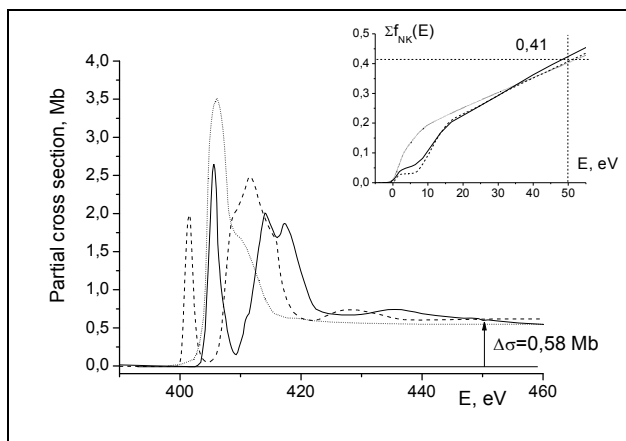


Рис.7. Парциальные сечения кристаллов $NaNO_3$ (сплошная линия), $NaNO_2$ (пунктирная линия) и NH_4F (точечная линия) в расчете на один атом азота.

На вставке приведены спектральные зависимости сумм $N1s$ – парциальных сил осцилляторов этих молекул. За начало отсчета энергетической шкалы принята энергия с длинноволновой стороны на половине интенсивности первой полосы поглощения в каждом спектре.

в разных соединениях. Это видно из рис. 6 – 9, где показаны спектральные зависимости парциальных сечений поглощения в области NEXAFS и на вставках приведены суммы парциальных сил осцилляторов. На вставках в рисунках указаны величины парциальных сумм сил осцилляторов в области NEXAFS в интервале 50 эВ выше начала поглощения, которые составляют 0.53, 0.43-0.41, 0.27 и 0.18 для $1s$ -краев поглощения атомов углерода, азота, кислорода и фтора, соответственно. На рисунках также указаны разности величин сечений перед началом поглощения на расстоянии 50 эВ выше

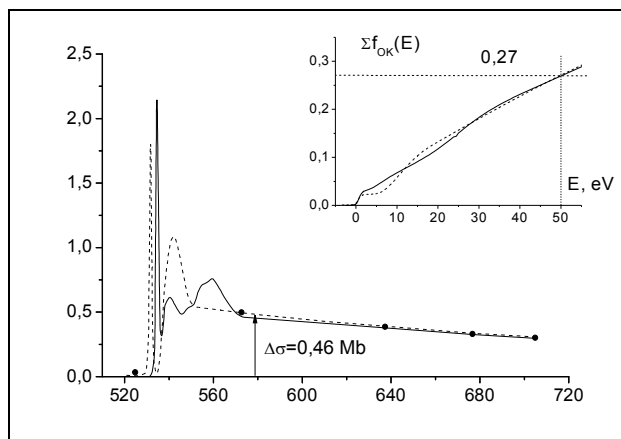


Рис.8. Парциальные сечения молекул CO_2 (сплошная линия) и CH_3NO_2 (пунктирная линия) в расчете на один атом кислорода. Кружочками указаны σ , рассчитанные как сумма атомных сечений поглощения [4].

На вставке приведены спектральные зависимости сумм $O1s$ – парциальных сил осцилляторов этих молекул. За начало отсчета энергетической шкалы принята энергия с длинноволновой стороны на половине интенсивности первой полосы поглощения в каждом спектре.

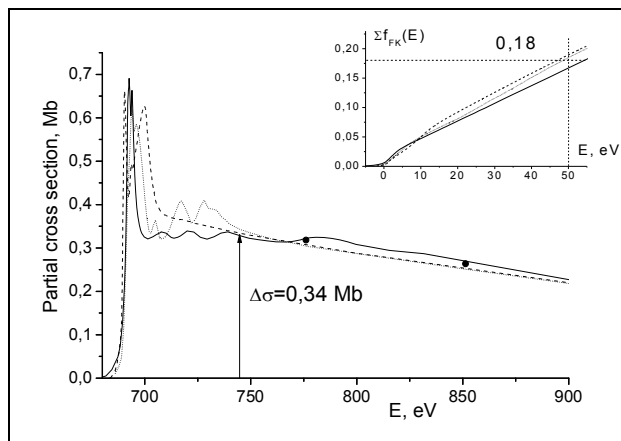


Рис.9. Парциальные сечения CF_4 (сплошная линия), BF_3 (пунктирная линия) и NH_4F (точечная линия) в расчете на один атом фтора. Кружочками указаны σ , рассчитанные как сумма атомных сечений поглощения [4].

На вставке приведены спектральные зависимости сумм $F1s$ – парциальных сил осцилляторов этих молекул. За начало отсчета энергетической шкалы принята энергия с длинноволновой стороны на половине интенсивности первой полосы поглощения в каждом спектре.

него, которые имеют значения 0.63 Мб ($C1s$), 0.58 Мб ($N1s$), 0.46 Мб ($O1s$) и 0.34 Мб ($F1s$). Существенно отметить, что уменьшение измеренных величин скачков поглощения и парциальных сумм сил осцилляторов качественно согласуются, в первом случае, с зависимостью z^{-2} при увеличении заряда ядра z от 6 до 9, а во втором, пропорционально числу незанятых состояний в $2p$ -подоболочке с уменьшением от 4 до 1 при переходе от атома углерода к атому фтора.

Заключение

Проведенные исследования показали, что для спектральных зависимостей сечений поглощения и распределения парциальных сил осцилляторов в области NEXAFS 1s – краев поглощения углерода, азота, кислорода и фтора имеет место соответствие с данными модели одноэлектронного приближения. При этом наблюдается в области 40-60 эВ выше C1s, N1s, O1s и F1s – порогов ионизации совпадение экспериментальных зависимостей сечений поглощения с атомным поведением, что позволяет экспериментально подтвердить две важные закономерности: (i) – равенство величин скачков величины поглощения сечения перед 1s- краем поглощения и в области 50 эВ выше порога ионизации для разных соединений, характерных для атомов углерода (0.63 Мб), азота (0.58 Мб), кислорода (0.46 Мб) и фтора (0.34 Мб); (ii) – равенство в разных соединениях интегральных парциальных 1s – сил осцилляторов рентгеновских переходов в области NEXAFS в интервале 50 эВ от начала поглощения, имеющих характерное значение для 1s – порога ионизации каждого атома 0.53 (углерод), 0.43-0.41 (азот), 0.27 (кислород) и 0.18 (фтор). Указанные закономерности имеют большое значение для нормировки и сравнительного анализа тонкой структуры спектров, получаемых в относительных единицах, и носят фундаментальный характер, так как позволяют приводить к абсолютной шкале сечений поглощения спектры разных соединений, исследованных косвенными методами, и после разложения NEXAFS на компоненты определять силы осцилляторов конкретных рентгеновских переходов.

Литература

1. Бете Г., Солпитер Е.Е. Квантовая механика атомов с одним и двумя электронами. М.: ГИФМЛ, 1960. 562 с.
2. Фано У., Купер Дж. Спектральное распределение сил осцилляторов в атомах. М.: Наука, 1972. 200 с.
3. Амуся М.Я. Атомный фотоэффект. М.: Наука, 1986. 272 с.
4. Henke B.L., Gullikson E.M., Davis J.C. X-ray interaction: photoabsorption, scattering, transmission and reflection at $E = 50 - 30000$ eV, $Z = 1-92$ // *Atom. Data and Nucl. Data Tables*. 1993. Vol.54. No. 2. P. 1-144.
5. Сивков В.Н., Виноградов А.С. Сила осцилляторов π_g – резонанса формы в НК – спектре поглощения молекулы азота // *Оптика и спектроскопия*, 2002. Т.93. С. 431-434.
6. Сивков В.Н., Акимов В.Н., Виноградов А.С. Припороговые резонансы в рентгеновских спектрах поглощения молекулы CO_2 // *Оптика и спектроскопия*, 1987. Т.63. Вып.2. С.275-279. Sivkov V.N., Akimov V.N., Vinogradov A.S. Near-threshold resonances in the x-ray absorption spectrum of carbon dioxide // *Optics and Spectroscopy*. 1987. Vol. 63. Issue 2. P.162-164.
7. Сивков В.Н., Акимов В.Н., Виноградов А.С., Зимкина Т.М. Сечение поглощения молекул CH_4 и CF_4 в области энергий квантов 250 - 780 эВ // *Оптика и спектроскопия*, 1986. Т.60. Вып.2. С.318-323. Sivkov V.N., Akimov V.N., Vinogradov A.S., Zimkina T.M. Absorption cross sections of CH_4 and CF_4 molecules in the 250-780-eV photon-energy range // *Optics and Spectroscopy*, 1986. Vol. 60. Issue 2. P.194-197.
8. Рентгеновские спектры поглощения молекулы нитрометана CH_3NO_2 / А.С.Виноградов, В.Н.Акимов, С.В.Некипелов, А.А.Павлычев, А.А.Бороноев, А.В.Жаденов // *Оптика и спектроскопия*, 1992. Т.72. Вып.5. С.1094-1101. X-ray absorption spectra of the nitromethane molecule CH_3NO_2 / A.S.Vinogradov, V.N.Akimov, S.V.Nekipelov, A.A.Pavlychev, A.A.Boronoev, A.V.Zhadenov // *Optics and Spectroscopy*. 1992. Vol.72. Issue 5. P.599-603.
9. Акимов В.Н., Виноградов А.С., Жаденов А.В. Распределение сил осцилляторов в молекулах N_2 и NH_3 // *Оптика и спектроскопия*, 1988. Т.65. Вып.2. С. 349-352. Akimov V.N., Vinogradov A.S., Zhadenov A.V. Resonance characteristic properties of the oscillator-strength distribution in K absorption spectra of N_2 and NH_3 molecules // *Optics and Spectroscopy*, 1988. Vol. 65. Issue 2. P.210-213.
10. Сивков В.Н. Распределение сил осцилляторов в области резонансной структуры ультрамягких рентгеновских спектров поглощения молекул и твердых тел: дис. докт. физ.-мат. наук. (С-ПбГУ). С.-Петербург, 2003. 401с.
11. Сивков В.Н., Виноградов А.С. Влияние аппаратных искажений на силы осцилляторов резонансов формы в рентгеновских спектрах поглощения // *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*, 2002. №11. С.51-55.
12. Сивков В.Н., Виноградов А.С. Распределение сил осцилляторов в области резонансной структуры НК-спектров поглощения галоидов аммония // *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*, 2002. №9. С.101-104.
13. Некипелов С.В., Акимов В.Н., Виноградов А.С. Резонансы формы в FK-спектре поглощения молекулы BF_3 // *Оптика и спектроскопия*, 1988. Т. 64. Вып.4. С.817-821. Nekipelov S.V., Akimov V.N., Vinogradov A.S. Shape resonances in the F K-absorption spectrum of the BF_3 molecule // *Optics and Spectroscopy*, 1988. Vol. 64. Issue 4. P.487-489.
14. Лукирский А.П., Брытов И.А., Комяк Н.И. Аппаратура и методы рентгеновского анализа (СКБ РА). Л., 1967. Т.2. С.4.
15. Отражение рентгеновского излучения с длинами волн от 23.6 до 190.3 Å, некоторые замечания об эффективности дифракционных решеток / А.П.Лукирский, Е.П.Савинов, О.А.Ершов, И.И.Жукова, В.А.Фомичев // *Оптика и спектроскопия*, 1965. Т.19. Вып. 3. С.425. Reflection of X-rays with Wavelengths from 23.6 to 190.3 Å. Some Remarks on the Performance of Diffraction Gratings / A.P.Lukirskii, E.P.Savinov, O.A.Ershov, I.I.Zhukova, V.A.Fomichev // *Optics and Spectroscopy*, 1965. Vol.19. P.237.

16. Зайдель Ф.Н., Шрейдер Е.Я. Спектроскопия вакуумного ультрафиолета. М.: Наука, 1967. 471 с.
17. Samson J.A.R., Cairns R.B. Total Absorption Cross Sections of H₂, N₂, and O₂ in the Region 550-200 E // J. Opt. Soc. America, 1965. Vol.55. P.1035.
18. De Reilhac M.L., Damany N. Mesure Des Coefficients D'absorption De Divers Gaz Moléculaires Dans L'ultraviolet Extrême (400-100 E). Analyse Des Courbes De Photo-ionisation Dans Le Domaine Des Énergies Notablement Supérieures A Celle Du Seuil // Journal de Physique, 1971. Vol.32. No. 10. P.C4-32.
19. Chan W.F., Cooper G., Sodhi R.N.S., Brion C.E. Absolute Optical Oscillator Strengths for Discrete and Continuum Photoabsorption of Molecular Nitrogen (11-200eV) // Chem. Physics, 1993. Vol.170. P.81-98.
20. Burton G.R., Chan W.F., Cooper G., Brion C.E. The Electronic Absorption Spectrum of NH₃ in the Valence Shell Discrete and Continuum Regions: Absolute Oscillator Strengths for Photoabsorption (5-200eV) // Chem. Physics, 1993. Vol.177. P.217-231.
21. Chan W.F., Cooper G., Brion C.E. The Electronic Spectrum of Carbon Dioxide Discrete and Continuum Photoabsorption Oscillator Strengths (6-203eV) // Chem. Physics, 1993. Vol.178. P.401-413.
22. Au J.W., Cooper G., Burton G.R., Olney T.N., Brion C.E. The Valence Shell Photoabsorption of the Linear Alkanes, C_nH_{2n+2} (n= 1-8): Absolute Oscillator Strengths // Chem. Physics, 1993. Vol.173. P. 209-239.
23. Au J.W., Burton G.R., Brion C.E. Quantitative Spectroscopic Studies of the Valence-shell Electronic Excitation of Freons (CFCl₃, CF₂Cl₂, CF₃Cl, and CF₄) in the VUV and Soft X-ray regions // Chem. Physics, 1997. Vol. 221. P. 151-168.

Статья поступила в редакцию 03.05.2011

УДК 541.182.642.666.3

ОСОБЕННОСТИ СПЕКАНИЯ КСЕРОГЕЛЯ СОСТАВА «ГЕКСААЛЮМИНАТ ЛАНТАНА – ОКСИД ИТТРИЯ», ПОЛУЧЕННОГО ЗОЛЬ-ГЕЛЬ СПОСОБОМ

Б.Н. ДУДКИН, А.Ю. БУГАЕВА, Г.Г. ЗАЙНУЛЛИН

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

Изучено влияние оксида иттрия на свойства керамического материала на основе гексаалюмината лантана. Компоненты синтезированы золь-гель способом. Установлено, что в микроструктуре керамики присутствуют частицы, обладающие структурой «ядро – оболочка». Синтез гексаалюмината лантана с использованием частиц, обладающих такой структурой, протекает при температурах 1000-1100 °С, а спекание керамики при температурах 1400-1500 °С.

Ключевые слова: золь, гель, гексаалюминат лантана, оксид иттрия, структура «ядро–оболочка», синтез, спекание

B.N. DUDKIN, A.Y. BUGAEVA, G.G. ZAYNULLIN. SOME SPECIFICS OF SINTERING LANTHANUM HEXAALUMINATE – YTTRIUM OXIDE XEROGELS, SYNTHESIZED BY SOL-GEL METHOD

We studied the effect of yttrium oxide on the properties of ceramic materials based on lanthanum hexaaluminate. Components are synthesized by sol-gel method. It was found that there are particles in the microstructure of ceramics having the "core-shell" structure. Synthesis of lanthanum hexaaluminate using particles having such a structure occurs at temperatures of 1000-1100 °C and the sintering of ceramics at temperatures of 1400-1500 °C.

Key words: sol, gel, lanthanum hexaaluminate, yttrium oxide, structure of «core – shell», synthesis, sintering

Керамика на основе гексаалюмината лантана, обладая тугоплавкостью, высокой твердостью, механической прочностью, находит применение в производстве функциональных материалов и керамических композитов [1-4]. Синтез гексаалюмината лантана, двойного оксид алюминия и лантана требует высоких более 1300 °С температур, керамический материал на его основе достигает различной степени спекания только при температурах 1500-1700°С. В этой области температур повышение на каждые 10 °С требует энергетических затрат в геометрической прогрессии.

Возможность понижения температуры синтеза гексаалюмината лантана и температуры спекания керамики на его основе позволит значительно уменьшить энергоёмкость и стоимость продукции.

Заметному снижению температуры твердофазного синтеза способствует использование ультрадисперсных порошков исходных компонентов. Понижение температуры спекания керамики, как правило, достигается введением в состав шихты специальных спекающих добавок, не приводящих к ухудшению прочностных и функциональных характеристик материала.

Оксид иттрия обладает способностью ускорять процесс спекания керамических, не только оксидного состава, материалов при более низких температурах. Спекающее действие оксида иттрия можно рассматривать в рамках двух моделей. Во-первых, можно полагать, что в основе спекающего действия оксида иттрия лежит его способность образовывать ограниченные твёрдые растворы с различными как простыми, так и сложными оксидами, входящими в состав керамического материала [5]. Во-вторых, оксид иттрия проявляет тенденцию к концентрированию на поверхности зёрен керамических материалов, блокируя массоперенос через границы зерна, что способствует спеканию основного материала внутри зерна [6-12].

Устойчивый интерес к керамическим материалам на основе гексаалюмината лантана, которые находят широкое применение в различных областях промышленности производства, обусловило проведение данного исследования. Работ, посвященных изучению влияния оксида иттрия на спекание, микроструктуру и прочностные свойства материалов на основе гексаалюмината, нами не обнаружено.

Гексаалюминат лантана, наиболее дешевый и доступный сложный оксид, подходящий для изучения влияния оксида иттрия на спекание и свойства керамических материалов на основе оксидов редких земель ввиду значительной близости их физико-химических свойств. Результаты изучения спекания керамического материала на основе гексаалюмината лантана с добавками оксида иттрия могут быть полезными при получении керамики с использованием других редкоземельных оксидов.

Гексаалюминат лантана имеет структуру β - Al_2O_3 , в которой возможно образование твердых растворов при изовалентном замещении в кристаллической решетке соединения атомов лантана на атомы иттрия, а повышенное содержание оксида иттрия в исходной смеси может приводить к сегрегации иттрия на поверхность зерна, как это происходит в глиноземе.

Цель данной работы: установить, какой из двух возможных механизмов спекающего действия оксида иттрия можно признать доминирующим при спекании керамических материалов на основе алюминатов редких земель.

Материал и методы

На первом этапе работы необходимо было решить задачу сведения к минимуму влияние размерного эффекта частиц порошков исходных компонентов на результаты спекания гексаалюмината.

Синтез частиц дисперсной фазы золя, формирующихся в процессе гидролиза растворов солей, обеспечивает высокую степень технологической гомогенности компонентов на конечной стадии их получения [13,14].

Ультрадисперсные порошки, отвечающие по составу как гексаалюминату лантана, так и гексаалюминату лантана, допированному оксидом иттрия, синтезировали методом однофазного золя. В первом случае, гидролизу подвергали раствор нитратов лантана и алюминия, во втором – смешанный раствор нитратов алюминия, лантана и иттрия. Гидролиз проводили раствором аммиака. Полученные золи переводили в гель состоянием насыщенным раствором уротропина и подвергали лиофильной сушке, в результате которой получали ксерогели, используемые в дальнейшем в качестве керамических порошков требуемого оксидного состава.

Средний размер частиц дисперсной фазы золя смешанного оксидного состава определяли по результатам измерения мутности полученных дисперсных систем (табл. 1) [15].

Таблица 1

Размеры частиц дисперсной фазы золей и полученных порошков

Состав	Золи	Порошки	
	Диаметр (d), нм	Удельная площадь ($S_{уд}$), $\text{м}^2/\text{г}$	Диаметр (d), нм
$\text{LaAl}_{11}\text{O}_{18}$	20 ± 5	100 ± 10	10 ± 3
$\text{La}_{1-x}\text{Y}_x\text{Al}_{11}\text{O}_{18}$	45 ± 7	80 ± 10	20 ± 4

Ультрадисперсные порошки, отвечающие по содержанию оксидов составам $(1-x)\text{La}_2\text{O}_3-x\text{Y}_2\text{O}_3-11\text{Al}_2\text{O}_3$, где «х» изменяется от 0 до 0,1 с шагом

0,01, получали после удаления из ксерогелей летучих компонентов обжигом при температуре 450 °С.

Оценку размера частиц в полученных порошках проводили по результатам определения величины удельной поверхности ($S_{уд}$) методом низкотемпературной адсорбции азота с последующей обработкой экспериментальных результатов по уравнениям теории БЭТ [16]. Результаты определений представлены в табл. 1.

Образцы гексаалюмината лантана в виде балочек (80×5×5 мм) и дисков ($R=15$ мм) указанных выше составов синтезированы в электрических печах на воздухе по керамической технологии. Спекание образцов керамики проводили на воздухе и в вакууме в электропечах, подъем температуры осуществляли со скоростью 5°С в мин., охлаждение образцов проводили в печи.

Влияние оксида иттрия на фазовый состав образцов и структуру гексаалюмината лантана изучали по результатам рентгенофазового анализа (РФА), прибор ДРОН–3М излучение ($\text{CuK}\alpha$), компьютерная обработка результатов.

Компьютерное моделирование влияния изоморфно-изовалентного замещения лантана на иттрий в кристаллической решетке гексаалюмината лантана на параметры элементарной ячейки проведено с использованием программ Power cell for Windows (Kraus W., Nolze G.).

Микроструктура полученной керамики изучена методом сканирующей электронной микроскопии (SEM) прибор «JSM-6400», распределение иттрия в микроструктуре керамики устанавливали по результатам микрозондового анализа (рентгеновский спектрометр фирмы Link – ISIS –300). Степень спекания образцов керамики оценивали по изменению величины кажущейся плотности и пористости образцов (ГОСТ 2409-80).

Результаты и обсуждение

Особенности строения частиц нанопорошков, полученных золь-гель способом

Размеры частиц порошков и размеры частиц дисперсных фаз золей близки и не превышают 50 нм (табл. 1). Следовательно, процесс коалесценции частиц дисперсной фазы золей и порошков, в процессе перехода золей в нанодисперсные порошки, не протекал.

Особенностью образцов гексаалюмината лантана состава $(1-x)\text{La}_2\text{O}_3-x\text{Y}_2\text{O}_3-11\text{Al}_2\text{O}_3$ с индексами $0,05 \leq x \leq 0,1$ является строение частиц порошка (рис.1). Частицы обладают структурой "ядро – оболочка", которая образуется вследствие специфической адсорбции зародышей гидроксидов лантана и иттрия (оболочка - 2), на поверхности уже сформировавшихся частиц гидроксида алюминия (ядро - 1).

Качественный элементный анализ составов "ядра" и "оболочки" частиц порошка, проведенный методом микрозонда (рис.1), показал, что "ядро" содержит 71,29% – Al_2O_3 , 22,24% – La_2O_3 и 0,09% – Y_2O_3 , это близко к расчетному составу, и иттрий в ядре распределен равномерно. "Оболочка" частицы содержит 45,15% – Al_2O_3 , 46,54% – La_2O_3 и 7,75% – Y_2O_3 , т.е. заметно обогащена по содержанию иттрия.

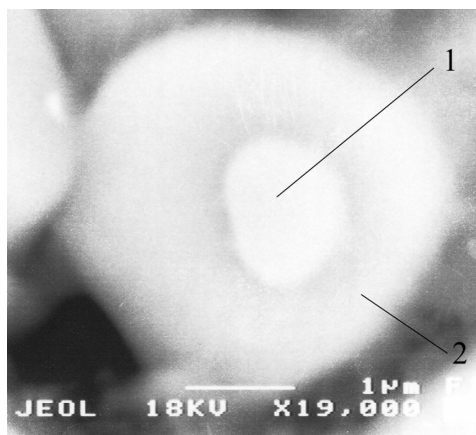


Рис.1. Структура частицы гексаалюмината лантана состава $\text{La}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{Al}_{11}\text{O}_{18}$. 1 – ядро, 2 – оболочка.

В процессе синтеза и спекания гексаалюмината лантана элементный состав керамического зерна выравнивается, однако поверхностные слои частиц гексаалюминатлантанового состава содержат небольшой избыток иттрия.

Синтез и структура гексаалюмината лантана

Гексаалюминат лантана с хорошо сформированной решеткой был синтезирован при температуре 1100°C за 2 ч. Энергия активации реакции синтеза гексаалюмината, не содержащего иттрия, рассчитанная по результатам дифференциального термического анализа [17], составляет 30 ± 1 кДж/моль. Величина энергии активации синтеза гексаалюмината лантана состава $\text{La}_{1-x}\text{Y}_x\text{Al}_{11}\text{O}_{18}$, независимо от величины «х», снижается до 27 ± 1 кДж/моль. Незначительное снижение энергии активации синтеза указывает на участие оксида иттрия в реакции синтеза гексаалюмината, вероятно, на стадии образования моноалюмината лантана, в структуру которого встраивается иттрий.

По результатам РФА гексаалюминаты, отвечающие составам $\text{La}_{1-x}\text{Y}_x\text{Al}_{11}\text{O}_{18}$, где содержание иттрия в пределах значений $0 < x \leq 0,1$, являются однофазными. Расчет параметров элементарной ячейки для данных гексаалюминатов лантана проведен в гексагональной установке. Аллюминат $\text{LaAl}_{11}\text{O}_{18}$ в гексагональной установке обладает параметрами элементарной ячейки: $a=0.556$, $c=2.203$ нм, $c/a=3.965$, за примитивную элементарную ячейку принимали призму с ребром, параллельным оси 6-го порядка и основанием в форме ромба ($a=b \neq c$, $\alpha=\beta=90^\circ$, $\gamma=120^\circ$).

Результат расчета параметров элементарных ячеек гексаалюмината лантана представлен графически в виде зависимости параметров от содержания оксида иттрия в алюминате (рис. 2).

Характер полученной зависимости позволяет сделать вывод, что параметры элементарных ячеек в анализируемых алюминатах, в пределах ошибки определения, не зависят от содержания иттрия.

Данный результат позволяет сделать вывод: в системе $(1-x)\text{La}_2\text{O}_3-x\text{Y}_2\text{O}_3-11\text{Al}_2\text{O}_3$, где «х» изменяется от 0 до 0,1, при синтезе гексаалюмината лантана

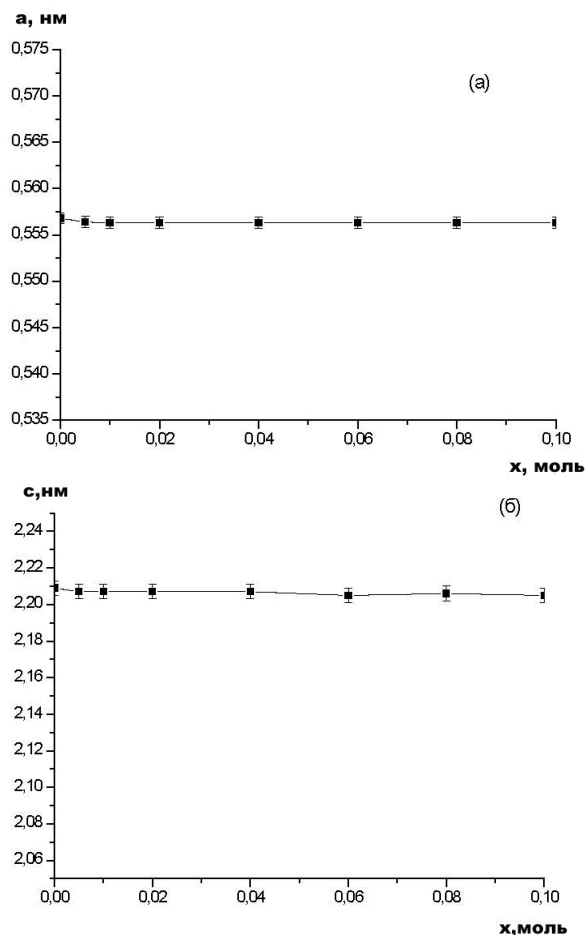


Рис. 2. Зависимость параметра a (а) и параметра c (б) элементарной ячейки гексаалюмината лантана $\text{La}_{1-x}\text{Y}_x\text{Al}_{11}\text{O}_{18}$ от содержания оксида иттрия (индекс x).

происходит изовалентное замещение лантана на иттрий, что приводит к образованию иттрий содержащего гексаалюмината лантана, величина изовалентного замещения по оксиду Y_2O_3 составляет до 0,83 мол.%. Следовательно, образование твердого раствора при спекании гексаалюминатлантановой керамики можно рассматривать как реальный механизм спекающего действия оксида иттрия.

РФА образцов гексаалюмината лантана, в которых содержание оксида иттрия отвечает значениям $x \geq 0,1$, показывает присутствие в них фазы алюмоитриевого граната состава $\text{Al}_5\text{Y}_3\text{O}_{12}$. Параметры элементарной ячейки гексаалюмината лантана в данных образцах идентичны параметрам, полученным для однофазных систем.

Спекание и микроструктура керамики

Образцы керамики с пористостью, близкой к нулевой и максимальным значением кажущейся плотности, получены при $1400 - 1500^\circ\text{C}$, время обжига существенно зависит от содержания оксида иттрия в алюминате. Для образцов, не содержащих оксид иттрия, подобный результат достигается при температуре 1750°C и времени обжига более 2 ч (табл. 2).

Таблица 2

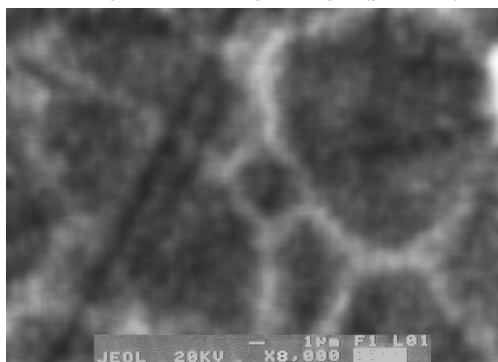
Результаты определения спекания и прочности образцов керамики на основе гексаалюмината лантана

Состав	Кажущаяся плотность ($\rho_{\text{каж.}}$), г/см ³	Энергия активации, ($E_{\text{акт}}$), кДж/моль	Прочность на изгиб, ($\sigma_{\text{изг}}$), МПа	Коэффициент интенсивного напряжения, (K_{1c}) ^{0,5} , МПа ^{0,5}
$\text{LaAl}_{11}\text{O}_{18}$	$4,200 \pm 0,002$	$5,1 \pm 0,5$	470 ± 30	9 ± 2
$\text{La}_{0,9}\text{Y}_{0,1}\text{Al}_{11}\text{O}_{18}$	$4,190 \pm 0,002$	$1,1 \pm 0,2$	660 ± 30	12 ± 2
$\text{La}_{0,8}\text{Y}_{0,2}\text{Al}_{11}\text{O}_{18}$	$4,150 \pm 0,002$	$5,8 \pm 0,5$	469 ± 30	9 ± 2

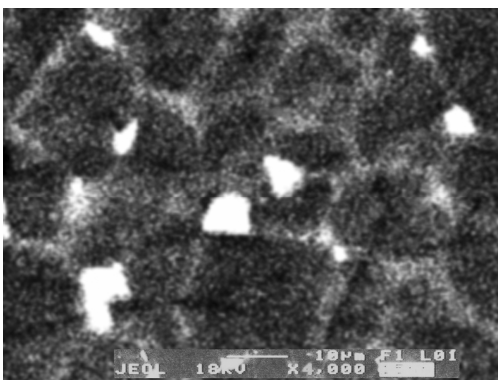
На микрофотографиях (рис. 3 а-в), полученных методом электронной сканирующей микроскопии, представлена микроструктура образцов керамики на основе гексаалюмината, содержащего оксид иттрия. Образцы, в которых индекс имеет значение («х» < 0,1), обладают иерархическим блочным строением (рис. 3а). Крупные блоки состоят из мелких, изометрических частиц, характерной чертой микроструктуры является наличие тонких прослоек, в которых повышенное содержание иттрия. В микроструктуре керамики, с содержанием иттрия в гексаалюминате по величине «х» = 0,1 (рис. 3б), присутствует фаза алюмоиттриевого граната. Присутствие фазы алюмоиттриевого граната приводит к росту энергии активации спекания.

Однако во всех случаях микроструктура керамики складывается из плотно упакованных овальных по форме зерен, с размерами в пределах 2 - 4 мкм, и пор меньшего размера (рис. 3в).

а



б



в

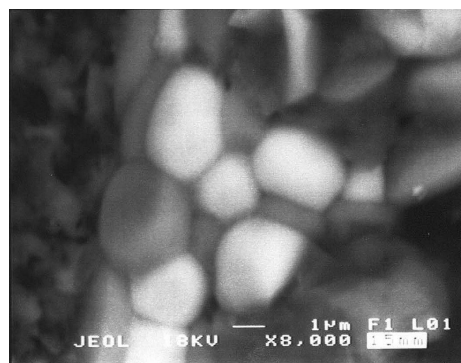


Рис. 3. Микрофотографии микроструктуры образцов гексаалюминатлантановой керамики составов: а – $\text{La}_{0,96}\text{Y}_{0,04}\text{Al}_{11}\text{O}_{18}$, б – $\text{La}_{0,9}\text{Y}_{0,1}\text{Al}_{11}\text{O}_{18}$, в – $\text{La}_{0,8}\text{Y}_{0,2}\text{Al}_{11}\text{O}_{18}$.

Результаты элементного анализа микроструктуры керамики состава $\text{La}_{0,9}\text{Y}_{0,1}\text{Al}_{11}\text{O}_{18}$ (рис.4) указывают на равномерное распределение алюминия, лантана и иттрия. При более высоком содержании оксид иттрия либо концентрируется на границах зерен, либо образует фазу алюмоиттриевого граната (рис.3.б).

Совокупность полученных результатов позволяет рассмотреть более подробно механизм влияния оксида иттрия на спекание гексаалюмината лантана, полученного по золь-гель способу.

При содержании оксида иттрия «х» ≤ 0,1 спекание гексаалюминатлантановой керамики происходит посредством внешних слоев, обогащенных иттрием, при этом энергия активации спекания незначительно понижается. Существенное повышение прочности и вязкого характера разрушения плотно спеченной керамики (табл. 2) наблюдается именно для составов, где величина «х» не более 0,1, т.е. спекание частиц, обладающих структурой "ядро – оболочка", обеспечивает повышение прочности и коэффициента вязкого характера разрушения керамики.

Величина энергии активации спекания гексаалюмината лантана, не содержащего оксида иттрия и содержащего избыток оксида иттрия (х > 0,2), довольно близки. Можно сказать, что наличие оболочки оксида иттрия на поверхности частиц гексаалюмината лантана замедляет массоперенос основного компонента через границу зерна и спекание протекает в объеме зерна. Следовательно, небольшую избыточную концентрацию иттрия на границах зерна можно рассматривать как процесс сегрегации оксида иттрия из объема зерна на поверхность частиц. Откуда следует, что в процессе спекания гексаалюминатлантановой керамики в качестве механизма спекания также реализуется сегрегация оксида иттрия на поверхность частиц.

Заключение

Наноразмерные порошки тройного оксидного состава $\text{La}_{1-x}\text{Y}_x\text{Al}_{11}\text{O}_{18}$, полученные методом однофазного золь-гель, при значениях «х» ≤ 0,1 содержат частицы, имеющие структуру "ядро – оболочка", что позволяет снизить температуру синтеза гексаалюмината лантана до 1000 – 1100 °С и температуру

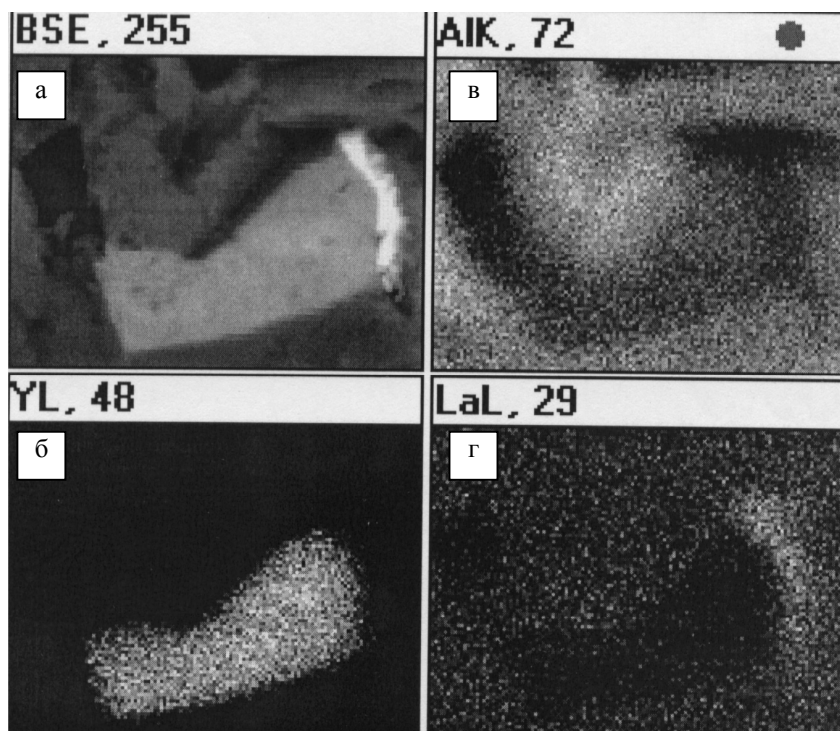


Рис. 4. Электронные микрофотографии EDX анализа гексаалюминатлантановой керамики состава $\text{La}_{0.9}\text{Y}_{0.1}\text{Al}_{11}\text{O}_{18}$: а – общий вид, б – распределение алюминия, в – распределение иттрия и г – распределение лантана.

спекания керамики до 1400-1500°C. В системе «оксид иттрия – гексаалюминат лантана» возможно образование твердых растворов изовалентного замещения, состава $\text{La}_{1-x}\text{Y}_x\text{Al}_{11}\text{O}_{18}$, в узком интервале значений « x » $\leq 0,1$, что отвечает предельной концентрации оксида иттрия 0,83 мол. %.

Спекание керамического материала на основе гексаалюмината лантана в присутствии оксида иттрия протекает в зернах, вследствие сегрегации оксида иттрия на поверхность частиц, что блокирует процесс массопереноса лантана и алюминия через границы зерна. Спекание зерен осуществляется посредством образования твердых растворов изовалентного замещения на границах керамических зёрен.

Таким образом, доминирующее влияние на спекание и прочность керамики на основе гексаалюмината лантана, содержащего оксид иттрия, оказывают частицы со структурой "ядро – оболочка". Наличие оболочки обуславливает спекание алюмината внутри зерна, препятствуя массопереносу через границу, в то же время, оболочки, обогащенные иттрием, обеспечивают спекание зерен при более низких температурах.

Работа выполнена при поддержке Программы ОХТМ РАН.

Литература

1. Портной А.Г., Тимофеева М.П. Синтез и свойства моноалюминатов редкоземельных элементов // Изв. АН СССР. Сер. Неорг. материалы, 1965. Т.1. №19. С.1598-1600.

2. Торопов Н.А., Бондарь И.А., Смолин Ю.И. Силикаты редкоземельных элементов и их аналоги. Л.: Наука, 1971. 230 с.
3. Пат. 5516348 США, МКИ⁶ С 09 C1/68 Alpha alumina-based abrasive grain/ Conwell Staley L., Wood William P. N453561. Заявл. 26.05.95. Оpubл. 14.05.96.
4. Yasuoka Masaki, Hirao Kiyoshi, Brita Manuel, Kanzaki Shuzo. High-strength and high-fracture-toughness ceramics in the $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{LaAl}_{11}\text{O}_{18}$ systems// J. Amer. Ceram. Soc. 1995. Vol. 78., No. 7. P. 1853-1856.
5. Островой Д.Ю., Гогоци Г.А., Суворов С.А., Шевчик А.П. Деформирование и разрушение керамики на основе хромита лантана // Огнеупоры и техническая керамика, 2002. №7 - 8. С.10 - 20.
6. Дудник Е.В., Зайцева З.А., Шевченко А.В., Лопато Л.М. Спекание ультрадисперсных порошков на основе диоксида циркония // Порошковая металлургия, 1995. №5/6. С.43 - 48.
7. Оя Ю. Влияние некоторых видов добавок на микроструктуру, прочность на изгиб керамики на основе титаната алюминия // Еге кекайси, 1985. Т.93. №6. С.315 - 321.
8. Косака М., Ономура Е., Хаяси К. Прочность и структура спеченных изделий из порошков нитрида кремния, оксида иттрия и оксида алюминия // Еге кекайси. 1985. Т.93. №7. С.415 - 423.
9. Gulgun M. A., Putlayev V., Ruhle M. Effects of Yttrium Doping α -alumina: 1. Microstructure and Microchemistry // J. Amer. Ceram. Soc. 1999. Vol. 82. No. 7. P. 1849 - 1856.
10. Cho J., Harmer M. P., Chan H. M., Ricman J. M. Effect of Yttrium and Lanthanum on the Tensile Creep Behavior of Aluminum Oxide // J. Amer. Ceram. Soc. 1997. Vol. 80. No. 4. P. 1013 - 1017.
11. Gulgun M., Elsasser Chr., Kostlmeier S., Ruhle M. Structure and composition of grain boundaries in α - Al_2O_3 // Amer. Ceram. Soc. 1999. P. 305.
12. Fang J, Harmer M.P., Chan H. M. Effect of Yttrium and Lanthanum on the Final - Stage Sintering Behavior of Ultrahigh - Purity Alumina // J. Amer. Ceram. Soc. 1997. Vol. 80. No. 8. P. 2005 - 2012.
13. Дудкин Б.Н., Бугаева А.Ю. Микроструктурная керамика состава "корунд-алюминат лантана", полученная по золь-гель способу // Перспективные исследования в области но-

- вых неметаллических материалов (Тр. Коми науч. центра УрО РАН. Вып. 161). Сыктывкар, 1999. С.4-11.
14. *Дудкин Б.Н., Бугаева А.Ю., Зайнуллин Г.Г.* Исследование влияния малых добавок оксида иттрия на микроструктуру и свойства лантаналюминатной керамики со структурой β -глинозема // Материалы докладов V Всероссийской научно-практической конференции "Керамические материалы: производство и применение" Москва, 28-29 мая 2003г. М., 2003. С.85-88.
15. *Фролов Ю. Г.* Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. М.: Химия, 1988. 266 с.
16. *Грег С., Синг К.* Адсорбция, удельная поверхность, пористость. М.: Мир, 1970. 407 с.
17. *Топор Н.Д., Огородова Л.П., Мельчакова Л.В.* Термический анализ минералов и неорганических соединений. М.: Изд. МГУ, 1984. 190 с.

Статья поступила 15. 04. 2011

УДК 541.18.537

КИСЛОТНО-ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ ОКСИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

М.А. РЯЗАНОВ

*Институт химии Коми НЦ УрО РАН, г.Сыктывкар
ryazanovma2007@yandex.ru*

Составлена и решена система уравнений, соответствующая 4pK модели кислотно-основных свойств поверхности оксидных материалов. Показано, что при уменьшении концентрации фоновой электролита точка нулевого заряда протонов этой поверхности сдвигается в сторону более низких значений pH в случае специфической адсорбции катионов и в сторону более высоких pH в случае специфической адсорбции анионов. Представлено обоснование метода pK-спектроскопии. На основе полученных данных построен pK-спектр, соответствующий данной модели; он состоит из двух полос, положение которых зависит от концентрации фоновой электролита.

Ключевые слова: адсорбция, адсорбенты, катализ, кислотно-основные свойства, 4pK-модель, анатаз, pK-спектры, pK-спектроскопия

M.A. RYAZANOV. ACID-BASE PROPERTIES OF THE SURFACE OF OXIDE MATERIALS

The system of equations corresponding to 4pK model of acid-base surface properties of oxide materials is composed and solved. It is shown that with decreasing of concentration of supporting electrolyte the point of zero charge of the protons of the surface is shifted toward lower pH values in case of specific adsorption of cations and toward higher pH in case of specific adsorption of anions. Substantiation of pK spectroscopy method is given. Basing on the data obtained pK-spectrum is constructed corresponding to this model, it consists of two bands, which position depends on the concentration of background electrolyte.

Key words: adsorption, adsorbents, catalysis, acid-base properties, 4pK model, anatase, the pK-spectra, the pK-spectroscopy

Кислотно-основные свойства различных материалов давно и интенсивно изучаются, главным образом, в связи с их адсорбционными и каталитическими свойствами [1 – 4].

В частности, кислотно-основной характер активных центров на поверхности оксидных минералов во многом определяет их поведение в природной среде, взаимодействие с поровым раствором, является причиной образования геохимических барьеров и существенно связан с комплексообразованием поверхности в отношении к простейшим биомолекулам в концепции генобиоза [5].

Наиболее распространенным методом изучения кислотно-основных свойств (в рамках концепции Бренстеда) оксидных материалов является потенциометрическое титрование их суспензий в водной среде. Использование неводных растворителей перспективно в отношении изучения кислотно-основных свойств в рамках концепции Льюиса. Обычно титрование проводится из кислой области в щелочную (и наоборот) добавлением к суспензии, содержащей известную концентрацию свободной сильной кислоты c_{HA} , последовательных порций

сильной щелочи с концентрацией c_{BOH} и измерением при этом pH раствора.

Кислотно-основные свойства изучаемого материала удобно охарактеризовать соответствующим pK-спектром [2, 3], представляющим собой гистограмму, площадь отдельных полос которой равна вероятности того, что характеризующая данный кислотно-основной центр величина pK_i лежит в интервале между pK_i и $pK_i + \Delta pK$. Расчет pK-спектров проводится на основании экспериментальной кривой титрования, выражающей зависимость Гиббсовой адсорбции ионов водорода на изучаемой поверхности от pH раствора (в расчете на 1 г изучаемого образца):

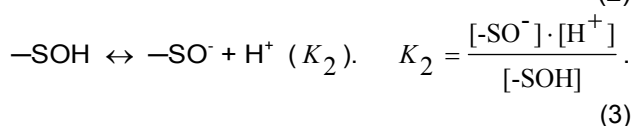
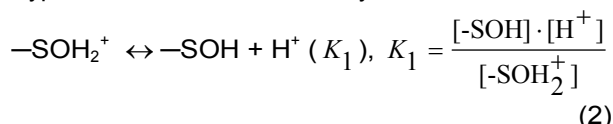
$$\Gamma_{\text{H}}(\text{pH}) = \frac{c_{\text{HA}}V_0 - c_{\text{BOH}}V - [\text{H}^+] \cdot (V_0 + V)}{m}, \text{ ммоль/г.} \quad (1)$$

Здесь V_0 – объем суспензии, взятой для титрования, концентрация одноосновной сильной кислоты в которой равна c_{HA} , V – объем добавленной щелочи с концентрацией c_{BOH} , m – масса

твердой фазы суспензии (Γ) во взятом образце. Концентрация ионов водорода в уравнении (1) рассчитывается из pH раствора по уравнению $[H^+] = 10^{-pH}$.

Интерпретация кислотно-основных свойств оксидных материалов обычно проводится в рамках концепции Дэвиса – Джеймса – Лекки [1] на основе так называемых 2рК и 4рК-моделей.

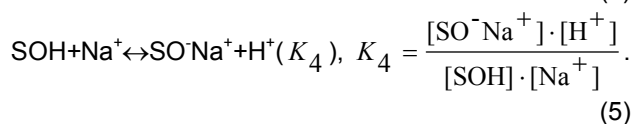
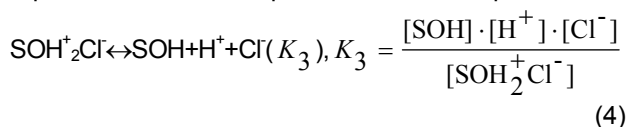
В 2рК-модели предполагается, что заряд поверхности появляется в результате ионизации поверхностных амфотерных групп $-SOH$ по следующим реакциям и описывается соответствующими им уравнениями закона действующих масс:



Здесь индекс $-S$ используется для обозначения поверхности изучаемого образца. Константы равновесия K_1 и K_2 характеризуют силу рассматриваемых кислотно-основных центров и постоянны при проведении эксперимента в условиях постоянной концентрации фоновой электролита.

В кислой области ($pH < 6$) наблюдается равновесие (2), а в щелочной ($pH > 9$) – равновесие (3).

В тех случаях, когда константы K_1 и K_2 оказываются зависящими от концентрации фоновой электролита, вместо модели 2рК используется модель 4рК. 2рК-модель – частный случай 4рК-модели, которая допускает возможность частичной нейтрализации поверхностного заряда ионами индифферентного электролита (например, NaCl), т.е. образованием на поверхности ионных пар:



Очевидно, большие значения констант K_3 и

K_4 соответствуют специфической адсорбции катионов, а малые значения – специфической адсорбции анионов.

Вообще говоря, зависимость констант K_1 и K_2 от концентрации фоновой электролита можно объяснить не только образованием ионных пар по реакциям (4) и (5), но и изменением коэффициентов активности реагирующих ионов, как это обычно делается при изучении комплексообразования в растворах.

Решая теперь систему уравнений законов действующих масс для равновесий (2), (3), (4), (5) и уравнений, выражающих условие электронейтральности раствора:

$[SOH_2^+] + [H^+] + [Na^+] - [SO^-] - [Cl^-] = 0$,
условие баланса ионов Na^+ и Cl^- в системе (считая, что в качестве фоновой электролита используется NaCl):

$$[NaCl] = [Na^+] + [SONa],$$

и

$$[NaCl] + [HCl] = [Cl^-] + [SOH_2Cl],$$

получаем следующее уравнение для расчета величины $\Gamma_H(pH)$:

$$\Gamma_H(pH) = \frac{c_{HCl} - [H^+]}{B} = \frac{(K_3 / K_1 + [NaCl])[H^+]^2 - K_3 K_4 [NaCl] - K_2 K_3}{(K_3 / K_1 + [NaCl])[H^+]^2 + K_3 [H^+] + K_3 K_4 [NaCl] + K_2 K_3} \quad (6)$$

При решении предполагалось, что $[NaCl] \approx [Na^+] \approx [Cl^-]$, что справедливо при достаточно малых количествах твердой фазы и сравнительно высоких концентрациях фоновой электролита. На рис. 1 представлен график зависимости $\Gamma_H(pH)$ для случая, когда $pK_1 = 3.2$, $pK_2 = 8.7$, $pK_3 = 4.0$, $pK_4 = 7.0$ (анатаз [6]) и при различных концентрациях NaCl. С ростом концентрации фоновой электролита кривая в данном случае смещается в сторону более меньших значений pH в области положительных величин $\Gamma_H(pH)$ и в сторону более высоких значений pH в области отрицательных значений $\Gamma_H(pH)$.

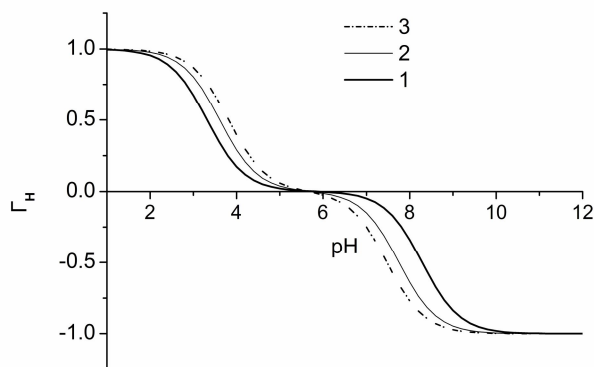


Рис. 1. Зависимость $\Gamma_H(pH)$ при различных концентрациях фоновой электролита: 1 – 0.05 М, 2 – 0.25 М, 3 – 0.5 М NaCl.

Полученная зависимость $\Gamma_H(pH)$ может быть использована для построения соответствующего рК-спектра. Полная адсорбция ионов водорода на поверхности изучаемого сорбента, очевидно, равна:

$$\Gamma_H(pH) + \Gamma_0 = \sum_i^N \Gamma_{Hi} = \sum_i^N \Gamma_i \frac{1}{1 + 10^{pH - pK_i}} \quad (7)$$

Суммирование в уравнении (7) проводится по всем ионам водорода или числу кислотно-основных центров N , находящихся на поверхности данного образца. Γ_i – полная обменная емкость i -го кислотно-основного центра, pK_i – показатель константы диссоциации этого центра (отрицательный десятичный логарифм константы диссоциации). Γ_0 – количество адсорбированных ионов водорода на изучаемой поверхности, не зависящее от pH раствора и соответствующее точке нулевого заряда протонов этой поверхности. Эту величину можно рассматривать как количество «не титруемых» в условиях проведения эксперимента ионов водорода, например, ионы водорода, входящие в состав ОН-групп на поверхности изучаемого адсорбента, когда $pK_i \rightarrow \infty$. Величины $\Gamma_H(pH)$ и Γ_0 могут быть как положительными, так и отрицательными в зависимости от положения разделяющей поверхности, которая обычно соответствует поверхности образца.

Сложность решения уравнения (7) относительно величин Γ_i обусловлена тем, что общее число N кислотно-основных центров заранее неизвестно.

Таким образом, каждое уравнение системы (7) линейно зависит от Γ_0 и N величин Γ_i , а также нелинейно от N величин pK_i . Общее число неизвестных равно $2N+1$. Для решения такой системы уравнений следует составить по меньшей мере $2N+1$ уравнений, что возможно, если экспериментальную кривую титрования аппроксимировать каким-либо сглаживающим сплайном и использовать этот сплайн для расчета величин $\Gamma_H(pH)$ при заданных значениях pH. Очевидно, стандартный метод наименьших квадратов в данном случае не подходит, тем более, что заранее известно, что величины Γ_i положительны.

Поскольку величины Γ_i являются однозначными функциями дискретного множества величин pK_i , уравнение (7) можно переписать в виде:

$$\Gamma_H(pH) = -\Gamma_0 + \sum_{i=1}^N \int_{-\infty}^{\infty} \Gamma(pK) \cdot \delta(pK - pK_i) \cdot \frac{dpK}{1 + 10^{pH - pK}}. \quad (8)$$

Здесь $\delta(pK - pK_i)$ – дельта-функция. Число уравнений вида (8) равно числу величин $\Gamma_H(pH)$, соответствующих дискретным значениям pH и определяемых с помощью выше упомянутого сплайна.

Если значения величин pK_i лежат в интервале $pK_{\min} \leq pK_i \leq pK_{\max}$, то уравнение (8) можно представить в виде:

$$\Gamma_H(pH) = -\Gamma_0 + \sum_{i=1}^N \int_{pK_{\min}}^{pK_{\max}} \Gamma(pK) \cdot \delta(pK - pK_i) \cdot \frac{dpK}{1 + 10^{pH - pK}}. \quad (9)$$

Разбивая область интегрирования на интервалы шириной ΔpK , представим каждый интеграл уравнения (9) в виде суммы:

$$\int_{pK_{\min}}^{pK_{\max}} \Gamma(pK) \cdot \delta(pK - pK_i) \cdot \frac{dpK}{1 + 10^{pH - pK}} = \sum_{j=0}^l \int_{pK_j}^{pK_j + \Delta pK} \Gamma(pK) \cdot \delta(pK - pK_i) \cdot \frac{dpK}{1 + 10^{pH - pK}}, \quad (10)$$

где $l = (pK_{\max} - pK_{\min}) / \Delta pK - 1$ – равно числу интервалов шириной ΔpK . В результате уравнение (10) принимает вид:

$$\begin{aligned} \Gamma_H(pH) = & -\Gamma_0 + \sum_{i=1}^N \sum_{j=0}^l \int_{pK_j}^{pK_j + \Delta pK} \Gamma(pK) \cdot \delta(pK - pK_i) \cdot \frac{dpK}{1 + 10^{pH - pK}} = \\ = & -\Gamma_0 + \sum_{j=0}^l \sum_{i=1}^N \int_{pK_j}^{pK_j + \Delta pK} \Gamma(pK) \cdot \delta(pK - pK_i) \cdot \frac{dpK}{1 + 10^{pH - pK}}. \end{aligned}$$

Выполняя интегрирование и суммирование по i в последнем уравнении, получаем:

$$\Gamma_H(pH) = -\Gamma_0 + \sum_{j=0}^l \alpha_j, \quad (11)$$

где α_j равно либо 0, либо $\Gamma_i \cdot \frac{1}{1 + 10^{pH - pK_i}}$,

если pK_i попадает в интервал $pK_{\min} + j\Delta pK \leq pK_i \leq pK_{\min} + (j+1)\Delta pK$, в результате чего pK_i можно аппроксимировать величиной $pK_j = pK_{\min} + j\Delta pK$, положив $\{\Gamma_i | i = 1 \dots N\} \subset \{\Gamma_j | j = 0 \dots l\}$. Окончательно уравнение (11) принимает вид:

$$\Gamma_H(pH) = \Gamma_0 \cdot (-1) + \sum_{j=0}^l \Gamma_j \frac{1}{1 + 10^{pH - (pK_{\min} + j\Delta pK)}}, \quad (12)$$

где

$$\Gamma_j = \begin{cases} 0 & \\ > 0, \text{ если} & pK_{\min} + j\Delta pK \leq pK_i \leq pK_{\min} + (j+1)\Delta pK. \end{cases}$$

Таким образом, нахождение набора чисел $\{\Gamma_j | j = 0 \dots l\}$, включающего набор чисел $\{\Gamma_i | i = 1 \dots N\}$, можно выполнить обычным методом наименьших квадратов с ограничением на положительные значения корней (алгоритм NNLS [7]), если предполагается, что Γ_i и $\Gamma_0 > 0$, на основе экспе-

риментальной зависимости $\Gamma_H(\text{pH})$. Неопределенность найденных таким образом величин $\text{p}K_i$ характеризуется шагом $\Delta \text{p}K$ изменения $\text{p}K$ и может быть снижена уменьшением этого шага и, соответственно, возрастанием числа членов l суммы по j в уравнении (12), если экспериментальную зависимость $\Gamma_H(\text{pH})$ интерполировать соответствующим сплайном. Величину $\Delta \text{p}K$ можно рассматривать как доверительный интервал для найденной таким образом величины $\text{p}K_i$. Данная задача относится к числу некорректных задач [8], и при ее решении необходимо принимать во внимание погрешность экспериментальных данных.

Результаты решения задачи удобно представлять в виде гистограммы зависимости чисел

$$q_j = \Gamma_j / \sum_{i=0}^l \Gamma_i$$

от соответствующих им величин $\text{p}K_j$. Число полос на такой гистограмме будет равно числу индивидуальных равновесий, описывающих изучаемую диаграмму состав – свойство. Сама гистограмма может быть названа $\text{p}K$ -спектром изучаемой системы. Надежный $\text{p}K$ -спектр, очевидно, может быть получен лишь при минимально возможной погрешности экспериментальных данных. В данном случае возникает своеобразный *принцип неопределенности*, согласно которому неопределенность $\text{p}K$ -спектра является следствием неопределенности ошибки эксперимента.

На рис. 2 представлен $\text{p}K$ -спектр (для $\Delta \text{p}K=0.1$), построенный по данным рис. 1, из которого видно, что найденные этим методом величины $\text{p}K_i$ близки к заданным при построении рис. 1. По оси ординат здесь отложена относительная мольная доля соответствующего кислотно-основного центра от общего их числа (q).

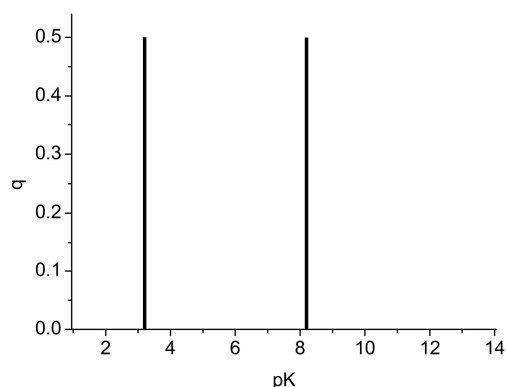


Рис. 2. $\text{p}K$ -спектр анатаза при $[\text{NaCl}]=0$.

Уравнение (6) перепишем в виде:

$$\Gamma_H(\text{pH}) = \frac{[\text{H}^+]^2 - K'_1 K'_2}{[\text{H}^+]^2 + K'_1 [\text{H}^+] + K'_1 K'_2}, \quad (13)$$

в котором штрихованные константы соответствуют величинам $\text{p}K_i$, получаемым при использовании фонового электролита:

$$K'_1 = \frac{K_1 \cdot K_3}{K_3 + K_1 [\text{NaCl}]}, \quad (14)$$

и

$$K'_2 = K_4 [\text{NaCl}] + K_2. \quad (15)$$

При этом K_1 и K_2 соответствуют, очевидно, предельным значениям штрихованных констант при нулевой концентрации фонового электролита. Если константы K_1 и K_2 найдены в условиях очень низкой (практически нулевой) концентрации фонового электролита, то уравнения (14) и (15) позволяют определить константы K_3 и K_4 при условии, что штрихованные константы определены из $\text{p}K$ -спектров, соответствующих заданной концентрации фонового электролита.

Из полученных уравнений следует, что при увеличении концентрации фонового электролита полоса, соответствующая величине $\text{p}K'_1$, должна сдвигаться в сторону более высоких значений, а полоса, соответствующая величине $\text{p}K'_2$, в сторону более низких значений. Положение точки нулевого заряда протонов $\text{p}z\text{npc}$ ($\Gamma_H(\text{pH})=0$) определяется выражением:

$$\text{p}z\text{npc} = \frac{1}{2} (\text{p}K'_1 + \text{p}K'_2) = \frac{1}{2} (\text{p}K_1 + \text{p}K_2) - \frac{1}{2} \lg \frac{K_3 (K_2 + K_4 [\text{NaCl}])}{K_2 (K_3 + K_1 [\text{NaCl}])},$$

и в пределе очень большой концентрации фонового электролита стремится к величине $\frac{1}{2} (\text{p}K_3 + \text{p}K_4)$. При специфической адсорбции катионов фона на изучаемой поверхности точка нулевого зарядов протонов сдвигается в область более низких значений pH , а при специфической адсорбции анионов – в сторону более высоких значений pH . При достаточно высоком сродстве поверхности к присутствующим в растворе катионам можно ожидать, что величина $\Gamma_H(\text{pH})$ во всей изучаемой области pH окажется отрицательной.

Литература

1. Davis J.A., James R.O., Leckie J.O. // J. Colloid and Interface Sci. 1978. Vol. 61. No. 3. P. 480.
2. Рязанов М.А., Дудкин Б.Н. // Коллоид. журн. 2003. Т. 65. № 6. С. 831.
3. Ryzanov M.A., Dudkin B.N. Rus. Journal of Phys. Chem. A. 2009. Vol. 83. No. 13. P. 2318.
4. Танабе К. Твердые кислоты и основания. М.: Мир, 1973.
5. Юшкин Н.П. Минеральный мир и биосфера: минеральный организобиоз, биоминераль-

- ные взаимодействия, коэволюция// Матер. IV Международного семинара «Минералогия и жизнь: Происхождение биосферы и коэволюция минерального и биологического миров». Сыктывкар. Геопринт, 2007. С. 5.
6. *Huertas F.J., Chou Lei, Wollast R.* // *Geochim. et Cosmochim. Acta.* 1998. Vol. 62. No. 3. P. 417.
7. *Лоусон Ч., Хенсон Д.* Численное решение задач метода наименьших квадратов. М.: Наука, 1986. 230 с.
8. *Тихонов А.Н., Гончарский А.В., Степанов В.В., Ягола А.Г.* Численные методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1990. 230 с.

Статья поступила 18. 04. 2011.

УДК 595.423:591.1(470.1)

ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И АРЕАЛОГИЯ ОРИБАТИД (ORIBATEI) ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ

Е.Н. МЕЛЕХИНА

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

Обобщены результаты исследований автора и имеющиеся литературные данные о таксономическом разнообразии орибатид европейского Севера России. Для региона известно 354 вида, 132 рода, 67 семейств орибатид. Отмечена относительная бедность таксономического состава по сравнению с более низкими широтами и западными фаунами. По типу долготного распространения преобладают голарктические и палеарктические виды. В тундровой зоне повышается доля голарктических видов и снижается – палеарктических и европейских, по сравнению с таежной зоной. Характерна высокая степень сходства с сибирской фауной. Выделены пять типов широтного распространения видов: арктический, аркто-бореальный, бореальный, температурный, полизональный. Фауна орибатид равнинной и горной субарктической тундры сходна с таежной.

Ключевые слова: таксономическое разнообразие, биогеография, ареалогия, орибатиды, европейский Север России

E.N. MELEKHINA. TAXONOMIC DIVERSITY AND AREOLOGY OF ORIBATID MITES (ORIBATEI) OF THE EUROPEAN NORTH OF RUSSIA

354 species, 132 genera and 67 families of the oribatid mites are known in the European North of Russia. Reduced taxonomic diversity of oribatids is noted in comparison with lower latitudes and western faunas. Oribatids species with the wide areals predominate (holarctic and palaearctic). The characteristic feature is high degree of similarity to the Siberian fauna. According to latitudinal distribution, arctic, arctic-boreal, boreal, temperate and polizonal species are present. There is high degree of similarity between species composition of oribatids in plain and mountain areas of subarctic tundra and boreal zone.

Key words: taxonomic diversity, biogeography, areology, oribatid mites, the European North of Russia

Для ряда групп наземных беспозвоночных европейской части России (чешуекрылых, двукрылых, жесткокрылых и других) разработаны типологии ареалов, подробно изучена зоогеографическая структура фауны. В отношении типично почвенных животных в этой области сделаны лишь первые шаги. Д.А. Криволицкий (2004) указывал, что почвенная микрофауна является новой для биогеографии группой животных. Обозначая задачи современной биогеографии почвы, он писал: «К настоящему времени собрано достаточно данных для перехода от локального изучения фауны ..., структуры экосистем почвы к обобщению и анализу их географического распространения, ареалогии, районированию» [1].

Орибатиды, или панцирные клещи, являются удобной модельной группой биогеографических исследований. Это мелкие членистоногие, обитающие в почве и других субстратах: мхах, лишайниках,

разлагающейся древесине. Они составляют подотряд Oribatida отряда акариформных клещей (Acari-formes) [2]. Высоко таксономическое разнообразие группы. Известно около 9 тыс. видов, более 1200 родов, 169 семейств орибатид в современной мировой фауне [3]. Орибатиды распространены во всех природно-климатических зонах, всегда многочисленны (до 150 тыс. экз./м² – в лесных биоценозах; 5-20 тыс. экз./м² – в почвах субарктических тундр).

За последние пять десятилетий накоплен обширный материал о таксономическом разнообразии орибатид таежной и тундровой зон европейской части России, арктических островов, западного макросклона Уральского хребта. Целью настоящей работы было обобщение имеющихся данных, выявление закономерностей изменения состава и структуры фауны орибатид в широтно-зональном аспекте, особенностей географического распространения видов.

Материал

Исследования охватывают аркто-бореальную зону европейской части России (рисунок). В таежной зоне локальные фауны орибатид изучались в Мурманской области: на беломорских островах Канда拉克шского заповедника [4], в Ленинградской [5, 6], Архангельской [7], Пермской [8], Кировской [9] областях, Карелии [10, 11], Республике Коми [12 – 19].

Для сравнения использованы данные по о. Западный Шпицберген (норвежский сектор Арктики), где достаточно полно изучена фауна почвенных микроартропод [26, 27].

Автором проведено изучение фаунистического разнообразия орибатид на европейском Северо-Востоке в период с 1988 по 2010 гг. Значительно пополнен фаунистический список панцирных клещей таежной зоны [17, 18], получены первые дан-

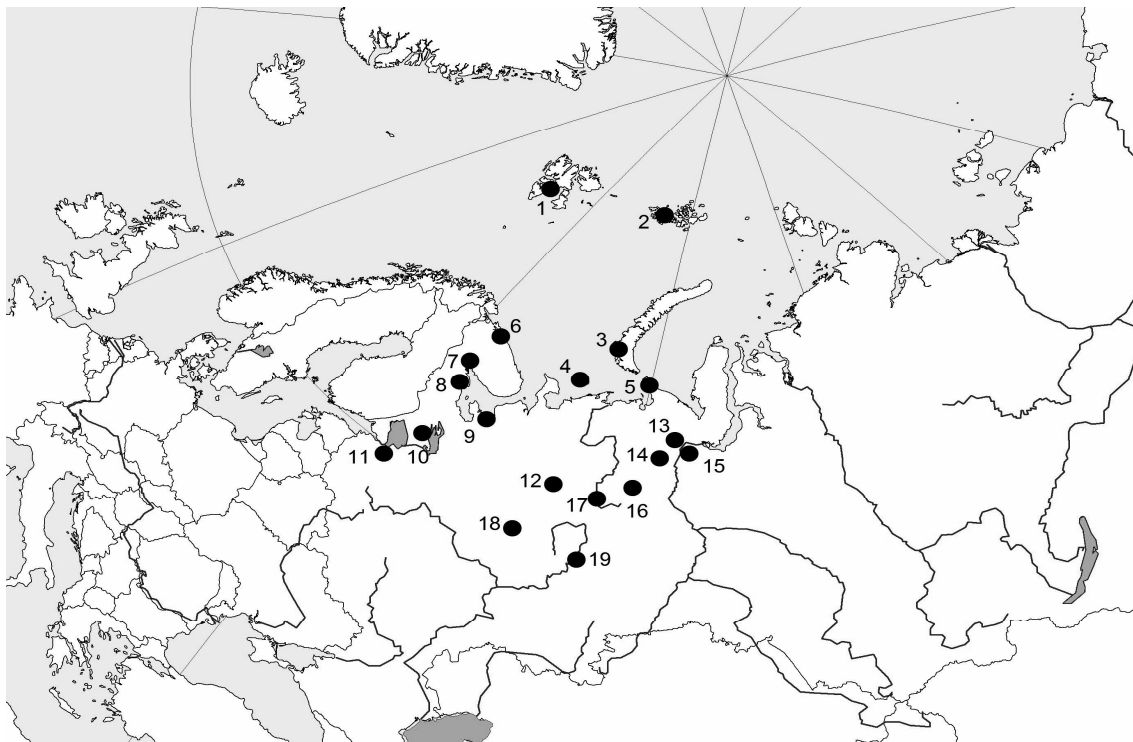


Рис. Локальные фауны орибатид европейского Севера.

Арктические острова и архипелаги:

1 – о. Западный Шпицберген, 2 – арх. Земля Франца-Иосифа, 3 – арх. Новая Земля, 4 – о. Вайгач, 5 – о. Колгуев;

Тундровая зона:

6 – пос. Дальние Зеленцы, 13 – г. Воркута;

Таежная зона:

7 – беломорские острова Канда拉克шского заповедника, 8 – Беломорская биологическая станция МГУ, 9 – Архангельская обл., 10 – Карелия, 11 – Ленинградская обл., 12 – Республика Коми, 18 – Кировская обл., 19 – Пермская обл.;

Полярный Урал:

14 – окрестности оз. Пага-ты, 15 – окрестности пос. Полярный;

Северный Урал:

16 – пос. Якша, 17 – г. Яны-Пупу-Ньер.

В равнинной субарктической тундре исследования проведены вблизи пос. Дальние Зеленцы (Мурманская область) [20] и в окрестностях г. Воркуты [21]. Получены сведения о фауне орибатид Полярного Урала: в районе оз. Пага-ты [22] и неподалеку от пос. Полярный – в Лабитнангском районе Ямало-Ненецкого национального округа [23]. На Северном Урале сбор данных проведен в Печоро-Ильчском заповеднике: в предгорных [12] и горных [17] сообществах.

Фауну орибатид изучали на островах (Вайгач, Колгуев) и архипелагах (Земля Франца-Иосифа, Новая Земля) российского сектора Арктики [24, 25].

ные о таксономическом составе орибатид тундровой зоны региона [21], западного макросклона Северного и Полярного Урала [16, 22]. При сборе полевого материала использованы стандартные методы [2]: в каждом конкретном местообитании отбирали не менее 10 проб площадью 100 см² каждая. При этом применяли случайную выборку. Исследовали спектр зональных растительных сообществ, а также интразональных биогеоценозов.

Система орибатид и типы долготного распространения приводятся в работе по L. Subias [3]. При определении типов широтного распространения мы придерживались классификации К.Б. Городкова [28].

Результаты и обсуждение

Для европейского Севера России, по опубликованным данным, известно 354 вида, 132 рода, 67 семейств орибатид. Наибольшее число родов свойственно семействам Oppiidae, Ceratozetidae, Damaeidae, Brachichthoniidae (таблица). Более 56% семейств представлено одним родом. Около 15% семейств включает десять и более видов, около 24% – от пяти до девяти видов, 16 % – три-четыре, более 44 % – один-два вида.

Для фауны орибатид европейского Севера России свойственна относительная бедность таксономического состава. Для сравнения, в средней полосе известно около 700 видов орибатид, в фауне России – более 1300 [2]. Отмечено обеднение фауны по сравнению с западными регионами. На европейском Севере России не найдено по меньшей мере 150 видов орибатид, представленных в Скандинавских странах. В фауне региона не отмечено пять семейств, которые зарегистрированы на территории Швеции и Финляндии [29, 30], в то же время на территории России они присутствуют только в южных широтах: Atopochthoniidae, Cosmochthoniidae, Parhypochothoniidae, Mochlozetidae, Harlochthoniidae. Отсутствуют южные семейства, к примеру, такие, как Mesoploporidae, Licnodamaeidae. Многие южные семейства (Zetorchestidae, Gymnodamaeidae, Xenillidae, Liodidae и др.) представлены единичными видами.

В таежной зоне обнаружено 320 видов орибатид из 132 родов и 65 семейств. Наибольшей видовой насыщенностью характеризуются семейства Ceratozetidae, Suctobelbidae, Oppiidae, Camisiidae, Phthiracaridae, Carabodidae, Damaeidae, Oribatulidae. Ряд семейств всегда присутствует в региональных списках и дополняет перечень семейств, типичных для таежной зоны: Nothridae, Namhermanniidae, Euphthiracaridae, Eremaeidae, Scheloribatidae, Chamobatidae, Achipteriidae, Galumnidae, Oribotritidae.

По типу долготного распространения выделены следующие группы видов: 1 – голарктические (34.3%), 2 – встречающиеся в Голарктике и некоторых регионах за ее пределами (7.2%), 3 – палеарктические (33.5%), 4 – встречающиеся в Палеарктике и некоторых регионах за ее пределами (4%), 5 – космополиты и полукосмополиты (9.5%), 6 – европейские (11.5%).

По типу широтного распределения в таежной зоне представлены четыре группы видов: полизональные (62.7%), температурные (31.0%), бореальные (3.9%) и аркто-бореальные (2.4%). Первые три группы названы по К.Б. Городкову [28]. Группа аркто-бореальных включает виды, область распространения которых охватывает арктические острова, тундровую и таежную зоны. Группа бореальных видов, отмеченных только в таежной зоне – весьма малочисленна. В нее вошли, наряду с другими, шесть видов рода *Ameronothrus*: *A. maculatus* (Michael, 1882); *A. bilineatus* (Michael, 1888); *A. nidicola* (Sitnikova, 1975); *A. nigrofemoratus* (L. Koch, 1879); *A. dubinini* (Sitnikova, 1975); *A. oblongus* (Sitnikova, 1975).

Первые пять из них, а также аркто-бореальный *A. lineatus* (Thorell, 1871) найдены на беломорских островах Кандалакшского заповедника (северная подзона тайги) [4]; вид *A. oblongus* зарегистрирован в средней тайге Республики Коми. К этой же группе мы отнесли *Spatiodamaeus boreus* (Bulanova-Zachvatkina, 1957), распространение которого, с учетом высотной составляющей ареала, можно охарактеризовать как борео-монтанное, поскольку помимо таежной зоны Севера вид встречается на Полярном Урале [23] и Кавказе [31]. Из бореальных видов в высоких широтах Неварктики отмечаются *A. nigrofemoratus*, *Hermannia* (*Heterohermannia*) *subglabra* (Berlese, 1910).

В южной тундре Кольского полуострова (пос. Дальние Зеленцы) найдено 54 вида орибатид 34 родов и 19 семейств [4]. Отличительной чертой данной локальной фауны является высокое видовое богатство семейств Oppiidae, Suctobelbidae, Brachichthoniidae – мелких тонкопанцирных форм. В подзоне южной кустарниковой тундры европейского Северо-Востока обнаружено 47 видов 35 родов и 24 семейств орибатид [21]. В обследованных горно-тундровых сообществах Полярного Урала, в окрестностях оз. Пага-ты, присутствовало 38 видов панцирных клещей 30 родов и 21 семейства [22]. В окрестностях пос. Полярный найдено 82 вида 34 семейств [23]. Фаунистический список орибатид западного макросклона Полярного Урала насчитывает 101 вид 34 семейств. В горно-тундровом поясе Северного Урала (г. Яны-Пупу-Ньер) обнаружено 25 видов орибатид 22 родов и 14 семейств. В целом таксономическое разнообразие панцирных клещей горно-тундрового пояса было ниже по сравнению с горно-лесным, где зарегистрирован 41 вид 34 родов и 20 семейств [17]. Всего для субарктической тундры европейской части России известно к настоящему времени около 100 видов орибатид 54 родов и 29 семейств. По сравнению с таежной зоной наблюдается значительное обеднение фауны панцирных клещей как на уровне видов, так и более высоких таксонов – родов и семейств. Ранее отмечалась четкая тенденция обеднения фауны орибатид при продвижении к северу [25].

Наибольшее видовое богатство характерно для семейств Camisiidae, Ceratozetidae, Oppiidae, Suctobelbidae, Brachichthoniidae. Эти же семейства, наряду с другими, отличаются значительной видовой насыщенностью в таежной зоне. В тундровой зоне высока доля широко распространенных видов, по сравнению с таежной. К голарктическим относятся 48.9% видов, еще 7.4% – виды, которые распространены в Голарктике и встречаются за ее пределами, их суммарная доля – 56.3%. Палеарктические виды составляют 26.5% списка. Доля европейских видов (немногим более 4%) почти втрое меньше, чем в таежной зоне. Значительно число космополитов и полукосмополитов (около 11%).

Многие виды распространены циркумполярно (Danks, 1981) [32]. Среди них *Liochthonius* (*Liochthonius*) *lapponicus* (Trägårdh, 1910), *Liochthonius* (L.) *brevis* (Michael, 1888) (= *Brachychthonius perpusillus* Berlese, 1910), *Liochthonius* (L.) *sellnicki*

(Thor, 1930), *Nothrus borussicus* Sellnick, 1928, *Nothrus pratensis* (Sellnick, 1928), *Camisia* (*Camisia*) *horrida* (Hermann, 1804), *Camisia* (*Ensicamisia*) *lapponica* (Trägårdh, 1910), *Heminothrus* (*Heminothrus*) *longisetosus* Willmann, 1925, *Heminothrus* (*Platynothrus*) *punctatus* (L. Koch, 1879), *Ceratoppia bipilis* (Hermann, 1804), *Ceratoppia quadridentata* (Haller, 1882), *Carabodes* (*Carabodes*) *labyrinthicus* (Michael, 1879), *Moritzoppia* (*Moritzoppiella*) *neerlandica* (Oudemans, 1900), *Suctobelbella* (*Suctobelbella*) *acutidens* (Forsslund, 1941), *Liebstadia similis* (Michael, 1888), *Oribatula* (*Oribatula*) *tibialis* (Nicolet, 1855), *Peloribates* (*Peloribates*) *pilosus* (Hammer, 1952), *Melanozetes mollicomus* (Koch, 1839), *Eupelops plicatus* (Koch,

1844) (= *Pelops auritus* Koch, 1839), *Campachipteria nivalis* (Hammer, 1952), *Tegoribates latirostris* (Koch, 1844), *Scutozetes lanceolatus* (Hammer, 1952), *Neoribates* (*Neoribates*) *aurantiacus* (Oudemans, 1914). Этот перечень дополняют космополиты *Heminothrhus* (*Platynothrus*) *peltifer* (Koch, 1839), *Tectocephus velatus* (Michael, 1880), *Oppiella* (*Oppiella*) *nova* (Oudemans, 1902), *Quadroppia* (*Quadroppia*) *quadricarinata* (Michael, 1885), *Ceratozetes* (*Ceratozetes*) *gracilis* (Michael, 1884).

Ареалы большинства видов охватывают более низкие широты и относятся к температурному (17.5%) и полизональному (75.3%) типам. Немногочисленны аркто-бореальные виды – (7.2%). К ним относятся *Hermannia* (*Heterohermannia*) *reticulata* (Thörell, 1871), *Sphaerozetes* (*Sphaerozetes*) *arcticus* (Hammer, 1952), *Acrotritia loricata* (Rathke, 1799), *Propelops rossicus* (Shaldybina, 1971) (= *Hammeria rossica* Shaldybina, 1971), *Svalbardia paludicola* (Thor, 1930), *Edwardzetes* (*Edwardzetes*) *edwardsi* (Nicolet, 1855), *Diapterobates notatus* (Thorell, 1871), *Melanozetes sellnicki* (Hammer, 1952). Циркумполярными из них являются *H. reticulata*, *S. arcticus*, *D. notatus*. В изученных тундровых фаунах арктические виды пока не найдены, в отличие от субарктической тундры Сибири. Среди тундровых видов Сибири выявлены «северо-сибирские», условные эндемики Таймыра и Чукотки [33, 34]. Следует отметить, что материковые тундры европейской части России мало изучены. Возможно, при дальнейших исследованиях здесь будут обнаружены арктические виды орибатид. В целом по видовому составу орибатид равнинные и горные субарктические тундры близки к бореальным сообществам.

Список видов орибатид арктических островов и архипелагов (включая Шпицберген) составляет 100 видов из 55 родов и 37 семейств. В структуре фауны ведущими являются семейства Brachichthoniidae, Camisiidae, Oppiidae. К голарктическим (в том числе встречающимся в некоторых регионах за пределами Голарктики) относится 53.0% видов, к палеарктическим – 29.8%. Соотношение групп видов с разными типами долгого распространения сходно с таковым в тундровой зоне. Несколько повышается доля космополитов и полукосмополитов (12.6%), в то же время немного ниже доля европейских видов (3,4%). Один вид – *Autogneta kaisilai* (Karppinen, 1967) является условным эндемиком Шпицбергена. По типу широтного распределения преобладают полизональные виды (70.2 %). На островах выделяется комплекс арктических видов: *Ceratozetes* (*C.*) *spitsbergensis* Thor, 1934, *Murcia setiger* (Trägårdh, 1910), *Oribatella* (*Oribatella*) *arctica* (Thor, 1930), *Iugoribates gracilis* (Sellnick, 1944), *Autogneta kaisilai* (Karppinen, 1967). К циркумполярным относятся *O. arctica*, *I. gracilis*.

С продвижением на север (от таежной зоны к арктическим островам) сохраняется ведущее значение семейств Oppiidae, Suctobelbidae, Brachichthoniidae, Camisiidae, Ceratozetidae. Наблюдается общая тенденция снижения видовой насыщенности этих семейств в тундровой зоне и на арктических островах, однако доля участия некоторых семейств

в структуре фауны может при этом увеличиваться. Это относится, прежде всего, к семействам Brachichthoniidae и Camisiidae. Из семейства Brachichthoniidae увеличивается доля р. *Liochthonius*. А семейства, которые относились в таежной зоне к ведущим, теряют свое значение в сложении фауны с продвижением на север. Так, видовое богатство семейства Liacaridae значительно убывает в тундровой зоне, на арктических островах виды этого семейства не найдены. Род *Li acarus*, представленный в таежной зоне пятью видами, в равнинной тундре не зарегистрирован; один вид (*Li acarus* (*Dorycranosus*) *neonominatus* Subias, 2004) обнаружен в горных тундрах Полярного Урала. В тундровой зоне остаются виды рода *Adoristes* указанного семейства. Видовое богатство семейства Phthiracaridae снижается в тундрах и на арктических островах. Семейство Damaeidae относится к числу ведущих в тайге и тундровой зоне, однако на островах теряет свои позиции. Из семейства Achipteriidae, относящегося к числу богатых видами семейств в таежной зоне, в Арктике присутствует один вид – *Parachipteria punctata* (Nicolet, 1855). Сходная картина наблюдается для семейства Malaconothridae: из девяти видов, распространенных в таежной зоне, на арктических островах представлен только один – *Malaconothrus* (*Malaconothrus*) *egregius* (Berlese, 1904).

В таежной зоне доли первых десяти семейств, названных в таблице, составляют от 3,1 до 6,8 %, т.е. отмечается равномерное распределение числа видов между ведущими семействами. Доли наиболее богатых видами пяти семейств в тундровой зоне – от 10 до 15%, пяти семейств на арктических островах – от 5 до 10%.

Характерной чертой фауны орибатид европейского Севера является высокая степень сходства с сибирской фауной. Около 10% видов встречаются только на европейской территории России. Ареалы большинства видов простираются восточнее Уральского хребта.

Некоторые виды имеют дизъюнктивное распространение по территории Евразии. Выделяется три типа дизъюнкций: сибирская, западно-сибирская и восточно-сибирская. Виды с сибирской дизъюнкцией ареала, помимо европейской части России, зарегистрированы на Дальнем Востоке, при этом отсутствуют на территории всей Сибири: *Liochthonius* (*Liochthonius*) *lapponicus* (Trägårdh, 1910), *Noto-phthiracarus* (*Calypthophthiracarus*) *pavidus* (Berlese, 1913), *Phthiracarus* (*Archiphthiracarus*) *globosus* (Koch, 1841), *Mesotritia* (*Mesotritia*) *flagelliformis* (Ewing, 1909) (= *Mesotritia testacea* Forsslund, 1963), *Trhypochthoniellus longisetus* (Berlese, 1904), *Nanhermannia* (*Nanhermannia*) *elegantula* (Berlese, 1913), *Eueremaeus quadrilamellatus* (Hammer, 1952), *Carabodes* (*Klapperiches*) *minusculus* (Berlese, 1923), *Lauroppia falcata* (Paoli, 1908), *Suctobelbella* (*Suctobelbella*) *longicuspis* Jacot, 1937, *Suctobelbella* (*Suctobelbella*) *perforata* (Strenzke, 1950), *Ameronothrus oblongus* (Sitnikova, 1975), *Oribatula* (*Oribatula*) *pannonica* (Willmann, 1949), *Propelops rossicus* (Shaldybina, 1971), *Euzetes globulus* (Nicolet, 1855), *Eupelops*

plicatus (Koch, 1839), *Scutozetes lanceolatus* (Hammer, 1952), *Galumna* (G.) *dimorpha* Krivolutskaja, 1952, *Pilolumna crassiclava crassiclava* (Berlese, 1914).

Для видов *Hafenrefferia gilvipes* (Koch, 1839), *Ramusella* (*Ramusella*) *clavipectinata* (Michael, 1885), *Banksinoma setosa* Rjabinin, 1974, *Oribatula* (*Zygoribatula*) *glabra* (Michael, 1890) (= *Zygoribatula propinqua* Oudemans, 1902) отмечена дизъюнкция ареала в Западной Сибири, их ареал продолжается на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока. Восточно-сибирская дизъюнкция имеется в ареалах видов *Phthiracarus* (*Archiphthiracarus*) *piger* (Scopoli, 1763); *Nothrus pratensis* Sellnick, 1928; *Camisia* (*Ensicamisia*) *lapponica* (Trägårdh, 1910); *Trimalaconothrus* (*Tyrphonothrus*) *maior* (Berlese, 1910) (= *Malaconothrus novus* Sellnick, 1921); *Nanhermannia* (*Nanhermannia*) *dorsalis* (Banks, 1896) (= *Nanhermannia coronata* Berlese, 1913); *Autogneta* (*Autogneta*) *longilamellata* (Michael, 1885); *Suctobelbella* (*Suctobelbella*) *palustris* (Forsslund, 1953); *Cymbaeremaeus cymba* (Nicolet, 1855); *Oribatula* (*Zygoribatula*) *frisica* (Oudemans, 1900); *Diapterobates oblongus* (L. Koch, 1879).

На европейском Северо-Востоке обнаружены виды, основной ареал которых находится в Сибири и на Дальнем Востоке. Так, вид *Nothrus parvus* Sitnikova, 1975, распространенный в Восточной Палеарктике, найден в средней тайге Республики Коми [18]. Данный вид отмечался также на Кавказе [31], Украине [35]. Вид *Heminothrus* (*Platynothrus*) *sibiricus* (Sitnikova, 1975) обнаружен на Северном Урале [16]. Это голарктический вид, в Палеарктике распространен в ее восточной части [3].

Находки ряда видов на Севере представляют интерес в зоогеографическом плане. Обращают на себя внимание виды с широтным разрывом ареала. Это комплекс так называемых «южных» видов. В Европе их основной ареал располагается в более низких широтах. К ним относится голарктический *Trimalaconothrus* (*Trimalaconothrus*) *tardus* (Michael, 1888), который, как указывает Л. Субиас [3], в пределах Палеарктики на севере не встречается. Распространен этот вид в Центральной Европе, на Кавказе, а также на Дальнем Востоке [2, 31, 36]. Находка данного вида на Полярном Урале [23] – пока единственная на севере Палеарктики. В еловых сообществах горно-лесного пояса Северного Урала найден степной вид *Birsteinus perlongus* (Krivolutsky, 1965) [16]. Представители рода *Birsteinus* (Krivolutsky, 1965) обычны в степях и полупустынях Палеарктики. *B. perlongus* распространен в степной зоне России: как европейской части, так и Сибири. Единичные находки известны из зоны хвойно-широколиственных лесов (Московская область) [2]. В Ухтинском районе Республики Коми зарегистрирован южный вид – *Scutovertex sculptus* Michael, 1879 (= *Scutovertex* (*Neoscutovortex*) *rugosus* Mihelčič, 1957).

В таежной зоне имеются единичные виды, основной ареал которых находится в более низких широтах. Севернее границы смешанных хвойно-ши-

роколиственных лесов реже встречаются виды *Diapterobates dubinini* (Shaldybina, 1971), *Oribatula* (*Oribatula*) *pannonica* Willmann, 1949, *Phthiracarus* (*Phthiracarus*) *jacoti* Feider y Suci, 1958, *Liebstadia humerata* (Sellnick, 1928), *Punctoribates* (*Punctoribates*) *minimus* (Shaldybina, 1969).

Есть виды, которые на европейской части России и в сопредельных странах распространены южнее бореальной зоны, а за Уральским хребтом – присутствуют на севере Сибири и Дальнем Востоке. Палеарктический вид *Mycobates* (*Mycobates*) *monodactylus* (Shaldybina, 1970), обнаруженный на Полярном Урале [22], обитает в зоне широколиственных лесов. В то же время вид встречается на севере Западной Сибири, а также на Алтае, в Иркутской области и на Сахалине [34, 36, 37]. Палеарктический вид *Mycobates* (*Calypozetes*) *patrius* (Shaldybina, 1970), находка которого сделана на Полярном Урале, отмечался на территории Украины [35]; распространен на Ямале, Таймыре, Чукотке [34], в горной тундре Хабаровского края [36]. На Северном и Полярном Урале обнаружен вид *Campachipteria nivalis* (Hammer, 1952), область распространения которого охватывает Украину, Беларусь, Киргизию, север Восточной Сибири (Таймыр, Северную Эвенкию) и Дальний Восток.

Заключение

Для фауны орибатид Севера характерна относительная бедность таксономического состава по сравнению с более низкими широтами и западными регионами. С продвижением от таежной зоны к арктическим островам сохраняется ведущее значение семейств Oppiidae, Suctobelbidae, Brachichthoniidae, Camisiidae, Ceratozetidae.

По типу долготного распространения преобладают виды с широкими ареалами: голарктические и палеарктические. В тундровой зоне и на арктических островах повышается доля голарктических видов и снижается – палеарктических и европейских, по сравнению с таежной зоной. Отмечена высокая степень сходства с сибирской фауной.

По типу широтного распределения выделены арктические, аркто-бореальные, бореальные, температурные и полизональные виды. Основу фауны составляют полизональные и температурные виды. Группа бореальных видов весьма малочисленна. Типично арктические виды зарегистрированы на арктических островах. В субарктической тундре не обнаружены виды, нижняя граница распространения которых не выходит за пределы тундровой зоны. По видовому составу орибатид равнинные и горные субарктические тундры близки к бореальным сообществам. Фауна орибатид европейского Севера в целом имеет бореальный облик.

Настоящая работа выполнена при поддержке Программы ОБН РАН «Биологические ресурсы России: оценка состояния и фундаментальные основы мониторинга» (Проект 09-Т-4-1003).

Литература

1. *Криволицкий Д.А.* Становление биогеографии почвы / Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География, 2004. № 6. С. 10-16.
2. *Панцирные клещи: Морфология, развитие, филогения, экология, методы исследования, характеристика модельного вида Nothrus palustris C.L. Koch, 1839.* / Д.А.Криволицкий, Ф.Лебрен, М.Кунст и др. М.: Наука, 1995. 224 с.
3. *Subias L.S.* Listado sistematico, sinonimico y biogeografico de los Acaros Oribatidos (Acariformes, Oribatida) del mundo (1758-2002) // Graellsia, 2004. Vol. 60. P. 3-305.
4. *Бызова Ю.Б., Уваров А.В., Губина В.Г. и др.* Почвенные беспозвоночные беломорских островов Кандалакшского заповедника. М.: Наука, 1986. 312 с.
5. *Высоцкая С.О., Буланова-Захваткина Е.М.* Панцирные клещи из гнезд грызунов и насекомоядных Ленинградской области // Паразитол. сб. Зоол. ин-та АН СССР, 1960. Т. 19. С. 194-219.
6. *Ситникова Л.Г.* Краткий обзор фауны панцирных клещей (Acariformes, Oribatei) Ленинградской области // Тр. ЗИН АН СССР, 1962. Т. 31. С. 429-452.
7. *Бызова Ю.Б.* Фауна почвенных ногохвосток и клещей севера средневропейской тайги // Pedobiologia, 1964. Bd. 3. S. 286-303.
8. *Воронова Л.Д.* Почвенная фауна южной тайги Пермской области // Почвенная фауна Северной Европы. М.: Наука, 1987. С. 59-65.
9. *Животный мир Кировской области* (беспозвоночные животные). Дополнение: сборник статей. Т.5. Киров: Изд-во ВГПУ, 2000. 232 с.
10. *Криволицкий Д.А.* Панцирные клещи из окрестностей Беломорской биологической станции Московского университета // Вестн. Моск. ун-та, 1966а. № 1. С. 42-45.
11. *Ласкова Л.М.* Биоразнообразие панцирных клещей Карелии // Биогеография Карелии. Петрозаводск, 2001. С. 125-132.
12. *Поспелов Л.Е., Солнцева Е.Л., Чугунова М.Н.* Комплексы микроартропод в разных типах леса в подзоне северной тайги европейской части СССР // Проблемы почвенной зоологии. Минск: Наука и техника, 1978. С.189-190.
13. *Новожилова Э.П.* Панцирные клещи (Oribatei) из гнезд млекопитающих Коми АССР // Кровососущие членистоногие Европейского Севера. Петрозаводск, 1980. С.164-168.
14. *Михальцова З.А.* Новый вид панцирного клеща рода Passalozetes (Acariformes, Passalozetidae) из средней тайги Коми АССР // Зоол. журн., 1982. Вып. 11. С. 1756-1759.
15. *Друк А.Я., Вилкамаа П.* Микроартроподы верховых болот севера европейской части СССР // Биология почв Северной Европы. М.: Наука, 1988. С. 190-198.
16. *Мелехина Е.Н.* К фауне панцирных клещей (Acari: Oribatida) Печоро-Илычского заповедника // Труды Печоро-Илычского заповедника (Вып. 14). Сыктывкар, 2005а. С.113-117.
17. *Мелехина Е.Н.* Разнообразие фауны и географическое распределение панцирных клещей (Oribatida) таежной зоны европейского Северо-Востока // Закономерности зональной организации комплексов животного населения на европейском Северо-Востоке. Сыктывкар, 2005б. С. 257-273. (Тр. Коми научного центра УрО РАН, № 177).
18. *Мелехина Е.Н., Криволицкий Д.А.* Список видов панцирных клещей Республики Коми. Сыктывкар, 1999. 24 с.
19. *Karppinen Eero et Krivolutsky D.A.* List of oribatid mites (Acarina, Oribatei) of northern palaearctic region. 1. Europe // Acta ent. fenn. 1982. Vol. 41. 18 p.
20. *Криволицкий Д.А.* Панцирные клещи в почвах тундры // Pedobiologia, 1966б. Bd. 6. № 3. С. 277-280.
21. *Мелехина Е.Н.* Влияние загрязнения почв на фауну панцирных клещей в Воркутинской тундре // Криопедология '97: Тез. докл. Междунар. конф. Сыктывкар, 1997. С. 176-177.
22. *Биоразнообразие экосистем Полярного Урала* / Отв. ред. М.В. Гецен. Сыктывкар, 2007. 251 с.
23. *Сидорчук Е.А.* К фауне панцирных клещей (Acariformes, Oribatida) Полярного Урала // Зоол. журн., 2009. Т. 88. № 7. С. 1-9.
24. *Криволицкий Д.А., Калякин В.Н.* Микрофауна почв в экологическом контроле на Новой Земле // Новая Земля. М., 1993. Т.2. С. 125-131.
25. *Криволицкий Д.А., Дроздов Н.Н., Лебедева Н.В., Калякин В.Н.* География почвенных микроартропод островов Арктики // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География, 2003. № 6. С. 33-40.
26. *Лебедева Н.В., Лебедев В.Д., Мелехина Е.Н.* Новые данные о фауне орибатид (Oribatei) Шпицбергена // Доклады Академии наук, 2006. Т. 407. № 6. С. 845-849.
27. *Coulson S.J.* Terrestrial and Freshwater Invertebrate Fauna of the High Arctic Archipelago of Svalbard // Zootaxa 1448. 2007. P. 41-68.
28. *Городков К.Б.* Типы ареалов насекомых тундры и лесных зон европейской части СССР // Ареалы насекомых европейской части СССР. Л., 1984. С. 3-20.
29. *Lundqvist L.* Bibliografi och checklist over Sveriges oribatider (Acari: Oribatei) Ent. Tidskr., 1987. Vol. 108. P. 3-12.
30. *Niemi R., Karppinen E., Uusitalo M.* Catalogue of the Oribatida (Acari) of Finland // Acta Zool. Fenn, 1997. Vol. 207. P. 1-39.
31. *Shtanchaeva U. Ya.* Catalog of oribatid mites of the Caucasus (Acari, Oribatida) // Acarina, 2001. Vol. 9. No. 2. P. 177-221.
32. *Danks H.V.* Arctic arthropods. A review of systematics and ecology with particular reference to the North American Fauna // Entomological Soc. Canada. Ottawa, 1981. 608 pp.
33. *Ананьева С.И., Криволицкий Д.А., Чернов Ю.И.* Панцирные клещи (Oribatei) подзоны типичных тундр Западного Таймыра // Биогеоце-

- нозы таймырской тундры и их продуктивность. Л., 1973. Вып. 2. С. 148-151.
34. Гришина Л.Г. Панцирные клещи севера Сибири // Членистоногие Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск: Наука, 1985. С. 14-23.
35. Karppinen E., Melamud V., Mico L., Krivolutsky D.A. Further information on the oribatid fauna (Acarina, Oribatei) of the northern palaearctic region: Ukraina and Czechoslovakia // Entomol. Fenn. 1992. Vol. 3. P. 41-56.
36. Рябинин Н.А., Паньков А.Н. Каталог панцирных клещей Дальнего Востока России. Часть II. Континентальная часть Дальнего Востока. Владивосток-Хабаровск: ДВО РАН, 2002. 92 с.
37. Паньков А.Н., Рябинин Н.А., Голосова Л.Д. Каталог панцирных клещей Дальнего Востока России. Часть I. Каталог панцирных клещей Камчатки, Сахалина и Курильских островов. Владивосток – Хабаровск: Дальнаука, 1997. 87 с.

Статья поступила в редакцию 15.11.2010

УДК 631.48 : 631.434.5 (1-924.81)

ДИНАМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ В БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЕ

Г.В. РУСАНОВА

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

Исследованы погребенные и полигенетические дневные почвы тундровых ландшафтов (макро-мезо-микроморфология, аналитические показатели). Установлены основные элементарные процессы почвообразования и классификационное положение почв. На основе C^{14} датирования выявлено время погребения почв. Определены особенности голоценовой истории развития.

Ключевые слова: погребенные и полигенетические почвы, макро-мезо-микроморфология, элементарные процессы почвообразования, голоценовая история развития

G.V. RUSANOVA. DYNAMICS ASPECTS OF SOILFORMATION IN THE BOLSHEZEMELSKAYA TUNDRA

Macro-meso-micromorphology, chemical properties of buried Holocene and polygenetical soils are studied. On the base of C^{14} dating and characteristics of pedogenesis the Holocen evolution of soils is established.

Key words: buried and polygenetic soils, macro-meso-micromorphology, elementary soilforming processes, Holocene history

Повышенное внимание к проблемам эволюции, истории формирования почв в голоцене вызвано не только классификационными задачами, во многом еще нерешенными для почв Большеземельской тундры, но и необходимостью анализа текущего и будущего поведения почв, прогнозирования направленности естественного развития, в связи с будущими глобальными колебаниями климата, учитывая циклический характер и возможность их повторения. Считается, что глобальные изменения климата в первую очередь коснутся высоких широт, где сосредоточены объекты нефтегазовой и угольной промышленности. История эволюционного развития почв, формирующихся на протяжении голоцена, может быть изучена на примере как современных полигенетических, так и погребенных в различные фазы голоцена почв, а также торфяников, в которых записан огромный объем многослойной информации о былых процессах.

Проблема памяти почв, использования записей в них информации для анализа текущего и будущего поведения почв является основной, магистральной проблемой в почвоведении [1].

Почвообразовательные процессы, являющиеся результатом функционирования многофазной почвенной системы в различных биогеоценозах и природно-климатических условиях, на протяжении всей истории формирования сохраняются в виде признаков в почвах: на уровне почвенного покрова, почвенного профиля, горизонта, и на более низких уровнях организации (агрегаты, конкреции, кутанный комплекс, новообразования).

Информация о начальных периодах почвообразования записана как матрица в современных почвах, на которую с течением времени накладываются новые слои. Она может быть стертой диagenетическими процессами, и тогда остается запись о более поздних, промежуточных процессах почвообразования. Носителями информации или памяти почв являются также погребенные почвы, образовавшиеся в течение определенных периодов голоцена, и торфяники, представляющие собой серию погребенных почв.

Периодические колебания параметров орбиты Земли вызывают изменения климата и многовековую ритмичность развития ландшафтов, что впервые установлено А.В. Шнитниковым в 1957 г. [2]. Многовековую ритмичность развития почв составляют смена педогенной и морфо-литогенной стадий. Продолжительность педогенной стадии в среднем около 2000(1850) лет близка к циклу солнечной активности. Холодные фазы (500-600 лет), представленные литогенной стадией, характеризуются неблагоприятными условиями для растительности, активизацией криогенных явлений, эрозии и седиментации, перестройкой ландшафтообразующих процессов. На контрастном климатическом рубеже, когда создаются стрессовые кризисные ситуации для экосистем, развиваются геодинамические процессы, агградация мерзлоты, происходит погребение почв, или деградация и метаморфизация профиля.

Погребенные почвы, маркирующие определенный период голоцена, позволяют достоверно

реконструировать соответствующую ландшафтную обстановку того периода, на основе современных представлений о взаимосвязи почв и факторов почвообразования. Для воссоздания голоценовой истории развития ландшафтов, палеоклиматических реконструкций используется не только комплекс палеогеографических, палеогеохимических и других методов, но и палеопедологический.

На территории Большеземельской тундры погребенные почвы в песчаных отложениях обнаружены уже в 30-40-е гг. прошлого столетия: в бассейне р. Коротаихи и в районе Вашуткиных озер – Ю.А. Ливеровским [3], а в бассейне р. Роговой – Г.А. Черновым [4]. Отмечена хорошая сохранность этих почв и высказано предположение о формировании их под лесом в атлантический период голоцена.

Цель данной работы – исследование погребенных и полигенетических почв Большеземельской тундры для реконструкции эволюции почв и истории развития ландшафтов.

Объекты и методы

Объектами исследований являются погребенные почвы, сформированные в суглинистых и песчаных отложениях в лесотундре (бас. р. Хоседа-ю), южной тундре (бас. р. Воркута), полигенетические почвы северной тундры (бас. р. Варкнивьяха) и торфяники (бас. р. Воркута). На базе детальных макро-мезо-микроморфологических исследований описаны основные элементарные процессы почвообразования и установлено классификационное положение почв. С использованием C^{14} датирования определено время погребения.

Результаты и обсуждение

Погребенные почвы в суглинистых отложениях впервые обнаружены в бассейне р. Воркута, на склоне увала Нерусовой-Мусюр [5].

Разрез 1-2000, залуженная тундра, средняя часть СЗ склона, ровный участок.

А дер. 0-13 см. Темно-серая плотная дернина, пронизанная корнями. Суглинистый, мелкокомковатый. В нижней части ржавые и сизоохристые пятна. Переход резкий.

GB1 13-31 см. На буроватом фоне – линзы темно-сизого, сизоохристого, ржавого цвета. Суглинистый, плотный, плитчатой структуры. Следы турбаций. Редкие корни; переход постепенный.

GB2 31-49 см. На грязно-буром фоне – темно-сизые, сизопалевые, волнистые, и турбированные участки. Суглинистый, плитчатый. В нижней части – горизонтальный ржавый слой. Переход заметный.

(II A) B1 49-57 см. Темно-бурый, суглинистый, комковато-зернистый, рыхлый, с отдельными корешками. Округлые темные пятна площадью 5x10 см. Переход постепенный. Следов турбации нет.

(II A2B) B2 57-85 см. Светло-бурый, с отдельными корнями и ржавыми пятнами, суглинистый, мелко ореховатой структуры. Следов турбации нет.

(II B)B3 85-97 см. Серовато-бурый, со слабо заметными ржавыми пятнами, суглинистый. Структура ореховатая и плитчатая, белесая присыпка по граням структурных отдельностей.

(II BC) 97-120 см. Бурый, с ржавыми пятнами, плитчато-комковатый, суглинистый. Белесая присыпка на поверхности агрегатов. На дне разреза – слой камней.

Фрагменты гумусового горизонта (5x10 см) погребенной дерново-подзолистой иллювиально-глинистой почвы сохранились на глубине ~ 50-60 см. В целом, профиль хорошо дифференцирован морфологически и по физико-химическим свойствам.

Морфологическое описание показывает четкое разделение на верхнюю современную и нижнюю погребенную почвы. Реликтовость почвенной толщи ниже 50 см, образование ее в атлантический период голоцена, в отличие от современной дневной почвы, отмечали и другие исследователи [6]. Проявление глеевых процессов и криотурбации типично для верхней почвы, до 49 см. По характеру агрегированности, цвету, наличию темных пятен гор. (II A) B1 погребенной почвы соответствует погребенному гумусовому или дерновому горизонту, измененному диагенетическими процессами: эрозийными, криогенными оползневыми, благодаря склоновому положению почвы.

В морфологическом строении дернового горизонта отмечаются черные пятна на темно-буром фоне, а в микроморфологии фиксируются устойчивые признаки палеопочв: изометричные агрегаты, округлые биопоры, рыхлая упаковка, черный непрозрачный гумус. Физико-химические свойства (табл. 1), наличие второй фракции гуминовых кислот, связанных с кальцием (11.94 %), отсутствующей

Таблица 1

Физико-химические свойства глеезема и погребенной дерново-подзолистой почвы (бассейн р. Воркута, Нерусовой-Мусюр)

Гори- зонт	Глубина, см	pH _{сол.}	С, % к почве	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Плот- ность сложе- ния, г/см ³	Пори- стость, % от объема	Полная влаго- емкость, %
				м-э/100 г				
Адер.	0-13	6.15	3.26	5.30	1.36	1.02	60.2	58.4
GB1	20-30	3.77	1.83	3.28	0.17	1.56	41.1	26.6
GB2	30-40	3.51	1.66	1.23	0.53	1.35	50.4	37.4
(IIA)B1	49-57	3.48	1.72	1.71	0.27	1.04	61.8	59.4
(IIA2B)B2	70-80	3.67	0.67	1.05	0.65	1.58	41.5	26.3

в современных тундровых почвах, также диагностируют дерновый горизонт. Подзолистый горизонт характеризуется субпараллельным сложением, обедненностью илом. В иллювиальном горизонте отмечаются сложные пылевато-глинистые натёки в порах и трещинах, двухслойные кутаны на стенках

агрегатов. Дерново-подзолистых почв в современном почвенном покрове тундры не обнаружено, в настоящее время они распространены в подзоне южной тайги, лесостепи. Следовательно, погребенная почва формировалась под южнотаежной растительностью. В течение атлантического периода (8-5 тыс.л.н.) южнотаежная растительность была на большей части севера Русской равнины, леса продвигались до 72° с.ш., а при повышении среднеиюльской температуры на 3-4° выше современных в позднеатлантический интервал северная граница морозоустойчивых широколиственных пород (вяз) приближалась к Хайпудырской губе Баренцева моря [7,8]. По исследованиям дендрохронологов [9] наиболее северное положение полярной границы леса наблюдалось на Ямале в раннем голоцене (10-7,4 тыс.л.н.), а отступление произошло 3700 л.н. По данным А.Каакинен и М.Егонен [10], в западной части Большеземельской тундры леса произрастали в эти же сроки, с максимальным расцветом ~ 5 тыс.л.н. Согласно радиоуглеродному датированию (табл. 2) погребенная почва развивалась в атлантический период голоцена (6030±170 л.н. ИГРАН-2271). После погребения в верхнем наносе под тундровой растительностью сформирован глеезем.

тую границу перехода. По фону этого горизонта локально заметно отложение продуктов миграции из вышележащего профиля подзола II A1-II E с образованием наложенного горизонта II Bfh. Подобное явление отмечено ранее в субальпийских почвах [11]. Хорошо сформированный иллювиальный горизонт III Bfh (20-30 см), неоднородно окрашенный, с темно-коричневыми пятнами и участками, переходит в гор. BC (30-50 см), светло-бурый, более монотонный. Отчетливо развитый профиль подзола в нижней части разреза позволяет предположить, что его формирование происходило в течение ATSB. Согласно радиоуглеродным и дендрохронологическим исследованиям позднесуббореальный период 3200-2850 л.н. на Ямале был благоприятным для произрастания древесной растительности [9].

Очевидно, из-за небольшой скорости осадко-накопления в последующую морфолитогенную фазу, разделяющие почвы отложения не сформированы. Почвы наложены друг на друга, а радиоуглеродный возраст их значительно различается (почти на 2 тыс. лет). Верхняя почва среднесубатлантического периода (1 тыс. л.н.) сформирована также по подзолисту типу в теплый интервал позднего голоцена. Среднесубатлантический период (1 тыс.

Таблица 2

Радиоуглеродное определение возраста

Местоположение, разрез	Горизонт	Глубина, см	Материал	¹⁴ C дата, лет назад	Лабораторный номер
р.Воркута	GB2	32-47	Гуминовые кислоты	1580±160	ИГ РАН 2269
р.1-2000	(II A)B1	49-57	"—"	6030±170	ИГ РАН 2271
р.Хоседа-ю	II A1	8-11	Древесные остатки	1050±40	UtC 8668
2.1.19	III A1	17-18	Угли	3070±30	UtC 8669
2.1.19	III B	20-30	Органические остатки	2700±40	UtC 8670

Примечание. Радиоуглеродный возраст выполнен в университете г. Утрехт (Нидерланды) и Институте географии РАН г. Москва.

Погребенные почвы в песчаных отложениях описаны в обрыве террасы долины р.Хоседа-ю под тундровой ерниково-лишайниковой растительностью. Ниже слоя политриховых мхов и подстилки (гор.А0) залегает слабо дифференцированный профиль подбур, буроватого цвета, мощностью от 8 до 30 см. Под ним формируется прерывистый погребенный гумусированный горизонт II A1 с прослойкой древесных остатков на поверхности, общей мощностью 3 см. Возраст древесных остатков 1 тыс. лет (табл.2). Ярко-белесый подзолистый горизонт II E этого профиля (11-17 см) перекрывает второй гумусированный горизонт III A1, обогащенный углистыми частицами, и имеющий мощность 1-2 см. Его возраст 3 тыс. лет. Горизонт деформирован криогенными процессами, образует волнистый прогиб. Залегающий ниже подзолистый гор. III E имеет неодинаковую мощность и неровную, размы-

л.н.) был благоприятным для подзолообразования. Согласно данным Р.М. Хантемирова и др. [9] в этот временной промежуток на Ямале произрастала не только лиственница, но также и ель.

Влияние мерзлоты, агградация которой произошла 2 тыс. л.н., четко проявляется в деформации профилей, неодинаковой мощности и разрывах горизонтов вследствие криотурбации. Формирование верхнего наноса с профилем подбур относится к позднесубатлантическому периоду. Мощность его неодинакова в зависимости от проявления денудационных процессов, криотурбаций в различных ландшафтных условиях.

Анализ микростроения подбур и погребенного подзола показал разницу в интенсивности процессов почвообразования в этих почвах. В гор.ВН подбур скелетные зерна мелкопесчаного размера, светло- и буроокрашенные, с тонкими гумусо-железистыми пленками. В погребенном профиле крупнее размер зерен.

Гор. II A1 погребенной почвы неоднородно окрашен: черно-коричневые и бурые участки на светло-буром фоне. Агрегаты темно-серые и красновато-коричневые, округлые, составляют гроздь. Присутствуют черные углистые остатки и округлые срезы корней, с ореолом; разложившиеся растительные остатки буровато-коричневые, диспергированные; черно-коричневые пленки на скелетных зернах и коричневые округлые аморфные гумусовые сгустки между зернами; цементация пылеватых частиц черно-коричневой аморфной плазмой. Тем-

но-коричневые и черные гумусированные участки состоят из округлых и овальной формы сгустков. Заметны аккумуляции обуглившихся черных тканей. Скопления фрагментов тканей могут быть следствием криогенных процессов. В гор. II E преобладают бесцветные зерна, с тонкими пленками на поверхности.

В иллювиальном гор. III Bfh наблюдается больше буроокрашенных зерен. Пленки на зернах коричнево-бурые, гумусо-железистые, толстые. Отмечаются участки, сцементированные аморфной, с трещинами дегидратации, красно-коричневой плазмой. Характерным для отдела альфегумусовых почв является иллювиальная аккумуляция Al-Fe-гумусовых соединений, формирующих диагностический иллювиальный горизонт. Большая толщина пленок на зернах скелета в гор. III Bfh погребенного подзола, по сравнению с гор. BH современного подбуря, свидетельствует о том, что погребенная почва развивалась более длительное время и в более благоприятные для педогенеза интервалы AT и SB, способствовавшие интенсификации элювиально-иллювиальных процессов. Увеличение толщины пленок с возрастом почв показано на примере хронорядов [12].

Анализ морфогенетических особенностей погребенных подзолов и современного подбуря, залегающего на их поверхности, позволил обнаружить ведущие процессы почвообразования и различную их активность в погребенных и дневных почвах, корректируемую климатическими колебаниями в период голоцена.

Выполнено детальное макро-мезо-микроморфологическое исследование погребенного дерново-подзола, сформированного на выпуклой вершине холма Яней-Мыльк, в бас. р. Воркута. Дерновый горизонт морфологически представлен отдельными фрагментами, локально его мощность достигает 3 см. Характеризуется темной окраской, хорошей агрегированностью, а в микроморфологии фиксируются гумусовые сгустки и гроздья, черный непрозрачный гумус. Отмечается повышенное содержание гумуса в этом горизонте (табл. 3). По комплексу диагностических параметров, включая физико-химические свойства, изученная погребенная почва

относится к типу дерново-подзолов иллювиально-железистых, сформированных в позднеатлантический этап голоцена, наиболее теплый в данном регионе. Согласно нашим данным, под реликтивными островками ели в тундре, в бассейне р. Море-ю (68° с.ш.), также обнаружены подзолы в погребенном состоянии, как и вблизи дельты р. Печора.

Эволюционная память сохраняется в полигенетических почвах, прошедших длительный путь развития в голоцене. Исследования проводились в северной части Большеземельской тундры, представляющей собой слабопокатую к северу оконечность Русской равнины. Рельеф пологоувалистый с высотами 25-60 м. Район сплошного распространения многолетнемерзлых пород мощностью 150-200 м. Описан глеезем, формирующийся в бассейне р. Варкнивьяха, вблизи побережья Баренцева моря (северная тундра, пос. Варандей).

Гор. A0A1 (0-6 см) темно-бурый, криокоагуляционного генезиса. Гор. Gtx (6-14 см) грязно-сизый суглинок с обломками породы; гор. Bgtx (14-35 см) сизовато-бурый тиксотропный суглинок; гор. BCg (35-57 см) темно-сизо-бурый суглинок, подстилается обломками породы. Мерзлота на глубине 60 см.

Анализ микростроения показывает, что для гор. A0A1 характерна биогенная агрегированность (копролиты, состоящие из мелких растительных остатков с пылеватыми частицами), наряду с криогенной в виде коагуляционных мелких гумусовых сгустков, образующих сложные округло-угловатые агрегаты. Фрагментарность растительных тканей и гумусово-глинистые пленки на зернах скелета объясняются также криогенными процессами. Гор. Gtx грязно-сизого цвета, компактный, с окисленными и восстановленными микрозонами, с гумусово-глинистыми пленками на зернах скелета. Отличие нижележащего гор. Bgtx являются редкие глинистые пленки на стенках пор и на зернах, чешуйчато-волокнистая плазма, свидетельствующие о возможности очень слабой миграции тонкодисперсной массы. Отчетливы микрозоны с криотурбированным гумусом, папулами, ооидами. Надмерзлотный горизонт (BCg) обнаруживает реликтовые признаки (темный гумус) и пылевато-глинистые пленки в порах, а также свидетельствующие о прошлых этапах почвообразования – глинистые, бурые, тусклые натёки и псевдоморфозы по корням (оглиненные корни с выбросами клещей).

Таблица 3

**Физико-химические свойства подбуря
и погребенного дерново-подзола (бассейн р. Воркута, Яней-Мыльк)**

Гори- зонт	Глубина, см	pH _{сол.}	Гумус, %	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ , % по Джек- сону
				м-э/100 г		% по Тамму		
АТ	1-9	4,0	3,10	0,33	0,09	0,25	0,25	0,37
ВН	9-20	4,01	1,90	0,13	0,07	0,22	0,17	0,33
II AV	23-26	3,93	2,70	0,11	0,04	0,15	0,21	0,23
II E	26-34	4,10	0,56	0,06	0,04	0,04	0,11	0,09
IIBF	34-43	4,21	0,66	0,11	0,09	0,42	0,47	0,70
IIB1кр	43-64	4,33	0,52	0,06	0,04	0,38	0,28	0,50
IIB2кр	64-84	4,38	0,70	0,06	0,04	0,36	0,44	0,49
Д	84-123	4,37	0,17	0,05	0,03	0,17	0,11	0,25

О реликтовом характере гумуса свидетельствуют большое количество мелкокораздробленных черных растительных остатков и темноокрашенный сгустковый гумус вокруг скелетных частиц. Пылевато-глинистые пленки и натёки на той же глубине, вероятнее всего, также

не связаны с современным режимом почвообразования и более свойственны глееземам криометаморфическим южной тундры. Как и фрагменты реликтового гумуса, натеки и пылевато-глинистые пленки могли сохраниться от прошлых фаз дифференциации профиля.

Анализ микростроения глееземов показал, что ведущими процессами в органогенных горизонтах (A0A1) являются криогенная переработка материала и аккумуляция грубого гумуса на границе с минеральной толщей. В верхней части профиля (гор. Gtx) преобладают криогенные и глеевые процессы. В иллювиальных горизонтах (гор. Bg) отчетливы признаки: 1) иллювирования (глинистые пленки на зернах, на стенках пор, и натеки); 2) оглеения (микроразнональность, конкреции); 3) криогенных процессов (ооиды, папулы, турбированный гумус), в гор. BСg – унаследованные признаки (гумусовые педореликты, гетерогенные натеки, псевдоморфозы). Сохранность палеопочвенных признаков имеет место благодаря слабой переработке почвообразованием материала нижней части профиля (на глубине 50-60 см над мерзлотой). Гетерогенные пылевато-глинистые натеки являются реликтами текстурной дифференциации, которая подавляется в современных условиях, вследствие низкого потенциала климата и биоты.

Низинные торфяники также используются для реконструкции климата и ландшафтных изменений в истории Земли. В них происходит книгоподобная запись информации при наращивании новых слоев торфа и погребении дневных горизонтов. Проведено исследование торфяника, залегающего на приозерной террасе в бассейне р. Воркута. Установлено, что многослойная лесотопная залежь относится к низинному типу (табл. 4). Степень разложения торфа с глубиной несколько увеличивается от 15-20 до 35-40%. Стратиграфический профиль свидетельствует о том, что заболачиванию подверглась территория, покрытая лесом. В нижней части залежи в составе древесных остатков обнаружена кора березы и ивы. По всему профилю преобладают гипновые мхи, ниже 130 см наблюдается увеличение доли осок и древесных остатков. В настоящее время общепринятой является точка зрения, что торфяная залежь представляет собой свиту погребенных почв. Основываясь на ботаническом составе горизонтов, можно заключить, что в древесно-гипновом поверхностном слое до 20 см, присутствует кора ивы, ели, ольхи, а современный этап развития характеризуется наличием травянистых растений и сильной минерализованностью. Горизонт осоково-гипнового торфа (20-50 см) сформировался 5010 лет назад, и позднее, на мохово-осоковой стадии болотообразования в период преобладания гипновых мхов. Этот горизонт, как и лежащие ниже, может быть отнесен к погребенной толще стратиграфического профиля торфяной залежи. Вторая погребенная почва, торфяной горизонт (50-80 см), датируется периодом от 5010 до 6290 л.н., отмечается абсолютным преобладанием зеленых мхов (80%), отсутствием древесных остатков, небольшим участием осок. Следующий этап

торфонакопления (80-130 см) датируется периодом от 6290 до 6870 лет назад. Характеризуется также преобладанием гипновых мхов (75-80%), наличием осок и древесных остатков. Древесные остатки в этом слое представлены корой березы и ивы. Ранний этап торфонакопления залежи (130-210 см) относится к периоду 6870-7940 л.н., когда древесная растительность составляла 15% и преобладали травянистые остатки (75%). Начальный этап (210-220 см) относится к периоду 7940 л.н. и отмечается преобладанием древесных (45%) и травянистых (40%) остатков, с участием зеленых мхов. Дифференциация профиля торфяной залежи на зоны современного и реликтового почвообразования и ранжирование радиоуглеродных дат по горизонтам позволяют рассчитать линейную скорость прироста торфа на различных стадиях эволюции болотного массива.

Формирование торфяника началось 8 тыс. л.н., под покровом леса, когда линейная скорость прироста торфа составила 0,9 мм/год, до 6870 г. Скорость роста торфа в долине р. Обь, в лесной зоне, 8700 л.н. составляла 0,84 мм/год [13]. Темпы аккумуляции органического вещества в палеоэкологической обстановке от 6870 до 6290 л.н. были самыми высокими, составляли 1 мм/год, при абсолютном преобладании зеленых мхов и небольшом участии леса. Заметный спад скорости прироста торфа произошел в позднеатлантический период голоцена 6290-5010 л.н. (0,4 мм/год), в связи с изменением природных условий, повышением интенсивности биохимических и микробиологических процессов разложения. Небольшая скорость прироста торфа в течение периода от 5 тыс.л.н., и, очевидно, до 3 тыс.л.н. свидетельствует о некой стабильности природных условий, когда процесс торфонакопления развивался приблизительно одинаково. Резкое похолодание и уменьшение увлажнения в SB-3 (3200-2200 л.н.) и последующие холодные фазы позднего голоцена затормозили общий прирост биомассы (0,1 мм/год). Такая же скорость прироста в этот период обнаружена в торфянике юга Архангельской области [14].

Таким образом, годовичные линейные приросты торфа на различных стадиях эволюции болота дают возможность оценить темпы аккумуляции органического вещества в палеоэкологической обстановке. Поверхностный горизонт торфяника представляет современный этап развития, а лежащий под ним корнеобитаемый слой в ходе диагенеза под влиянием современных биохимических процессов подвергается изменению. С глубиной сохранность растительных остатков при оторфовывании и скорость роста торфа возрастали (особенно до 6 тыс.л.н.) в связи со снижением интенсивности биохимических и микробиологических процессов. В пределах стратиграфического профиля различные стадии эволюции торфа маркируются ботаническим составом и линейной скоростью прироста торфа.

Полученные данные C^{14} датирования согласуются с аналогичными для верховых торфяников бассейна р. Воркута. По Т.М. Красовской [15], торфообразование завершилось 2,5 тыс.л.н.

Таблица 4

Стратиграфический профиль торфяной залежи

Глубина взятия образца, см	Степень разложе- ния, %	Линейная скорость прироста, мм/год	Радиоугле- родный воз- раст, лет назад ВР	Ботанический состав торфа, %	Вид торфа
0 ₄ +2	15	0,1	–	Древесные остатки (кора ели и ивы) 30; травянистые остатки 30; осоки (<i>Carex lasiocarpa</i> , <i>C. globularis</i>) 25; зеленые мхи 5; пушица 10; кустарнички един.	Древесно-травяной низинный, сильно минерализованный
0-21	15		–	Зеленые мхи 70; кора ели, ольхи, ивы 20; сфагновые мхи един.; осоки (<i>Carex sp.</i>) 10; кустарнички един.	Древесно-гипновый низинный
21-31	20		–	Зеленые мхи 75; осоки (<i>Carex chordorrhiza</i> , <i>C.sp.</i>) 25	Гипновый низинный
40-50	25	0,4	5010±60	Зеленые мхи 80; осоки (<i>Carex ch.</i> , <i>C. riparia</i>) 20	"_"
82-92	30		6290±80	Зеленые мхи 80; кора березы 10; осоки (<i>Carex ch.</i> , <i>C.sp.</i>) 10	"_"
92-100	25	1,0	–	Зеленые мхи 75; осоки (<i>Carex ch.</i> , <i>C.r.</i>) 15; кора ивы 10	"_"
100-110	25		–	Зеленые мхи 80; хвощ 10; кора ивы 10; сфагновые мхи един.; осоки (<i>Carex caespitosa</i> , <i>C. ch.</i>) един.	Гипновый низинный, слабо минерализованный
115-125	25		–	Зеленые мхи 75; осоки (<i>Carex g.</i> , <i>C.c.</i> , <i>C. ch.</i>) 25; вахта един.; древесные остатки един.	Гипновый низинный
130-140	25	0,9	6870±50	Осоки (<i>Carex g.</i> , <i>C.c.</i> , <i>C.ch.</i>) 35; вахта 10; зеленые мхи 10; кора березы, ивы 15; остальные растительные остатки 30	Древесно-травяной низинный
210-220	40		7940±60	Древесные остатки 45; зеленые мхи 15; хвощ 15; осоки един.; остальные растительные остатки 25	"_"

Таким образом, установлена корреляция стадий эволюции болотного массива со стадиями педогенеза, что позволяет уточнить динамику палеоландшафтов и природной среды в голоцене.

На основании исследований погребенных, полигенетических почв и торфяников Большеземельской тундры установлены особенности голоценовой истории развития в оптимальные и кризисные периоды. Полученная на основе расшифровки почвенной записи информация используется не только для реконструкции природной обстановки прошлого, она может быть полезна и для разработки сценариев будущих изменений почв и ландшафтов.

Работа выполнена в рамках Программы Отделения биологических наук РАН «Биологические ресурсы России: оценка состояния и фундаментальные основы мониторинга» по теме «Почвенно-функциональные ресурсы биосферы Европейского Северо-Востока и биогенные экотоны – фундаментальная основа охраны и мониторинга почвенно-земельного фонда».

Литература

1. Таргульян В.О. Память почв: формирование, носители, пространственно-временное разнообразие // Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропогенных взаимодействий. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 692 с.
2. Шнитников А.В. Изменчивость общей увлажненности материков Северного полушария // Зап. ГО СССР. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1957. Т.16. 336 с.
3. Ливеровский Ю.А. Почвы тундр северного края // Тр. Полярной комиссии. Л., 1934. Вып. 19. 112 с.
4. Чернов Г.А. Четвертичные отложения юго-восточной части Большеземельской тундры // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. М.: Изд-во АН СССР, 1947. № 9. С.70-75.
5. Русанова Г.В., Кяхри П. Погребенные почвы и педореликты в бассейне р. Уса (Большеземельская тундра) // Почвоведение, 2003. №1. С.23-32.
6. Арчегова И.Б. Реликтовые черты в почвах восточно-европейской тундры // История развития почв СССР в голоцене. Пушкино, 1984. С.78-79.
7. Болиховская Н.С., Болиховский В.Ф., Климанов В.А. Климатические и криогенные факторы развития торфяников Европейского Северо-Востока СССР в голоцене // Палеоклиматы голоцена европейской территории СССР. М.: Изд. ИГАН СССР, 1988. С.36-44.
8. Кременецкий К.В., МакДональд Г.М., Галабала Р.О. и др. Об изменении северной границы ареалов некоторых видов деревьев и кустарников в голоцене // Ботанический журнал, 1996. Т.81. № 4. С.10-25.
9. Хантемиров Р.М., Шиятов С.Г. Радиоуглеродные и дендрохронологические датировки полуископаемой древесины на Ямале и их

- использование в деле изучения динамики лесотундровых экосистем // Биота Приуральской Субарктики в позднем плейстоцене и голоцене. Екатеринбург, 1999. С.3-22.
10. *Kaakinen A., Eronen M.* Holocene pollen stratigraphy indicating climatic and tree-line changes derived from a peat section at Ortina, in the Pechora lowland, northern Russia // *The Holocene*, 2000. 10. No. 4. P. 611-620.
 11. *Singer M., Ugolini F.C.* Genetic history of two welldrained subalpine soils formed on complex parent materials// *Can.J. Soil Sci.*1974. Vol.4. No. 4. P.56-64.
 12. *Langley-Turnbaugh S.J., Bockheim J.G.* Time-dependent changes in pedogenic processes on marine terraces in coastal Oregon // *Soil Sci. Soc. Amer. Journ.* 1997. Vol. 61. No. 5. P.1428-1440.
 13. *Borren W.* Carbon exchange in Western Siberian Watershed mires and implication for the greenhouse effect. *Netherlands Geographical Studies* 355. Utrecht, 2007. 125 p.
 14. *Дьяконов К.Н., Абрамова Т.А., Серегина И.П., Безделова А.П.* Заболачивание среднетаежного морено-ледникового ландшафта в голоцене (юг Архангельской области) // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геоморфология*, 2008. № 2. С.28-34.
 15. *Красовская Т.М.* Пространственно-временные закономерности накопления тяжелых металлов в экосистемах Воркутинского промышленного района // *Биоиндикация природной среды Воркутинской тундры*. Сыктывкар, 1996. С.42-49. (Труды Коми научного центра УрО РАН; №143.

Статья поступила в редакцию: 25. 01. 2011

УДК 612.172

ИНТЕГРАТИВНЫЙ АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ И СЕРДЦА

В.П. НУЖНЫЙ, Н.А. КИБЛЕР, А.С. ЦВЕТКОВА, Д.Н. ШМАКОВ,
П.В. НУЖНЫЙ, С.В. ПАНЬКО

*Институт физиологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
noting @inbox.ru*

Изучены структурно-функциональная организация сердца и качество жизни пациентов с имплантированными электрокардиостимуляционными системами. Выявлены ограничение физической зоны комфортности и инверсия вектора качества жизни в социальное ожидание. Установлено наличие трехлетних циклов функционирования сердца, в течение которых оно изменяется в направлении упрощения структурной и функциональной организации. Установлен рост величины энтропии сердца, отражающей физиологические особенности его функционирования. На основании экспериментальных данных на адекватных человеку по типу активации модельных животных (собака) объяснен ряд закономерностей функциональной деятельности сердца человека при электрокардиостимуляции.

Ключевые слова: система сердца, электрокардиостимуляция (ЭКС), информационная энтропия сердца, структурно-функциональная организация, качество жизни

V.P. NUZHNY, N.A. KIBLER, A.S. TSVETKOVA, D.N. SHMAKOV, P.V. NUZHNY, S.V. PANYKO. **THE COMBINED ANALYSIS OF THE INTERACTION OF ELECTROCARDIOSTIMULATING SYSTEM AND THE HEART**

The structural and functional organization of the heart with implanted electrocardiostimulation system and quality of life under cardiostimulation were studied. Transformation of the electrophysiological and structural parameters in the heart were shown. Decrease of electrical heterogeneity of myocardium was revealed. The development of informational entropy of the heart system is correlated with dynamics of the structural transformation.

Key words: cardiac system, electrocardiostimulation, informational entropic system of the heart, structural organization of the heart, quality of life

Введение

Со времени имплантации первого электрокардиостимулятора (ЭКС) в 1958 г. достигнуты значительные успехи в кардиостимуляционных технологиях [1 – 3]. Остаются малоизученными механизмы функционирования сердца при ЭКС, исследование которых составляет одну из основных задач фундаментальной физиологии и клинической кардиологии. Сложность электрических процессов в миокарде [4, 5], отсутствие единого представления о роли изменений гетерогенности реполяризации [6], особенно при кардиостимуляции, затрудняют анализ этих влияний на структурные и функциональные преобразования в сердце, уровень которых определяется количеством и качеством возможных состояний системы сердца, а их развитие повинуется закону случая или принципу неопределенности [7].

Процессы, происходящие в сердце при кардиостимуляции, являясь по сути физиологическими, приводят к дезорганизации его деятельности, что проявляется в различных его функциональных

свойствах [8 – 10], анализ изменений которых не дает достаточной информации для оценки эффективности взаимодействия кардиостимуляционной системы и сердца. До настоящего времени остаются открытыми вопросы, какую же цену заплатит сердце, чтобы сохранить свое физиологическое предназначение? И сохранит ли оно свою функциональную неоднородность [11, 12] при жесткой синхронизации функций с внешним электрическим стимулом?

Интенсивность протекающих процессов зависит от поступающей в систему информации [13, 14], которая является причиной изменения ее состояния путем внесения определенности в реализацию того или иного события, и определяет уровень энтропии, при котором данная система будет существовать [15]. В биологических системах энтропия Шеннона не тождественна понятию физической энтропии [16], в них она связана со значением «ценности» или целесообразности информации для сохранения живой системы [17, 18].

При очевидной целесообразности ЭКС для пациента выявлены и недостатки долговременной кардиостимуляции в виде минимизации ожидаемых

клинических и долгосрочных эффектов в улучшении качества жизни [19 – 21].

Таким образом, определение функционального состояния сердца связано с решением классической задачи статистического анализа получаемой медицинской информации. В свою очередь, задача измерения и анализа информации сводится к теории меры, т.е. меры информации, позволяющей делать определенные выводы.

Целью исследования явилось выяснение закономерностей структурно-функциональной организации сердца при предсердно-желудочковой стимуляции и электростимуляции верхушки правого желудочка на основе интегративного анализа взаимодействия ЭКС системы и сердца.

Для объяснения ряда закономерностей функциональной деятельности сердца при ЭКС проведены клинические и экспериментальные исследования. В эксперименте использовали адекватные человеку по типу активации миокарда модельных животных, в частности, собаку [22, 23].

Материал и методы

Экспериментальная часть выполнена в соответствии с международными правилами обращения с экспериментальными животными (Guide for the Care and Use of Laboratory Animals – публикация US National Institutes of Health: NIH Publication № 85-23, ред. 1996) на беспородных взрослых собаках обоих полов ($n=13$). Животных наркотизировали (тиопентал Na 50 мг/кг, золетил 15 мг/кг), переводили на искусственную вентиляцию легких. Проводили торакотомию. Температуру тела поддерживали на уровне 37-38° С. Процессы деполяризации и реполяризации в сердце изучали осуществляя предсердно-желудочковую и ЭКС верхушки правого желудочка. Интрамуральные электрограммы регистрировали при последовательном изменении режимов ЭКС с помощью игольчатых электродов, общее количество макроэлектродов составляло 64 в каждом эксперименте. Регистрацию электрических потенциалов производили с помощью 128-канальной системы для синхронной регистрации электрического поля сердца [24]. Пространственно-временные и амплитудные характеристики кардиоэлектрического поля в интрамуральных слоях желудочков исследовали при помощи хронотопографических карт.

Структурную и функциональную организацию сердца изучали у пациентов в возрасте 60.4±6.3 года ($n=30$) в период с 1998 по 2004 г., которым были выполнены первичные имплантации ЭКС в предсердно-желудочковом режиме. Показаниями к имплантации ЭКС явились сино-атриальная и полная атриовентрикулярная блокады сердца. Пациенты с тяжелой сопутствующей патологией из эксперимента исключались. Изучали морфологические и функциональные показатели сердца, определяли тип ремоделирования и динамику структурной организации сердца, параметры центральной гемодинамики [25-27]. *Качество жизни* (КЖ) у 60 пациентов с 1998 по 2007 г. изучали с использованием краткой версии международной ан-

кеты – MOS – SF-36 (Medical, Outcomes Study – Short Form) [28]. Возраст пациентов составил 65.6±3.1 года. Конечной точкой исследования являлось изучение влияния ЭКС технологии на связанное со здоровьем качество жизни.

Данные в работе представлены в виде: среднее арифметическое ± стандартное отклонение ($M \pm \sigma$). Для оценки различий временных параметров применяли критерий Стьюдента для попарно связанных вариантов. Для определения зависимости времени реполяризации от времени активации и локальных длительностей реполяризации рассчитывали коэффициенты корреляции. Для оценки различий временных параметров применяли критерий Уилкоксона для попарно связанных вариантов и критерии Фридмана и Ньюмена-Кейлса для множественных сравнений. Значимым считали результат статистических исследований при вероятности $p < 0.05$. *Величину энтропии сердца* рассчитывали у пациентов ($n=30$), которым в период с 1998 по 2004 г. выполнены первичные имплантации предсердно-желудочковых ЭКС и у которых были изучены КЖ, динамика структурной организации сердца и параметры центральной гемодинамики. Использовали методику расчета логарифмической меры информации, позволяющей переделывать информационно-энтропийные характеристики сердца, как необходимую сердцу информацию по объему и новизне в условиях замещенной функции [16, 29]. Группы изучаемых показателей объединяли по морфологическим и функциональным показателям. Состояние сердца g оценивали более или менее однородными группами показателей X (морфологические, функциональные и др.), которые отражают морфологические параметры и структурно-функциональные характеристики сердца в процессе долговременной кардиостимуляции. Группы нумеровали с помощью индекса i . Предположим, что каждая из этих групп содержит $m(i)$ конкретных параметров, нумеруемых индексом j . Каждому обследуемому лицу присваивали номер k , каждому периоду снятия показателей (исходный – до имплантации кардиостимулятора, через полгода, через один год, через два-три года и через пять-семь лет после имплантации) – индекс l . Всего обследуемых – r , общее число показателей – t . Вычисляли вначале безразмерные величины Y :

$$Y_{ij}^{(kl)} = \frac{X_{ij}^{(kl)} - X_{i(\min)}^{(kl)}}{X_{i(\max)}^{(kl)} - X_{i(\min)}^{(kl)}} \quad (1)$$

где $X_{i(\min)}^{(kl)}$ и $X_{i(\max)}^{(kl)}$, соответственно, минимальная и максимальная величины по всем показателям i -й группы для выбранных k и l .

В целях перевода статистических измерительных безразмерных величин в информацию, нормировали величины (2) так, чтобы результаты нормировки $P_n^{(kl)}$ обрели свойства вероятности –

$$P_n^{(kl)} \in [0,1] \quad \text{и} \quad \sum_{n=1}^r P_n^{(kl)} = 1$$

$$P_n^{(kl)} = \frac{Y_{ij}^{(kl)}}{\sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{m(i)} Y_{ij}^{(kl)}} \quad (2)$$

$$n = \sum_{j=1}^{i-1} m(j) + j$$

здесь — общий индекс измеряемого показателя безотносительно использованного ранее деления на группы. Рассчитывали общую энтропию системы сердца по всем нормированным безразмерным показателям (3):

$$H^{(kl)} = - \frac{\sum_{n=1}^t P_n^{(kl)} \cdot \ln(P_n^{(kl)})}{\ln(t)} \quad (3)$$

Вычисляли среднюю по всем g обследуемым энтропию для каждого периода измерений l :

$$H^{(l)} = \frac{\sum_{k=1}^r H^{(kl)}}{r} \quad (4)$$

Строили графики $H(l)$ от l , отображающие развитие средней энтропии системы сердца у мужчин и женщин в зависимости от сроков имплантации кардиостимулятора.

Результаты и обсуждение

Реполяризация интрамуральных слоев желудочков сердца собаки при ЭКС верхушки правого желудочка. В отличие от синусного ритма, последовательность реполяризации миокарда желудочков повторяет последовательность активации: верхушка правого желудочка реполяризуется через 158.3 ± 27.2 мс, а основание левого — через 223.1 ± 34.8 мс после электрического стимула. Гетерогенность ARI в левом желудочке при ЭКС верхушки правого желудочка становится значимо меньше (35.5 ± 15.1 мс; $p < 0.05$ (рис.1)). В обоих желудочках сердца собаки выявлена инверсия апикобазального градиента реполяризации, которая обусловлена изменением распределения интервалов активации — восстановление в субэндокардиальных и интрамуральных слоях. В отличие от синусного ритма меж-

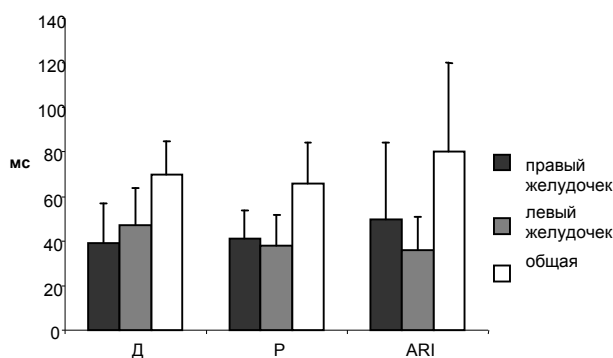


Рис.1. Дисперсии времен деполяризации (Д), реполяризации (Р) и локальных длительностей реполяризации (ARI) миокарда желудочков собак при ЭКС верхушки правого желудочка.

желудочковый градиент реполяризации при ЭКС верхушки правого желудочка выражен в области верхушки и формируется более длительными ARI на верхушке левого желудочка (255.8 ± 45.1 мс) по сравнению с верхушкой правого желудочка (239.0 ± 44.0 мс; $p < 0.05$).

Реполяризация интрамуральных слоев желудочков сердца собак при предсердно-желудочковой ЭКС (рис.2). Направление апикобазального градиента реполяризации идентично синусному ритму и представлено более короткими ARI на верхушке правого желудочка по сравнению с его основанием (241.1 ± 39.7 и 261.4 ± 38.8 мс, соответственно; $p < 0.05$). В левом желудочке, наоборот, короткие ARI обнаружены в основании по сравнению с его верхушкой (236.4 ± 45.3 и 249.2 ± 38.6 мс, соответственно; $p < 0.05$). При предсердно-желудочковой ЭКС увеличивается дисперсия локальных длительностей реполяризации (88.2 ± 31.3 мс) по сравнению с синусным ритмом (75.1 ± 12.1 мс), что сохраняет электрическую неоднородность миокарда левого желудочка в большей степени, чем ЭКС верхушки правого желудочка. Данный режим ЭКС характеризуется образованием межжелудочкового градиента реполяризации также в основании желудочков, но который, в отличие от синусного ритма, имеет противоположное направление (рис.3). При предсердно-желудочковой ЭКС образуется несколько областей активации миокарда: ранние — в области стимуляции на верхушке правого желудочка через 11.4 ± 7.9 мс от начала стимула и через 22.4 ± 0.4 мс за счет прорыва волны деполяризации в нижней трети межжелудочковой перегородки. Поздние области активации возникают, соответственно, в основании задней стенки левого желудочка через 52.9 ± 14.8 мс и на задней стороне верхушки левого желудочка через 56.8 ± 13.1 мс. При этом общее время охвата возбуждением миокарда желудочков увеличивается по сравнению с синусным ритмом до 57.1 ± 19.4 мс ($p < 0.003$). На верхушке правого желудочка в зоне стимуляции через 173.9 ± 28.1 мс образуется одна область ранней реполяризации. В нижней трети межжелудочковой перегородки и в основании левого желудочка выявляются две области поздней реполяризации, которые возникают, соответственно, через 245.6 ± 16.9 мс и 234.4 ± 45.6 мс, и общее

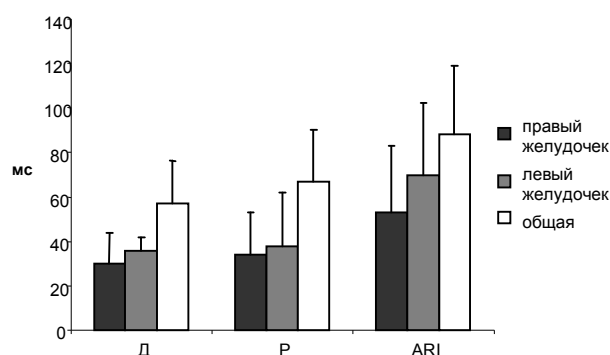


Рис. 2. Дисперсии времен деполяризации (Д), реполяризации (Р) и локальных длительностей реполяризации (ARI) миокарда желудочков собак при предсердно-желудочковой ЭКС.

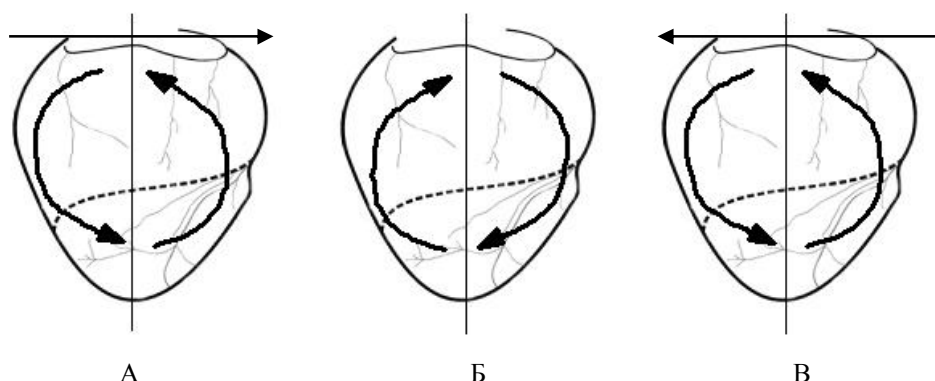


Рис.3. Схема изменений направления апикобазального и межжелудочкового градиентов реполяризации сердца собаки при синусном ритме (А), монополярной желудочковой (Б) и предсердно-желудочковой стимуляции (В).

время восстановления возбудимости увеличивается до 64.0 ± 22.9 мс ($p < 0.01$). Детерминированность последовательности реполяризации от активации более значима при предсердно-желудочковой стимуляции, чем при синусном ритме, но меньше, чем при ЭКС верхушки правого желудочка ($r = 0.37$).

Таким образом, если при синусном ритме миокарду желудочков присущи наличие электрической гетерогенности и независимость пространственно-временных характеристик распределения реполяризации от деполяризации, то ЭКС области верхушки правого желудочка сопровождается возникновением значимой детерминированности последовательности реполяризации от деполяризации, повышением электрической однородности миокарда левого желудочка, повышением трансмурального градиента в основании правого желудочка. Межжелудочковый градиент формируется в области верхушки, а апикобазальный градиент в отличие от синусового ритма инвертируется. При предсердно-желудочковой ЭКС образуются две области ранней активации: в области верхушки правого желудочка и в нижней трети перегородки, вследствие чего электрическая гетерогенность в свободной стенке левого желудочка, в сравнении с ЭКС верхушки правого желудочка, увеличивается, однако не достигает значений синусового ритма. Направление апикобазального градиента реполяризации идентично как при синусном ритме. Межжелудочковый градиент реполяризации формируется в основании сердца, но в отличие от синусового ритма направлен в противоположную сторону (в сторону правого желудочка). Основные изменения в распределении интервалов активации – восстановление при различных режимах ЭКС зарегистрированы в субэндокардиальных и интрамуральных слоях левого желудочка и на верхушке.

Таким образом, ЭКС верхушки правого желудочка и предсердно-желудочковая ЭКС изменяют электрофизиологические характеристики миокарда по сравнению с синусным ритмом. В результате детерминированности процесса реполяризации от

деполяризации формируется необходимый уровень электрического ремоделирования в миокарде, вследствие чего происходит локальное и региональное перераспределение механической нагрузки, что является основой последующей быстрой структурной и функциональной перестройки сердца.

Структура и функция сердца пациентов при предсердно-желудочковой ЭКС. Конечный диастолический размер левого желудочка увеличивается с 5.14 ± 0.39 см до 5.38 ± 0.26 ($p < 0.05$). Продольный систолический размер левого желудочка уменьшается с 6.69 ± 0.45 см до 6.34 ± 0.47 ($p < 0.05$). Индекс сферичности миокарда левого желудочка в систолу увеличился с 0.52 ± 0.06 до -0.56 ± 0.05 через два-три года, до -0.58 ± 0.05 через семь лет ($p < 0.05$). Одновременно с объемными показателями, возрастает индекс массы миокарда с 149.47 ± 31.46 г/м² до 163.86 ± 29.97 . В течение первых трех лет ЭКС толщина задней стенки левого желудочка и межжелудочковой перегородки увеличивается соответственно с 1.18 ± 0.18 см до 1.25 ± 0.10 , и с 1.32 ± 0.34 см до 1.33 ± 0.31 , что отражает, по-видимому, возникновение в миокарде областей, испытывающих большую нагрузку во время ЭКС, которая нивелируется гипертрофией стенок левого желудочка. Выявлена динамическая трансформация геометрических моделей левого желудочка. Исходно в равной степени присутствовали концентрическая и эксцентрическая гипертрофия миокарда левого желудочка. В течение первого года ЭКС увеличивается число концентрической гипертрофии ЛЖ в 1.5 раза, а количество пациентов с эксцентрической гипертрофией миокарда, наоборот, уменьшается. К третьему году ЭКС начинается трансформация типов ремоделирования, увеличивается доля пациентов с эксцентрической гипертрофией миокарда, число которых продолжает нарастать к седьмому году стимуляции (рис.4). Таким образом, в ранний период ЭКС гиперфункция кардиомиоцитов и концентрическая гипертрофия миокарда изменяют эффективную преднагрузку и оптимально переводят напряжение

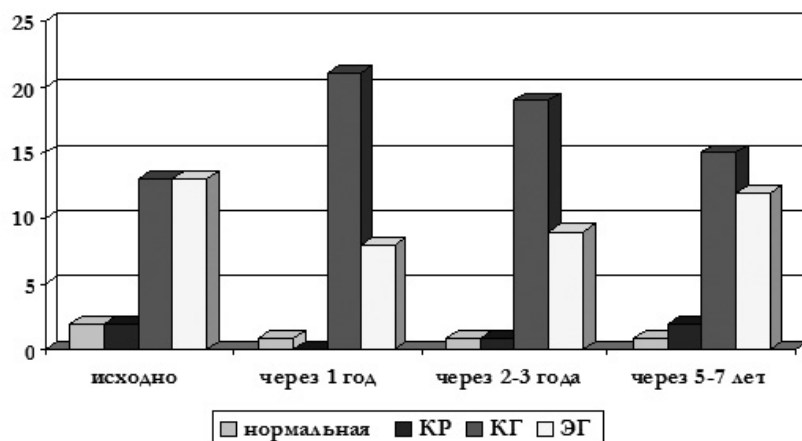


Рис. 4. Динамика геометрических моделей левого желудочка (ЛЖ) сердца у пациентов с предсердно-желудочковой ЭКС. Нормальная геометрия миокарда; КР – концентрическое ремоделирование; КГ – концентрическая гипертрофия ЛЖ; ЭГ – эксцентрическая гипертрофия ЛЖ.

стенки левого желудочка во внутрижелудочковое давление на фоне усиливающегося электромеханического асинхронизма. Несмотря на то, что локальные изменения в миокарде могут быть критическими, целое сердце все равно сохраняет функциональную однородность системы, которая реализуется через структурную организацию миокарда и способствует тому, что ранний период ЭКС сопровождается улучшением качества жизни пациентов. В связи с постоянным нарастанием величины миокардиального стресса на третьем году ЭКС формируется тенденция к укорочению продольного систолического размера левого желудочка и увеличивается индекс сферичности миокарда. Подобные изменения в сердце способствуют уменьшению механической нагрузки на миокард левого желудочка вследствие увеличения сферичности миокарда. Именно этот период ЭКС сопровождается ухудшением показателей качества жизни [20], особенно физического статуса, с сохранением исходных параметров центральной гемодинамики и знаменует собой процесс начала долговременной структурно-функциональной организации сердца.

Качество жизни пациентов (таблица). Показатели качества жизни пациентов претерпевают разнонаправленные изменения. Суммарный показатель качества жизни составляет $49.2 \pm 4.5\%$. При этом выявлено снижение всех по-

казателей качества жизни: показатель социальной активности равен $72.5 \pm 4.3\%$, показатель сравнительной оценки состояния здоровья – $66.7 \pm 4.5\%$, а болевые ощущения сохранялись на уровне $62.3 \pm 5.1\%$. Снижение пациентами оценки физической активности до $27.5 \pm 6.2\%$, а ролевого эмоционального функционирования до $34.4 \pm 6.5\%$. ($p < 0.05$) при сохраненных гемодинамических показателях, указывает на отсутствие у пациентов навыков коррекции новых, связанных с ЭКС ощущений, которые воспринимаются, как проявления болезни в

условиях отсутствия ожидаемого комфорта. Анализ в подгруппах выявил значимое снижение пациентами оценки физической активности в возрасте от 50 до 59 лет ($p < 0.05$), особенно низким до $11 \pm 5.6\%$ ($p < 0.05$) этот показатель оценивался на третьем году ЭКС, в эти сроки отмечается падение и без того низкого уровня ролевого социального функционирования. В то время как в течение первых двух лет после имплантации ЭКС качество жизни пациентов характеризовалось повышением роли физической и социальной составляющей. На третьем году ЭКС выявлена тенденция к ухудшению качества жизни во всех возрастных группах, независимо от режима стимуляции с последующей стабилизацией показателей к шестому году ЭКС, которые, однако, не достигают прежнего уровня.

Информационно-энтропийная характеристика сердца пациентов с предсердно-желудочковой ЭКС. Исходно величина энтропии у мужчин

Показатели качества жизни в зависимости от длительности ЭКС (n=60)

Показатели качества жизни, %	0,5 лет	1 год	2 года	3 года	4 года	5 лет	7 лет
Ролевое физическое функционирование	54±4,1	60±2,5	54±3,6	33±4,5	35±6,2	75±1,8	28±5,6
Физическое функционирование	38±12,3	39±8,6	17±2,4	11±5,6*	25±7,9	21±1,5	31±0,9
Боль	64±5,3	73±4,2	54±1,3	41±3,5	31±4,3	51±1,9	68±5,4
Оценка здоровья	47±5,4	43±6,8	46±5,9	59±5,7	52±8,6	55±4,6	52±2,8
Жизнеспособность	48±4,3	34±2,6	52±5,8	45±4,9	45±2,8	50±1,9	46±1,4
Социальная активность	79±2,1	66±4,5	60±6,5	100±8,1	88±0,6	75±4,6	75±5,6
Ролевое эмоциональное функционирование	44±2,4	48±2,9	17±5,4	17±6,8	33±3,5	33±7,5	42±6,8
Социальное функционирование	66±5,6	40±2,8	59±2,9	60±5,6	80±8,9	68±4,6	58±5,8
Сравнительная оценка состояния	79±2,6	75±5,8	63±4,6	75±8,3	50±2,5	50±1,9	44±5,6

*- $p < 0,05$ внутри подгруппы в соответствии с критерием Ньюмена - Кейлса.

была ниже, чем у женщин, и составила 0.7896 и 0.7905, соответственно. Прирост энтропии у мужчин в течение первых шести месяцев кардиостимуляции был незначительным, и ее величина равна 0.7897. Величина энтропии в последующие шесть месяцев первого года ЭКС у мужчин отмечалась выраженным ростом значения до уровня 0.7914, при этом график кривой роста приобретал вертикальный подъем. В последующие годы ЭКС в сроки до двух с половиной лет у мужчин выявлено продолжающееся значительное увеличение развития энтропии, которая достигала величины 0.7935. В следующий период ЭКС до шести лет также наблюдалось продолжающееся увеличение энтропии Шеннона до величины 0.7950, однако скорость развития энтропии замедлялась (рис.5). Величина энтропии Шеннона у женщин исходно была выше, чем

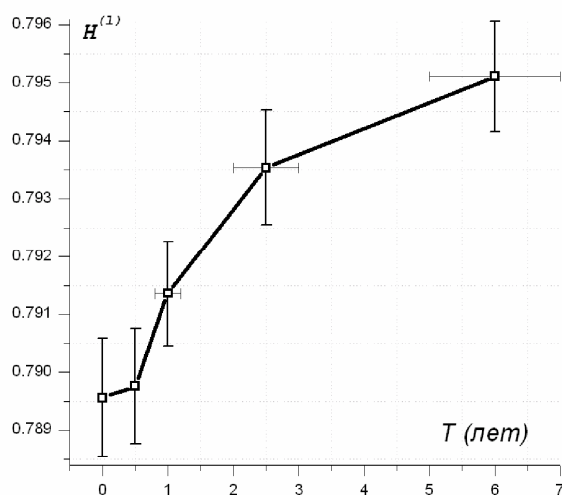


Рис. 5. Динамика развития энтропии сердца у мужчин с предсердно-желудочковой ЭКС в различные сроки кардиостимуляции (объяснение в тексте).

у мужчин и составляла 0.7905. В течение первых шести месяцев ЭКС величина энтропии увеличилась до 0.7907. При этом скорость нарастания величины энтропии соответствовала скорости роста энтропии мужчин. Второе полугодие ЭКС у женщин в отличие от мужчин не сопровождалось резким ростом значений энтропии. К окончанию первого года ЭКС величина энтропии у женщин была меньше и составляла 0.7909 (у мужчин – 0.7914). В течение первого года ЭКС у женщин установлен равномерный рост энтропии. В сроки стимуляции от одного года до двух с половиной лет выявлено резкое развитие энтропии Шеннона, которая хотя и имела быстрое увеличение до значения 0.7919, но уступала в полтора раза величине энтропии в эти сроки у мужчин (0.7935). Темп развития энтропии у женщин после двух с половиной лет ЭКС замедлялся, и становился меньше (0.7917), чем у мужчин (0.7950) (рис.6). Развитие энтропии сердца у мужчин и женщин свидетельствует о том, что воздействие ЭКС на подсистемы сердца вызывает одинаковые реакции со стороны сердца, но у мужчин влияние ЭКС на сердце более выражено. Динамика ин-

дивидуальной структурной организации сердца и центральной гемодинамики позволяет констатировать, что величина энтропии, отражающая различные и, возможно, разнонаправленные состояния сердца в измеряемых временных интервалах, не выходит за границы определенного физиологического оптимума функционирования сердца и характеризует стремление сердца находиться в пределах физиологического комфорта в течение всего периода кардиостимуляции.

Заключение

Лимитирование электрофизиологических процессов в миокарде, повышение электрической однородности, изменения структурно-функциональной организации сердца и тренд развития величины энтропии сердца позволяют констатировать, что одним

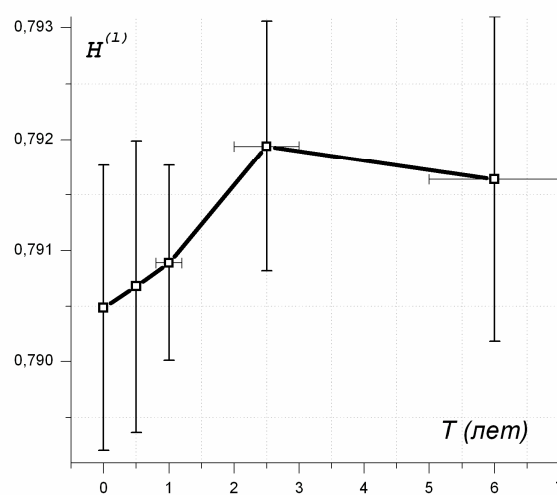


Рис.6. Динамика развития энтропии сердца у женщин с предсердно-желудочковой ЭКС в различные сроки кардиостимуляции (объяснение в тексте).

из механизмов поддержания функционирования сердца в условиях его системной автономности и изоляции при длительной ЭКС является «упрощение» параметров структурно-функциональной организации миокарда. Для сохранения основной целеполагающей функции сердце платит большую «цену» через динамично образующиеся структуры, которые, в свою очередь, претерпевают развитие «от сложного к простому».

Таким образом, перераспределение локальной и региональной работы сердца на новый энергетический уровень, включение механизмов осуществления оптимальных функциональных связей физиологических систем организма, управляющих переходом от одного способа гомеостаза к другому и определяющих так называемое «функциональное» ремоделирование миокарда, является по сути доминирующей составляющей в структурно-функциональной организации сердца в течение первых трех лет ЭКС и характеризуется улучшением качества жизни пациентов и сопровождается ростом энтропии сердца, поэтому в ранний период ЭКС возможны обратимость структурной организации сердца и уменьшение энтропии.

Переключение процессов управления с энергетического уровня на филогенетический является доминирующим после трех лет ЭКС и узловым моментом в функциональной деятельности сердца, расширяя или сужая для пациентов сферу жизнедеятельности, имеет свою биологическую или структурную «цену», зависит от интенсивности триггерных механизмов, реализующих эволюционную программу инвариативности сердца. В этот период ЭКС происходит уменьшение и даже распад функциональных связей между органами и системами организма ввиду их физиологической нецелесообразности в сохраняющихся условиях протезированной системной функции сердца, поэтому обратимость в структурной организации сердца становится в принципе невозможна. Рост энтропии в этом случае является уже мерой необратимости структурной организации сердца и характеризует протекание процессов в направлении, совпадающем с эволюционным старением системы, а направление вектора времени внутри системы сердца, наоборот, в обратную сторону.

1. Продолжительная электрокардиостимуляция при имплантируемых ЭКС кардинально изменяет структурно-функциональную организацию сердца: лимитирует электрофизиологические процессы, создавая тем самым условия для динамической перестройки структур сердца в формы целесообразных моделей функционирования. Электрокардиостимуляция изменяет качество жизни пациентов, ограничивая мотивационный механизм взаимодействия пациента и социума.

2. В течение первых двух лет электрокардиостимуляция повышает физическую и социальную составляющие качества жизни. На третьем году происходит их значительное снижение с последующей инверсией физической составляющей зоны комфорта на социальную за счет возрастающих социальных ожиданий.

3. Анализ информационной энтропии позволяет количественно осуществлять интегративную оценку функционального состояния сердца. При электрокардиостимуляции развитие информационной энтропии сердца сопровождается постоянным ростом ее величины и претерпевает изменения, отражающие физиологические особенности функционирования сердца во временных интервалах, соотносясь с динамикой структурных преобразований в сердце, носит нелинейный фазовый характер и происходит по скачкообразной траектории, предопределяя периоды трехлетних устойчивых циклов функционирования системы сердца.

Исследование поддержано Уральским отделением РАН (Программа Президиума РАН и Программа поддержки совместных проектов, выполняемых с ДВО РАН).

Литература

1. Мюжика Ж., Егоров Д., Барольд С. Новые перспективы в электрокардиостимуляции. СПб.: Сильван, 1995. С.162-170.
2. Хирманов В.Н., Шальдах М., Юзвинкевич С.А. Возможности современной электрокардиостимуляции в лечении сердечной недостаточности // Сердечная недостаточность, 2001. Т.2. №5. С.228-230.
3. Бокерия Л.А., Ревиншвили А.Ш., Дубровский И.А. Состояние электрокардиостимуляции в России в 2005 году // Вестник аритмологии, 2007. №47. С.5-9.
4. Akar F.G., Laurita K.R., Rosenbaum D.S. Cellular basis for dispersion of repolarization underlying reentrant arrhythmias // J. Electrocardiol., 2000. Vol.33. P.23-31.
5. I_{Kr} contributes to the altered ventricular repolarization that determines long-term cardiac memory / M.N.Obreztschickova, K.W.Patberg, A.Plotnikov, N.Ozgen, I.N.Shlapakova, A.V.Rybin, E.A.Sosunov, P. Jr.Danilo, E.P.Anyukhovsky, R.B.Robinson, M.R.Rosen // Cardiovasc. Res. 2006. Vol.71. P.88-96.
6. Prinzen F.W., Peschar M. Relation between the pacing induced sequence of activation and left ventricular pump function in animals // Pacing Clin. Electrophysiol., 2002. Vol.25. P.484-498.
7. Борн М. Моя жизнь и взгляды. М.: Прогресс, 1973. С.141-158.
8. Anyukhovsky E.P., Sosunov E.A., Feinmark S.J., Rosen M.R. Effects of quinidine of repolarization in canine epicardium, midmyocardium, and endocardium: II. In vivo study // Circulation, 1997. Vol.96. No. 11. P.4019-4026.
9. Asynchronous electrical activation induces asymmetrical hypertrophy of the left ventricular wall / M.F.M.Van Oosterhout, F.W.Prinzen, T.Arts, J.J.Schreuder, W.Y.R.Vanagt, J.P.M.Cleutjens, R.S.Reneman / Circulation, 1998. Vol.98. P.588-595.
10. Andersen H.R., Nielsen J.C. Single-lead ventricular pacing is no longer an option for sick sinus syndrome // J. Am. Coll. Cardiol, 2004. Vol.43. No. 11. P.2072-2074.
11. Шумаков В.И., Бляхман Ф.А. Связь механической неоднородности миокарда с функциональным резервом сердца // Тез. Рос. нац. конгр. кардиологов. СПб., 2002. С.472.
12. Проценко Ю.Л. Влияние неоднородности и нелинейности механических характеристик миокарда на его сократимость: Диссертация в виде научного доклада. Сыктывкар, 2005. С.11-13, 30-32.
13. Фролов В.А., Моисеева Т.Ю. Живой организм как информационно-термодинамическая система // Вестник Российского университета дружбы народов: Серия «Медицина», 1999. №1. С.6-14.
14. Нестеров В. Теория квантовой энтропийной логики. Международная академия// Межакadémический информационный бюллетень. СПб.: МАИСУ, ИНТАН, 1999. №13-14. С.29-31.
15. Кучин Л.Ф., Кулиш С.Н., Черенков А.Д. и др. Информационное поле и его взаимосвязь с окружающим миром // Радиоэлектронні компютерні системи, 2009. №2(36). С.142-147.

16. Шеннон К.Э. Работы по теории информации и кибернетике. М., 1963. 827с.
17. Мелик-Гайказян И.В. Информационные процессы и реальность. М.: Наука Физматлит., 1997. 192 с.
18. Левченко В.Ф., Старобогатов Я.И. Попытка оценки биоразнообразия в палеоэпохи // Теоретические основы биоразнообразия. СПб., 2000. С.35-38
19. Нужный В.П., Шмаков Д.Н., Азаров Я.Э., Нужная Т.Г. Качество жизни пациентов с имплантированной кардиостимуляционной системой //Анналы аритмологии, 2008. №1. С.75-87.
20. Galtes I., Lamas G.A. Cardiac Pacing for Bradycardia Support: Evidence-based approach to pacemaker selection and reprogramming // Curr. Treat. Options Cardiovasc. Med., 2004. Vol.6 (5). P.385-395.
21. Cost-effectiveness of physiological pacing: results of the Canadian Health Economic Assessment of Physiologic Pacing / B.J.O' Brien, G.Blackhouse, R.Goeree, J.S.Healey, R.S.Roberts, M.Gent, S.J.Connolly. Heart Rhythm. 2005. Vol.2(3). P.270-275.
22. Total Excitation of the Isolated Human Heart/ D.Durrer, R.Van Dam, G.Freud, M.Janse, F.Meijler, R. Arzbacher // Circulation, 1970. Vol.41, No.6. P.899-912.
23. Scher A.M., Young A.C. The pathway of ventricular depolarization in dog // Circ. res., 1956. Vol.4. P.461-469.
24. Многоканальная система для синхронной регистрации электрического поля сердца / М.П.Рощевский, Д.Н.Шмаков, И.М.Рощевская, А.В.Плосков, М.Ю.Камбалов, В.А.Витязев, Н.В.Артеева // Тезисы докладов XVIII съезда физиологического общества им.И.П.Павлова. Казань, 2001. С.418
25. Шиллер Н., Осипов М.А. Клиническая электрокардиография. М., 1992. С.21-27.
26. Виноградова Т.С. Инструментальные методы исследования сердечно-сосудистой системы. М.: Медицина, 1986. С.284-385.
27. Ganau A., Devereux R.B., Roman M.J. Patterns of left ventricular hypertrophy and geometric remodeling in essential hypertension // J. Am. Coll. Cardiol., 1992. Vol.19. P.1550-1558.
28. Ware JE, Jr, Sherbourne C.D. The MOS 36 – item Short – Form Health Survey (SF-36). (Medical, Outcomes Study – Short Form) // J. Conceptual framework and item selection. Med. Care, 1992. Vol.30. P.473-83.
39. Рамус Е.В., Рамус Ю.Л., Козуница Г.С. Информационно-энтропийный подход к определению здоровья // СПб.: Вестник Балтийской педагогической академии, 1999. №1. Вып.25. С.38-46.

Статья поступила в редакцию 20.04.2011

УДК: 550.4

НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ ПРОДУКТЫ ПИРОЛИЗА КЕРОГЕНА

Д.А. БУШНЕВ

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

Приводятся результаты изучения керогена методом пиролизической газовой хроматографии и хромато-масс-спектрометрии продуктов его пиролиза. В качестве основных объектов исследования выбраны средневожские горючие сланцы Волго-Печорской сланцевой провинции и доманиковые отложения Тимана. Рассмотрен ряд соотношений продуктов пиролиза керогена, использование которых обладает определенным потенциалом при изучении химической структуры керогена и условий его формирования. Трехкомпонентные диаграммы, отражающие соотношение алифатических углеводородов, ароматических углеводородов и производных тиафена, обладают высокой информативностью при изучении химической структуры и условий образования керогена.

Ключевые слова: кероген, on-line пиролиз, пиролизическая ГХ, фрагменты керогена

D.A. BUSHNEV. LOW MOLECULAR WEIGHT PRODUCTS OF KEROGEN PYROLYSIS

The results of the study of kerogen by pyrolysis gas chromatography and gas chromatography-mass spectrometry of the off-line pyrolysis products are given. The Middle Volga shales of the Volga-Pechora province and the Domanik bituminous shale deposits are chosen as the main objects of study. A number of ratios of pyrolysis products of kerogen, the use of which has definite potential for studying the chemical structure of kerogen and the conditions of its formation, is considered. The proposed three-component diagrams showing the ratio of aliphatic hydrocarbons, aromatic hydrocarbons and thiophene derivatives are highly informative in studying the chemical structure and conditions for the formation of kerogen.

Key word: kerogen, on-line pyrolysis, pyrolysis GC, fragments of kerogen

Проблема изучения химического строения керогена имеет большое практическое и теоретическое значение. Структура керогена однозначно определяет те условия, которые могут привести к интенсивной генерации нефтяных и газовых УВ в нефтегазоматеринских толщах [1]. Кроме того, применительно к горючим сланцам очевидно, что структура керогена будет определять состав образующейся при их переработке сланцевой смолы и влияет на выбор оптимальных технологических процессов. Изучение же структуры керогена имеет определенные особенности, которые обусловлены самой природой данного объекта. Высокомолекулярный характер и отсутствие регулярной структуры диктуют необходимость использования деструктивных методов для исследования керогена. Пиролиз керогена с последующим анализом состава образующихся продуктов дает возможность высказывать определенные суждения о составе элементарных звеньев керогена и способах их сочленения. Пиролизическая газовая хроматография – это один

из основных методов изучения состава продуктов пиролиза керогена.

Экспериментальная часть

Для выполнения пиролизической газовой хроматографии керогена нами был использован газовый хроматограф «Кристалл-2000М», оснащенный пиролизической приставкой. Пиролиз проводился при температуре 600 °С (15 с). Разделение компонентов пиролизата керогена проводилось с использованием капиллярной колонки HP-1 25 м × 0.32 мм толщина неподвижной фазы 0.52 мкм. Температура термостата колонок программировалась от 10 (выдержка 2 мин) до 300 °С со скоростью 5 °С/мин. Дополнительное концентрирование продуктов пиролиза керогена в начальном участке хроматографической колонки достигалось за счет программирования давления газа носителя. Первые две минуты после начала анализа оно составляло 25 кПа, затем увеличивалось до 50 кПа.

Идентификация компонентов, входящих в состав продуктов пиролиза керогена, осуществлялась двумя основными способами – это сравнение времен удерживания стандартных соединений и компонентов пиролизата керогена, кроме того, применялось сопоставление индексов удерживания компонентов смеси и опубликованных [2, 3].

Для повышения достоверности идентификации 2,3-диметилтиофена нами был осуществлен его синтез путем восстановления 3-метил-2-тиофенкарбоксиальдегида (Aldrich, технич., 90 %) алюмогидридом лития в присутствии безводного хлорида алюминия.

Пиролиз керогена с промежуточным выделением продуктов пиролиза с последующим их анализом методом хромато-масс-спектрометрии выполнялся на приборе Shimadzu QP5050A [4]. Анализ в данном случае подвергался как нефракционированный пиролизат, так и его узкие (алифатическая и ароматическая) фракции. В данном случае использовалась колонка с неподвижной фазой SPB-5, что обусловило определенные отличия индексов удерживания исследуемых соединений, а сам пиролиз проводился при 410 °C.

Результаты и обсуждение

Тиофеновый индекс

Тиофеновый индекс – это введенное Эглин-тоном с коллегами [5] отношение 2,3-диметилтио-

фена к сумме *о*-ксилола и *н*-нонена-1. Смысл этого индекса очевиден – чем больше тиофена по отношению к сумме углеводородов, тем выше содержание органически связанной серы в структуре керогена. На самом деле наблюдается четкая положительная корреляция между атомным отношением S_{org}/C и величиной тиофенового индекса. Представляет значительный интерес сравнить величины тиофенового индекса, измеренного методом пиролитической газовой хроматографии с *on-line* разложением керогена при 600 °C и *off-line* хромато-масс-спектральном анализе продуктов пиролиза керогена, полученном при 410 °C. При анализе пиролизата методом хромато-масс-спектрометрии расчет тиофенового индекса производился нами по величине отношения двух пиков на хроматограмме по общему ионному току. Первый пик – это 2,3-диметилтиофен, а второй – сумма *о*-ксилола и *н*-нонена-1. Идентификация пиков подтверждается путем анализа стандартных соединений, а также и анализом масс-спектров (рис. 1). При проведении пиролитической газовой хроматографии удалось, как и в оригинальной работе, добиться разделения пиков всех трех соединений, которые используются для расчета тиофенового индекса.

Сопоставление величин тиофеновых индексов, определенных различными методами, показывает неплохую сходимость результатов измерений (рис. 2). При этом результаты, полученные методом

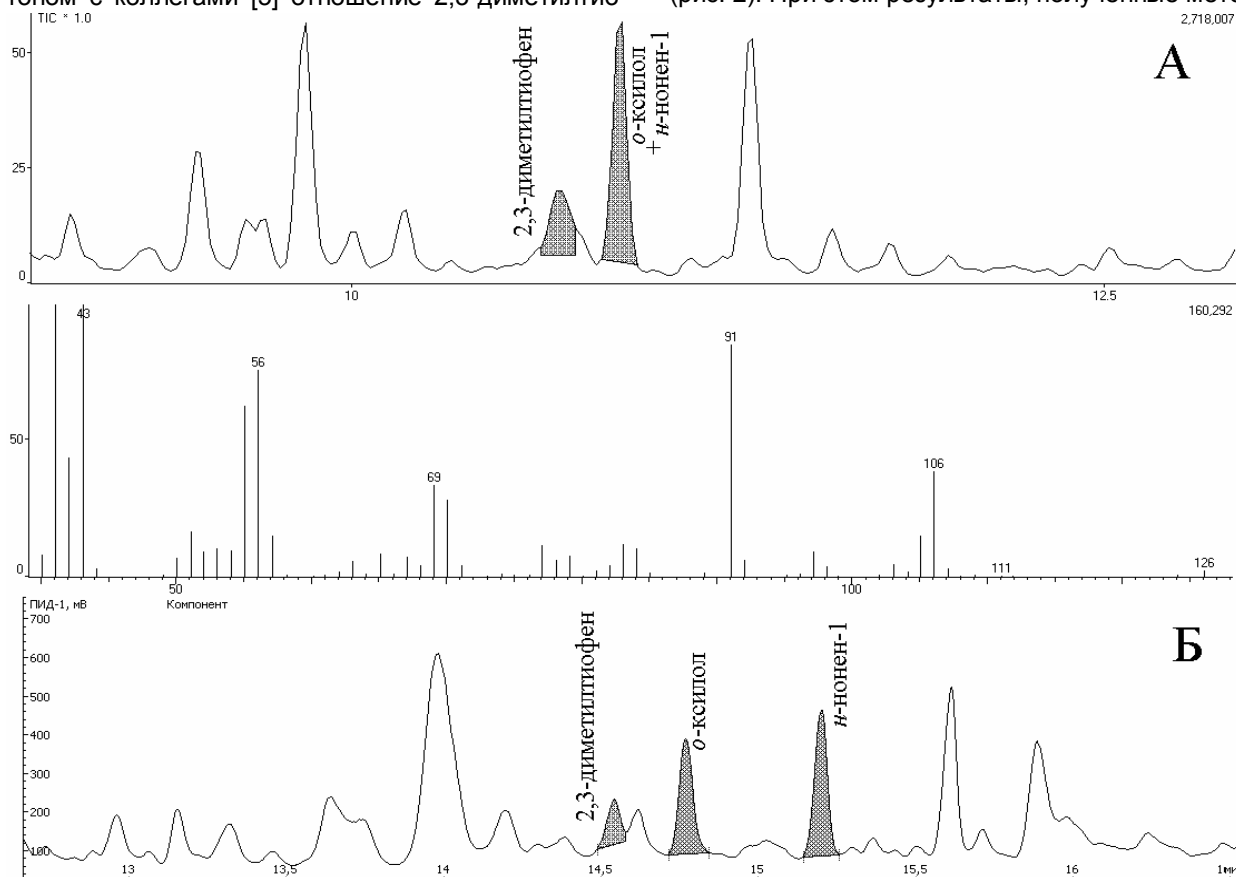


Рис. 1. Пики компонентов, используемых для расчёта тиофенового индекса (TR, Eglinton et al., 1990) на А) масс-хроматограмме продуктов пиролиза керогена (колонка SPB-5) и Б) хроматограмме продуктов пиролиза (колонка HP-1). Приводится масс-спектр смесового пика *о*-ксилол+*н*-нонен-1. Образец керогена карьер доманик КД-39.

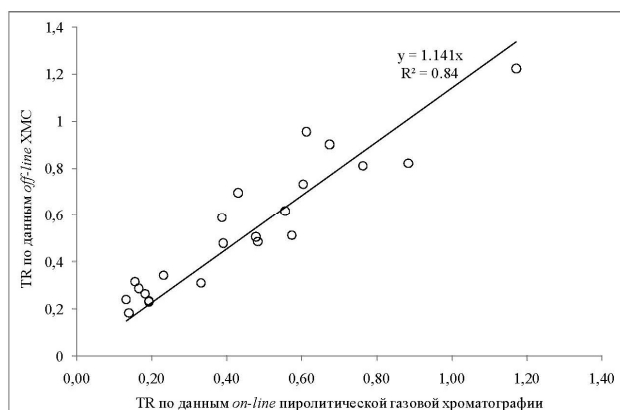


Рис. 2. Сопоставление величин тиюфенового индекса, определенного методами *on-line* пиролитической газовой хроматографии и *off-line* хромато-масс-спектрометрии.

хромато-масс-спектрометрии в среднем несколько выше, чем полученные на хроматографе с использованием пламенно ионизационного детектора. Это объясняется более низкой относительной чувствительностью ДИП к серосодержащим соединениям, по сравнению с углеводородами. В практическом же смысле оценки содержания органически связанной серы в составе керогена оба метода дали практически эквивалентные результаты.

Отношение 2-метилтиофен/толуол

Еще одним отношением, обладающим высоким потенциалом использования для оценки содержания органически связанной серы в составе керогена, является отношение 2-метилтиофен/толуол. Его измерение несколько затруднено недостаточным разделением компонентов на колонке с метилсиликоновой фазой (HP-1), в то же время фаза с небольшим добавлением фенила (SPB-5) прекрасно разделяет исследуемые соединения (рис. 3). Несмотря на неполное разделение компонентов, произвести расчет отношения 2-метилтиофен/толуол вполне возможно. Если сопоставить величины

отношений 2-метилтиофен/толуол и тиюфенового индекса, становится очевидным их хорошая коррелируемость (рис. 4). Тем не менее, нельзя не отметить солидарность с мнением авторов [5], что тиюфеновый индекс обладает значительным экспертным потенциалом, так как учитывает в своем составе вклад и алифатических и ароматических углеводородов, что в известной мере компенсирует вариативность состава углеводородов, образующихся при пиролизе. С другой стороны, толуол и 2-метилтиофен присутствуют в составе продуктов пиролиза в значительно более высоких концентрациях, по сравнению с компонентами, которые используются для расчета тиюфенового индекса. В итоге можно указать, что оба отношения имеют большое значение при оценке сернистости керогена.

1,2,3,4-тетраметилбензол

1,2,3,4-тетраметилбензол – соединение, присутствие которого в составе продуктов пиролиза керогена связывают с термодеструкцией производных изорениератена, включенных в матрицу керогена. Сам изорениератен, как это хорошо известно [6], маркирует обстановки сероводородного заражения фотического слоя вод палеобассейна, так как входит в состав липидной фракции зеленых серных бактерий рода *Chlorobiaceae*. Впрочем, известны мнения и о возможном альтернативном происхождении 1,2,3,4-тетраметилбензола в составе продуктов пиролиза керогена [7]. Не располагая самим 1,2,3,4-тетраметилбензолом в качестве стандартного соединения, мы использовали для его идентификации опубликованный [2] индекс удерживания на колонке с метилсиликоновой фазой. Несомненно, что более надежная идентификация 1,2,3,4-тетраметилбензола возможна при анализе продуктов пиролиза керогена хромато-масс-спектральным методом.

Соотношение алифатических и ароматических углеводородов

Мы полагаем, что потенциал метода пиролитической газовой хроматографии для исследования

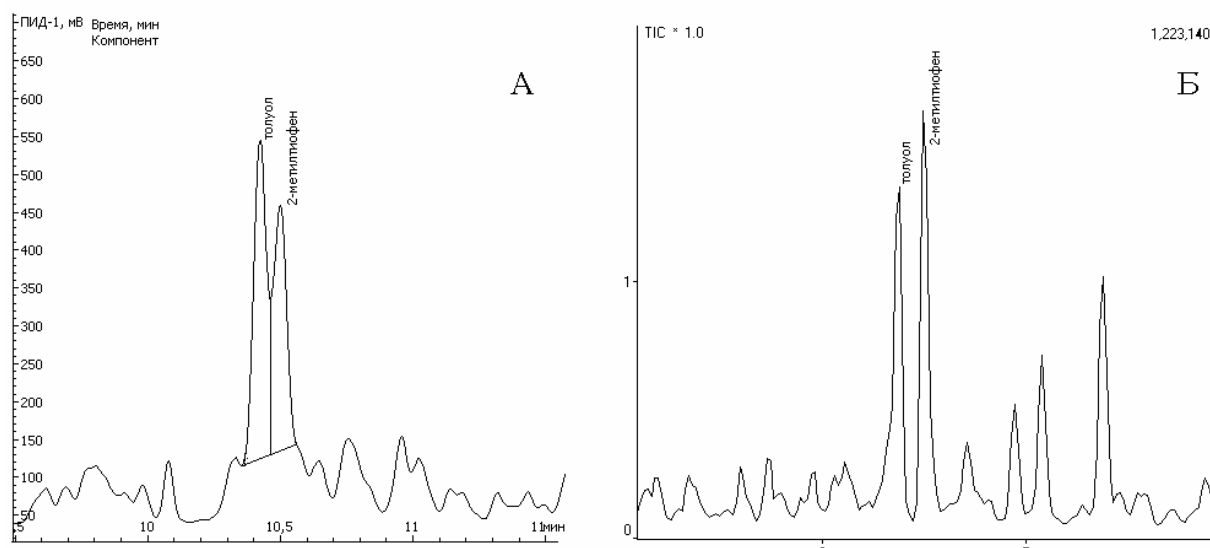


Рис. 3. Разделение пиков толуола и 2-метилтиофена на А) хроматограмме продуктов пиролиза (колонка SPB-5) и Б) масс-хроматограмме продуктов пиролиза керогена (колонка HP-1).

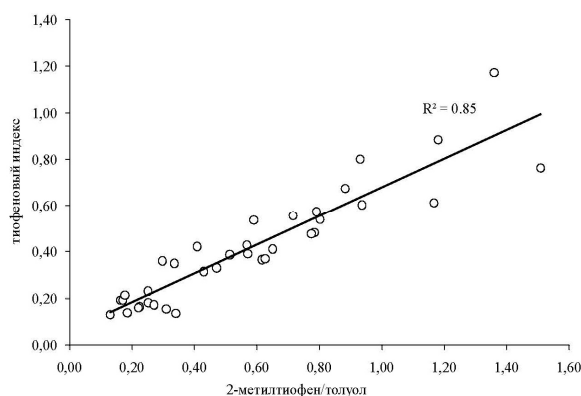


Рис. 4. Сопоставление величин отношения 2-метилтиофен/толуол и тиофенового индекса, рассчитанного по данным пиролитической газовой хроматографии.

структуры и условий формирования керогена далеко не исчерпывается интерпретацией перечисленных коэффициентов и соединений. Например, с помощью данного метода анализа можно оценить относительное содержание алифатических и ароматических продуктов, входящих в состав пиролизата. Мы рассчитали отношение площадей пиков бензола, толуола, *n*-гептена-1, *n*-гептана, *n*-октена-1 и *n*-октана. Отношение суммы указанных ароматических углеводородов к сумме алифатических может, с нашей точки зрения, быть использовано при геохимических исследованиях. Так, данное отношение, рассчитанное для серии керогенов, выделенных из средневожжских отложений, показывает функциональную зависимость от содержания $C_{орг}$ в исходной для выделения керогена породе (рис. 5). В интервале 0-5 % $C_{орг}$ фиксируется неко-

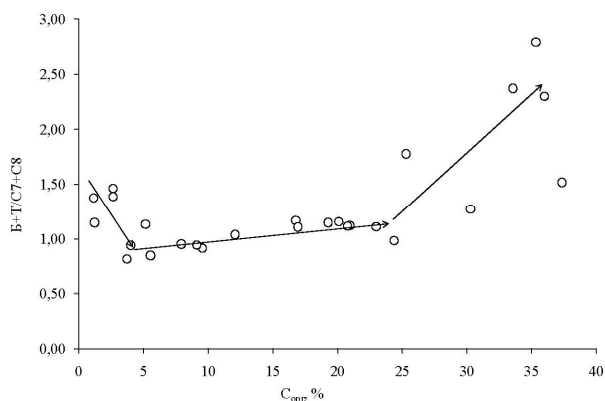


Рис. 5. Зависимость отношения суммы бензол+толуол к сумме *n*-гептен-1+*n*-гептан (C7) и *n*-октен-1+*n*-октан (C8) от $C_{орг}$ исходной породы для серии керогенов, выделенных из средневожжских горючих сланцев и вмещающих пород.

торое снижение относительного содержания ароматических УВ. Вероятно, это снижение отражает увеличение доли захороненных липидных компонентов, накапливавшихся в осадке за счет остаточного (селективного) накопления [8]. Затем в области концентраций 5-25 % $C_{орг}$ величина отношения $B+T/C7+C8$ остается неизменной, что характеризует

установление стабильных условий захоронения органического вещества, которое отмечается доминированием процессов селективного сохранения и консервации липидной фракции ОВ за счет ее осернения. При концентрациях $C_{орг}$ выше 25 % пиролизат становится более ароматичным. Это можно связать с увеличением эффективности консервации углеводов за счет их сульфуризации. При этом, естественным образом, снижается содержание *n*-алкильных цепей в структуре керогена [9].

Трехкомпонентные диаграммы алифатических, ароматических углеводородов и производных тиофена

Исследование относительного распределения в пиролизате керогена алкильных алифатических, ароматических и тиофеновых структур было выполнено с применением треугольных диаграмм. Для нанесения фигуративных точек нами произведено нормирование сумм тиофенов (тиофен, 2-метилтиофен, 2,3-диметилтиофен), ароматических углеводородов (бензол, толуол, *o*-ксилол) и *n*-алкильных углеводородов (*n*-гептан, *n*-гептен-1, *n*-октан, *n*-октен-1, *n*-нонен-1). Выявлено, что поля, отвечающие керогенам доманикового возраста и средневожжским горючим сланцам, практически не перекрываются (рис. 6). Интересно, что внутри выборки керогенов средневожжских горючих сланцев разнообразие состава продуктов пиролиза керогена связано с изменением доли тиофенов и *n*-алкильных структур при относительном постоянстве содержания ароматических углеводородов. Для керогена доманика характерна другая закономерность – при относительном постоянстве содержания производных тиофена в пиролизате варьирует соотношение алифатических и ароматических со-

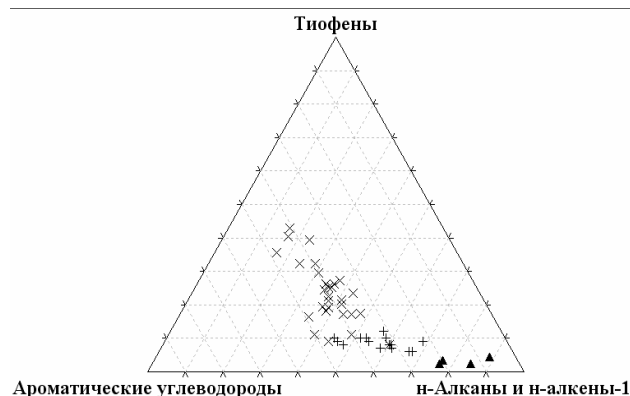


Рис. 6. Треугольная диаграмма распределения тиофеновых, ароматических и алифатических компонентов пиролизата керогена средневожжских горючих сланцев и вмещающих пород (x), углеродистых отложений доманика (+) и силурийских отложений поднятия Чернова (▲).

единений. Подвергшиеся значительно более сильному катагенезу породы силура поднятия Чернова (р. Падимейтивис и руч. Сизимцелебейшор) содержат кероген, фигуративные точки которого смещаются на данной диаграмме в угол, отвечающий 100% алифатических компонентов продуктов пиролиза.

Выводы

1. Показана сопоставимость определения тиофенового индекса, измеренного методом хромато-масс-спектрометрии в пиролизате керогена, полученном при 410 °С и газовой хроматографии в пиролизате керогена, полученном при 600 °С. Наблюдаемые незначительные различия величин объясняются неодинаковостью коэффициентов отклика детекторов ПИД и МСД к тиофенам.

2. Проверена возможность использования отношения ароматических к алифатическим продуктам пиролиза керогена для интерпретации условий накопления органического вещества средне-волжских горючих сланцев. Полученные результаты не противоречат ранее предложенной геохимической модели консервации органического вещества в осадках.

3. Предложены трехкомпонентные диаграммы, отражающие соотношение тиофеновых, ароматических и алифатических компонентов пиролизата керогена, имеющие большой потенциал для оценки геохимических особенностей керогена.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 11-05-00699-а.

Литература

1. *Tusco B., Вельте Д.* Образование и распространение нефти. М.: Мир, 1981. 504 с.
2. *Hartgers W.A., Sinninghe Damsté J.S. and de Leeuw J.W.* Identification of C₂-C₄ alkylated benzenes in flash pyrolysates of kerogens, coals and asphaltenes // *Journal of Chromatography*, 1992. Vol. 606. P.211-220.
3. *Sinninghe Damsté J.S., Kock-Van Dalen A.C., de Leeuw J.W., Shenck P.A.* Identification of alkylated thiophenes, thiolanes, thianes and benzothiophenes present in pyrolysates of sulphur-rich kerogens // *Journal of Chromatography*, 1988. Vol. 435. Pp.435-452.
4. *Бушнев Д.А.* Продукты пиролиза керогена верхнеюрской толщи Сысольского сланцевого района // *Литология и полезные ископаемые*, 2001. № 1. С. 96-101.
5. *Eglinton T.I., Sinninghe Damsté J.S., Kohnen M.E.L., de Leeuw J.W.* Rapid estimation of the organic sulphur content of kerogens, coals and asphaltenes by pyrolysis-gas chromatography // *Fuel*, 1990. No. 69. P. 1394-1404.
6. *Koopmans M.P., Köster J., Van Kaam-Peters H.M.E. et al.* Diagenetic and catagenetic products of isorenieratene: Molecular indicators for photic zone anoxia // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1996. Vol. 60. P. 4467-4496.
7. *Hoefs M.J.L., van Heemst J.D.H., Gelin F. et al.* Alternative biological sources for 1,2,3,4-tetramethylbenzene in flash pyrolysates of kerogen // *Organic Geochemistry*, 1995. Vol. 23. P.975-979.
8. *Бушнев Д.А., Бурдельная Н.С.* Химическая структура керогена и условия его формирования // *Геология и геофизика*, 2009. Т.50. № 7. С. 822- 829.
9. *Бурдельная Н.С., Бушнев Д.А.* Фрагмент химической структуры II и II-S типов керогена верхнеюрских и верхнедевонских отложений Восточно-Европейской платформы // *Геохимия*, 2010. № 5. С. 525-537.

Статья представлена в редакцию 10.04.2011

УДК 548.582:549.211

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИТРИДА БОРА В КРИСТАЛЛОГЕНЕТИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ ФОРМИРОВАНИЯ КАРБОНАДОПОДОБНЫХ АГРЕГАТОВ

В.А.ПЕТРОВСКИЙ, В.П.ФИЛОНЕНКО*, А.Е.СУХАРЕВ

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

**Институт физики высоких давлений РАН, г. Троицк*

petrovsky@komisc.ru

Фазовые превращения пиролитического нитрида бора изучены в термобарических условиях, обеспечивающих прямую трансформацию гексагональной структуры в кубическую. В случае реализации только мартенситного механизма кооперативной перестройки атомов формируются алмазоподобные агрегаты с равноосной высокодисперсной структурой и субмикронными размерами зерен. Наличие в системе растворителя-катализатора (РК) приводит к увеличению размера частиц кубической фазы за счет перекристаллизации по диффузионному механизму, а высокая каталитическая активность РК вызывает появление в синтезированных образцах зон направленного роста кристаллов.

Ключевые слова: синтез, нитрид бора, микрополикристаллические агрегаты, растворитель-катализатор, карбонадо

V.A. PETROVSKY, V.P. FILONENKO, A.E. SUKHAREV. USE OF BORON NITRIDE IN CRYSTALLOGENETIC EXPERIMENTS TO FORMING CARBONADOS-LIKE AGREGATES

Phase transformations of pyrolytic boron nitride were studied at temperature and pressure conditions providing direct transition of the hexagonal structure to the cubic one. Diamond-like aggregates with a highly equiaxed structure and submicron grain size are formed by martensitic mechanism of cooperative rearrangement of atoms. The presence of solvent-catalyst in the system increases particles' size of the cubic phase through recrystallization by the diffusion mechanism. High catalytic activity of solvent-catalyst causes the appearance of directed crystal growth in the synthesized samples.

Key words: synthesis, boron nitride, micropolycrystalline aggregates, the solvent-catalyst, carbonado

Карбонадо – ценнейший технический материал с уникальными свойствами, превосходящий по твердости обычные ювелирные алмазы. Отсюда и основные потребители режущего инструмента с рабочими элементами из карбонадо – промышленные предприятия оборонного комплекса, машиностроения, ювелирного производства. Из-за технической ценности карбонадо неоднократно предпринимались попытки его синтеза.

Первые алмазные агрегаты типа карбонадо и балласа, аналогичные по микроструктуре природным, были получены в начале 1960-х гг. в камерах с профилированными твердосплавными наковальнями [1, 2]. Практически с этого времени и начались сравнительные исследования природных и синтетических аналогов, которые с разной степенью интенсивности продолжают до настоящего времени, не теряя своей актуальности [3 – 6; и др.]. Так, в 2008 г. в Германии на конференции по кимберлитам была представлена серия докладов известных алмазоведов (Ф.Каминский, Г.Курат, Б.Гриффин и др.) по diamondites (или, как их называли в России, «алмазитам») и фрамезитам. Несмотря на существ-

венный прорыв в изучении природных микрополикристаллических алмазных агрегатов, реализованный в последние десятилетия благодаря привлечению новых методов исследования, постановке работ по экспериментальному синтезу «карбонадо», а также в выявлении новых природных ареалов его распространения, количество гипотез о природе карбонадо не сокращается, а увеличивается [7]. Сегодня актуальны также эксперименты получения его структурных сверхтвердых аналогов иного состава. Естественно, что эти прикладные исследования тормозятся отсутствием полноценной теоретической модели происхождения карбонадо.

В синтезе и анализе микрополикристаллических алмазов имеются две разделенные области. В одной из них, при давлениях 6-9 ГПа, достаточно хорошо изучено формирование агрегатов из графита с металлическими катализаторами, поскольку прямая трансформация решетки невозможна*. Для

* Данная технология синтеза не позволяет приблизить физико-механические характеристики полученных образцов к лучшим природным. Основные недостатки синтетических

другой, при давлениях 15-20 ГПа, имеются мало-численные данные о реализации прямой трансформации в малых объемах.

Данную работу можно представить как пионерскую в плане возможностей исследования на объемных образцах фазового перехода графитоподобной структуры в условиях, позволяющих управлять степенью реализации прямой трансформации решетки. Практически это первые результаты, показывающие, что в зависимости от степени активности катализатора диффузионная перекристаллизация может сильно огрублять мелкокристаллическую структуру, характерную для прямой трансформации решетки.

Что касается природных микрополикристаллических агрегатов (карбонадо), которые имеют достаточно крупные размеры кристаллитов, то они могли сформироваться при давлениях существенно выше 10 ГПа, а индивидуальность каждого агрегата определяется формой углеродного материала и каталитической активностью среды.

При использованных термобарических параметрах синтеза (8-10 ГПа, 1400-1600 °С) безактивный мартенситный переход графит–алмаз не реализуется, при этом понять степень влияния прямой и диффузионной перестройки на микроструктуру алмазных агрегатов затруднительно [6, 8]. Достаточно информативным мог бы стать сравнительный анализ структурных характеристик карбонадо, синтезированных в термобарической области, где прямой фазовый переход графит–алмаз идет как в присутствии растворителя-катализатора (РК), так и без него. Но для этого нужны давления порядка 15-20 ГПа, что сильно затрудняет проведение серийных экспериментов. В то же время, применение нитрида бора, имеющего аналогичную графиту гексагональную (гBN), лонсдейлиту – вюрцитную (вBN) и алмазу – сфалеритную (сBN) фазу, дает возможность проведения различных модельных экспериментов в диапазоне реально достижимых и воспроизводимых статических давлений.

Алмазоподобные агрегаты из нитрида бора, полученные прямым переходом. В отличие от алмаза превращение гексагонального нитрида бора (гBN) в вюрцитный (вBN) идет без образования промежуточных структур. Для перехода вюрцитной фазы в сфалеритную (сBN) характерен диффузионный механизм с высоким активационным барьером, поэтому при ударном сжатии гBN давлением не менее 12 ГПа фазовый переход, как правило, заканчивается стадией формирования вBN. В условиях статических давлений и относительно низких температур получить вюрцитную фа-

зу можно уже при 8.0 ГПа. В работе [9] проведено исследование влияния степени гидростатичности давления на прямое превращение пиролитического нитрида бора в плотные алмазоподобные фазы с использованием для анализа методов дифрактометрии, просвечивающей и растровой электронной микроскопии и текстурологии. Проведенные исследования позволили выявить следующие ориентационные соотношения между фазами в процессе превращения:

(111)с || (001)в || (001)г.

Нарушение гидростатики в процессе синтеза обеспечивало более высокую степень перехода в алмазоподобные фазы при одинаковых термобарических условиях, но степень текстурированности плотных фаз определялась только характером текстуры исходного гексагонального материала. Разрушение текстуры в результате рекристаллизации наблюдалось только при очень высоких температурах синтеза (~ 2500 °С), а во всех алмазоподобных поликристаллах присутствовала графитоподобная фаза в количестве 2-3%. В работе [10] методами рентгенографии и просвечивающей электронной микроскопии анализировались образцы ромбоэдрического нитрида бора (рBN) после термобарической обработки при давлении 7.7 ГПа в широком диапазоне температур. Было показано, что при температуре ~1000 °С степень превращения ромбоэдрической фазы в вюрцитную составляет около 90%. При рассмотрении ориентационных соотношений в решетках фаз предложены механизмы бездиффузионной мартенситной трансформации нитрида бора.

Исследование особенностей прямых фазовых превращений в нитриде бора при высоких квазигидростатических давлениях было продолжено в работе [11]. Авторы использовали гексагональные фазы с различной степенью упорядоченности решетки и показали, что низкотемпературное мартенситное превращение реализовывалось только в высокоупорядоченной структуре. Неупорядоченная турбостратная фаза переходила в кубическую при 7.7 ГПа и 2300 °С, в то время как хорошо закристаллизованная ромбоэдрическая фаза с размерами кристаллитов в десятки микрометров обнаруживала начало превращения в вюрцитную модификацию при низких температурах до 1000 °С. Кристаллографический механизм трансформации рBN→вBN предполагает формирование нескольких промежуточных структур в связи с возможностью реализации различных типов деформации. Гексагональный текстурированный нитрид бора при том же давлении начинает переходить в кубическую фазу выше 1000 °С, а при 1600 °С степень перехода составляет 85-90%. Наблюдаемое в кубической фазе текстурное соответствие (111)с || (001)г свидетельствует о мартенситном характере превращения. Следует также отметить, что на дифрактограммах конечного продукта, кубического нитрида бора, проявлялись пики от двух гексагональных фаз – обычной и «сжатой». Межплоскостное расстояние в обычной фазе составляло 3.331 Å, а в «сжатой» – 3.140 Å.

«карбонадо» – низкая температурная стойкость из-за наличия прослоек металла между алмазными зернами, крупнозернистая дефектная структура приповерхностной зоны и связанная с этим нестабильность эксплуатационных характеристик.

В технологиях, использующих алмазные наковальни с лазерным нагревом, размеры исследуемых объектов составляют десятки микрометров и изучение кинетических аспектов фазовых переходов на сегодняшний день в такой системе невозможно.

Для проведения экспериментов по синтезу сверхтвердых микрополикристаллических агрегатов из нитрида бора в данной работе использовалась камера высокого давления торонд-15, представляющая собой две соосные твердосплавные наковальни со специальным профилем, скрепленные стальными кольцами. Между наковальнями помещалась и сжималась ячейка из литографического камня с вариантом заполнения рабочего объема (см. на рис. 1). Заготовки из пластин пиролитического материала высверливались таким образом, чтобы ось цилиндра была перпендикулярна базисной плоскости.

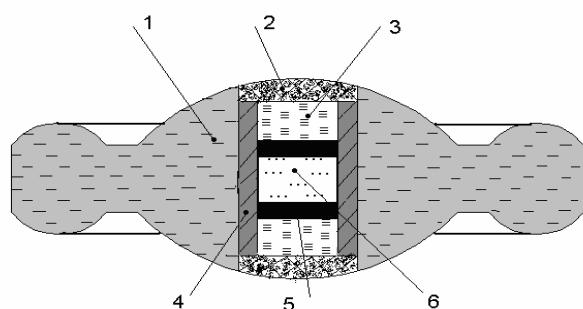


Рис. 1. Схема снаряжения ячейки для синтеза алмазоподобных агрегатов из нитрида бора [7]: 1 – контейнер из литографического камня, 2 – крышки из смеси rBN и графита, 3 – шайбы из литографического камня, 4 – графитовый нагреватель, 5 – порошок cBN или смесь cBN+PK, 6 – пиролитический нитрид бора.

Полученные экспериментальные материалы изучались на дифрактометре BRUKER AXS (излучение Cu K α) при вращении образцов. В этом случае рентгеновский пучок проходил через весь объем. Дифрактограммы с плоских отполированных поверхностей образцов, перпендикулярных оси цилиндра, получали на приборе ДРОН-4. Изучение микроструктуры и элементный анализ проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-6390LV, оснащенного анализатором INCA. Все изучаемые сколы были получены вдоль оси цилиндра образцов.

При термобарической обработке (~ 8.0 ГПа) заготовок из пиролитического нитрида бора серебристого цвета практически полное превращение в алмазоподобные фазы происходило уже при температурах 1100-1300 °С. Из рис. 2 видно, что исходный материал имел характерную текстуру*. При рентгеновской съемке торца заготовки на дифрактограммах присутствовали только отражения от базисной плоскости гексагональных фаз (002) и (004). В то же время на дифрактограмме дробленной пластины при съемке с вращением проявляется наличие ромбоздрической фазы. Разница между гексагональной и ромбоздрической модификация-

ми заключается только в последовательности укладки базисных плоскостей. В идеальной трехмерной структуре gBN все слои находятся друг над другом, причем атомы В и N чередуются в направлении оси с, а слои в трехмерной решетке занимают одинаковое положение. Структура ромбоздрического нитрида бора характеризуется разным смещением между гексагонами в трех последовательных слоях. Дифрактограммы конечного продукта термобарического воздействия также демонстрируют наличие текстуры. При съемке с базовой плоскости доминирует пик (111) кубической фазы и фиксируются лишь незначительные количества вюрцитной и

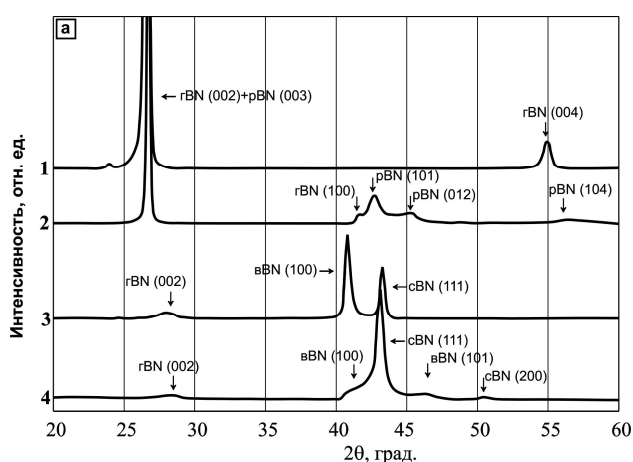


Рис. 2. Анализ исходного пиролитического материала, состоящего из rBN и pBN, и образца после термобарической обработки:

а – дифрактограммы: (1, 2) – исходная заготовка, (3, 4) – синтезированный алмазоподобный агрегат, (1, 2) – съемка целых образцов перпендикулярно базовой плоскости, (3, 4) – съемка фрагментов образцов на просвет с вращением; б – морфология скола алмазоподобного агрегата.

гексагональной модификаций (рис. 2, а). На дифрактограмме дробленного образца количество вюрцитной фазы больше, чем сфалеритной, а гексагональная имеет существенно меньшее по сравнению с табличным расстоянием между базисными плоскостями. Скол алмазоподобного компакта (рис. 2, б) является достаточно гладким с субмикронными размерами равноос-

* О наличии текстуры можно судить по разнице рентгеновских данных с ДРОН-4 и BRUKER AXS. Количественные соотношения фаз не рассчитывались, поскольку перетереть сверхтвердый агрегат без намолта материала ступки невозможно.

ных кристаллов и проявлением текстуры, унаследованной от исходного образца.

Второй тип пиролитического нитрида бора представлял собой пластины белого цвета. Согласно результатам рентгенографического анализа в них содержалась только гексагональная фаза. Цилиндрические образцы из таких пластин претерпевали полное превращение в кубическую фазу при более высоких температурах – 1600-1800 °С. В этом случае во всем объеме синтезированных образцов зерна были равноосными, а их размер не превышал долей микрона (рис. 3, а). При сравнении дифрактограмм исходной цилиндрической заготовки и конечного продукта, снятых с базовой поверхности перпендикулярно оси цилиндра и с раздробленного материала при вращении, выявлено наличие текстуры как в исходном образце, так и в сфалеритной фазе после термобарической обработки.

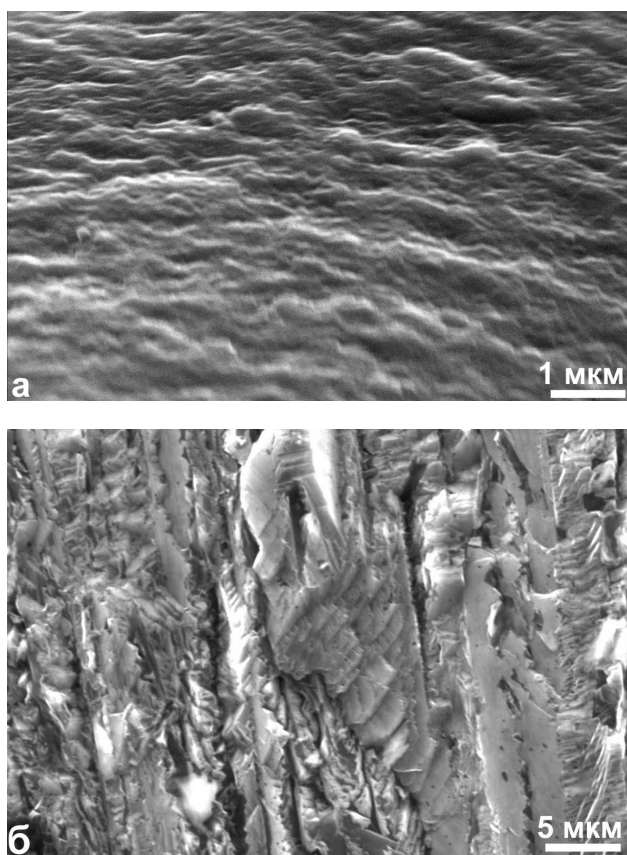


Рис. 3. Морфология поверхностей сколов алмазоподобных агрегатов:

а – агрегат после мартенситной трансформации гBN; б – агрегат, полученный в присутствии РК (магний).

Изучение иммерсионных препаратов с частицами синтезированного алмазоподобного материала с помощью оптической микроскопии показало, что они состоят из кристаллов cBN. Микроструктура агрегата слоисто-блочная со средним размером блоков от 0.5 до 0.8 мкм. Внутри блоков кристаллиты нитрида бора имеют определенную направленность и плотно прилегают друг к другу так, что граница между кристаллами становится общей (двойникование-прораствание). Средний размер кри-

сталлитов внутри блока от 0.05 до 0.3 мкм. Толщина слоев составляет около 7 мкм. Между слоями наблюдаются ветвистые микротрещины с размерами порядка 1 мкм. Границы между блоками отличаются аномальным цветом интерференции с углом погасания 25° (для с BN угол погасания составляет 60°, а для гBN – 45°), что, скорее всего, связано с высоким содержанием в них дислокаций. В агрегате отмечается закрытая межкристаллитная пористость (~ 1%) и коалесценция пор, размеры которых достигают 0.5 мкм.

Можно считать, что в случае использования хорошо закристаллизованной ромбоэдрической или гексагональной формы нитрида бора при ~8.0 ГПа реализуется практически идеальный вариант получения сверхтвердого микрополикристаллического агрегата без участия растворителей-катализаторов. Высокая чистота исходного материала и применение защитных экранов гарантируют отсутствие примесей в образцах после синтеза. Мартенситный механизм превращения ведет к формированию субмикронных блоков, разделяющихся дефектными границами, при отсутствии направленного (дендритного) роста зерен.

Повышение давления синтеза должно вести к уменьшению размеров частиц плотных фаз и увеличению прочности. Так, в работе [12] при термобарической обработке пиролитического нитрида бора в многопуансонном аппарате при 18.0 ГПа получены образцы, содержащие только сфалеритную фазу или вюрцитную и сфалеритную фазы. Размеры частиц в этих фазах не превышали 15 нанометров, а микротвердость материалов возросла по сравнению с крупнозернистым cBN с 40 до 85 ГПа.

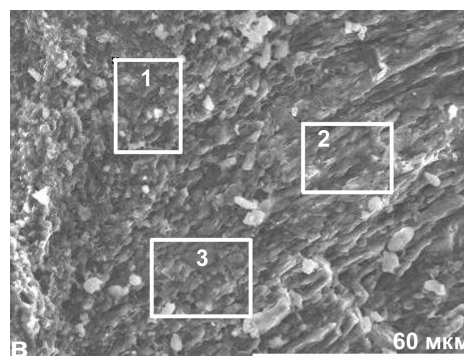
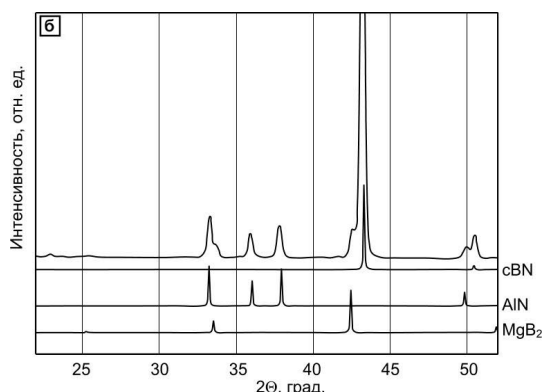
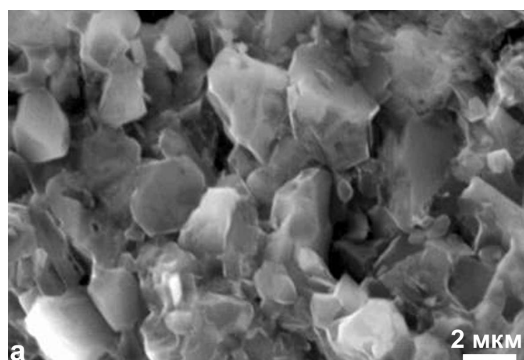
Синтез микрополикристаллов нитрида бора при наличии растворителей - катализаторов. Для сравнения с экспериментальными данными по прямому переходу пиролитического нитрида бора был проведен синтез в аналогичных термобарических условиях (~8.0 ГПа, 1500-1700 °С), но с введением в рабочий объем ячейки порошковых смесей магния с алюминием или чистых металлов. Из выбранной пары металлов магний является достаточно сильным катализатором фазового перехода гBN→cBN [13]. Сплавы магния с алюминием сохраняют каталитическую активность [14], которая снижается при увеличении концентрации алюминия. Чистый алюминий в жидком виде хорошо растворяет нитрид бора с образованием тугоплавкого нитрида алюминия AlN и боридов различного состава [15], однако каталитических свойств в фазовом превращении практически не проявляет. Система BN-Mg-Al достаточно удобна для работы в условиях высоких давлений в силу того, что жидкая фаза в ней появляется при температурах ниже 1000 °С.

При сборке ячейки высокого давления порошковые смеси металлов помещали на торцах пластины пиролитического нитрида бора. В такой схеме сборки при синтезе может проходить как прямой переход, так и активированный. Из многочисленных экспериментов по синтезу карбонаподобных агрегатов известно, что активированный фазовый переход характеризуется направленным

ростом кристаллов кубической фазы, задаваемым движением фронта жидкого растворителя-катализатора. Поэтому по наличию в структуре сверхтвердых микрополикристаллов областей направленного роста можно судить о степени активации фазового перехода растворителя-катализатора (РК). Анализ образцов пиролитического BN после синтеза с использованием подложки из смеси равных по массе количеств магния и кубического нитрида бора показал, что определяющим оказалось именно движение фронтов катализатора навстречу друг другу (рис. 3, б). Согласно результатам микроанализа, содержание магния в объеме образцов меняется в пределах от 1.5 до 2.1 ат.%, что коррелирует с оценкой количества диборида магния по рентгеновским данным*.

Использование в качестве растворителя-катализатора вместо чистого магния сплава 70Al30Mg уменьшает эффективную каталитическую активность и должно снижать скорость направленного роста кристаллов кубической фазы. То есть в процессе синтеза может увеличиться роль мартенситного превращения, приводящего к формированию равноосных зерен. Анализ микроструктуры поликристалла показал, что у границы раздела нитрида бора и подложки с РК имеется слой толщиной до 0.5 мм, в котором зерна cBN являются равноосными с размерами в несколько микрометров (рис. 4, а). Далее следует область, совмещающая в се-

бе элементы направленного роста в сочетании с равноосными частицами. Эта область охватывает всю периферийную часть образца и отделяется от центральной зоны тонкой пленкой с высокой концентрацией металла. В центральной зоне частицы cBN также равноосные, однако их размеры составляют доли микрона. Объяснение такой неоднородности микроструктуры связано с особенностями химического взаимодействия в системе. В пограничном крупнозернистом слое концентрация алюминия в расплаве высока, поэтому быстрая направленная кристаллизация cBN блокируется. Но при синтезе жидкий алюминий мгновенно связывается в тугоплавкий нитрид, в то время как диборид магния и тройные Mg-B-N соединения остаются в расплавленном виде. По мере продвижения жидкого фронта через образец он обогащается магнием. В связи с этим каталитическая активность расплава и связанная с ней скорость направленного роста дендритов кубической фазы возрастают, но процессы перекристаллизации идут медленнее, чем в чистом магнии. В центральной части образца успевает пройти прямой фазовый переход $\gamma\text{BN} \rightarrow \text{cBN}$ и жидкий фронт РК тормозится на этой границе. В основной части образца, характеризующейся смешанным ростом, суммарное количество алюминия и магния составляет 1.0-1.5% (рис. 4, в), что ниже содержания металла, чем в композитах, полученных с применением чистого магния.



спектр	B	N	Mg	Al
1	50.95	47.40	0.90	0.75
2	49.78	49.14	0.96	0.12
3	51.06	47.44	1.34	0.16

Рис. 4. Морфология скола и состав образца, синтезированного в присутствии РК (алюминий-магний): а – морфология скола у подложки; б – дифрактограмма фрагмента композита и эталонов; в – морфология скола в области смешанного роста и элементный состав участков.

* Поскольку металлы находятся в виде нитридов и боридов, то количество их соединений составляет 3-5% и хорошо фиксируется на дифрактограммах, снятых на просвет (рис. 4, б).

При использовании в качестве подложки для заготовки из пиролитического нитрида бора порошковой смеси cBN с чистым алюминием было уста-

новлено, что в случае полного фазового превращения в кубическую фазу алюминий проникает в объем образца на глубину не более 0.5 мм. В этих областях размеры равноосных зерен cBN составляют 0.05-0.3 мкм, а количество алюминия определяется на уровне следов. Тем не менее, в таких зонах частицы кубического нитрида бора более крупные, чем в основном объеме образца после прямого перехода. Внешне скол областей, содержащих следы алюминия, выглядит матово-серым, а остального образца – стекловидно-черным.

Полученные экспериментальные данные по особенностям формирования микроструктуры нитрида бора в термобарических условиях, достаточных для реализации прямого перехода, показали, что в отсутствии РК по мартенситному механизму образуются равноосные зерна, размеры которых не превышают долей микрона. При наличии активирующих фазовое превращение компонентов структура приобретает черты направленного роста дендритов кубического нитрида бора за счет диффузионной перекристаллизации через жидкую фазу. Доминирование того или иного механизма перестройки гексагональной решетки определяется комплексом факторов, главными из которых являются степень совершенства исходной структуры нитрида бора, термобарические параметры, каталитическая активность РК и его количество. Повидимому, представленные закономерности будут полезны при анализе морфологии сколов природных карбонадоподобных агрегатов и трактовке их кристаллогенезиса.

Авторы благодарны д.г.-м.н. Т.Г.Шумиловой за критические замечания и полезное обсуждение данной работы.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Программы ОНЗ РАН (09-С-5-1022).

Литература

1. Калашников Я.А., Верещагин Л.Ф., Фекличев Е.М., Сухушина И.С. Образование искусственным путем алмаза типа баллас // ДАН СССР, 1967. Т.172. № 1. С.77-79.
2. Верещагин Л.Ф., Яковлев Е.Н., Варфоломеева Т.Д. и др. Синтез алмазов типа карбонадо // ДАН СССР, 1969. Т.185. С.555-557.
3. Рахманина А.В., Яковлев Е.Н. Экспериментальное моделирование природного синтеза алмазных поликристаллов // Геохимия, 1999. № 7. С. 763-767.
4. Литвин Ю.А., Спивак А.В. Алмазиты: быстрый рост в контакте графита и карбонатных расплавов (опыты при 7.5–8.5. ГПа) // Доклады РАН, 2003. Т. 391. №5. С. 673-677.
5. Сухарев А.Е., Петровский В.А. Минералогия карбонадо и экспериментальные модели их образования. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 196 с.
6. Петровский В.А., Сухарев А.Е., Филиппов В.Н., Филоненко В.П. Микрополикристаллические алмазы (природные и экспериментальные системы) // Известия Коми НЦ УрО РАН, 2010. № 1. С. 54-59.
7. Мальков Б.А., Асхабов А.М. Импактное происхождение карбонадо // Известия Коми НЦ УрО РАН, 2010. № 2. С. 40-44.
8. Петровский В.А., Филоненко В.П., Сухарев А.Е. Экспериментальное моделирование процесса синтеза алмазных микрополикристаллических агрегатов // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН, 2009. №12. С. 3-8.
9. Бритун В.Ф., Курдюмов А.В., Танигучи Т., Петруша И.А. и др. Превращения высокоупорядоченных графитоподобных фаз в пиролитическом нитриде бора при высоких давлениях статического сжатия // Сверхтвердые материалы, 2003. № 2. С. 14-25.
10. Britun V.F., Kurdyumov A.V., Petrusha I.A. Structural features of boron nitride dense phase formation from rhombohedral modification under high static pressure // J. Of Materials Science, 1993. No. 28. P. 6575-6581.
11. Solozhenko V.L., Petrusha I.A., Engler O., Binger J.F. The crystallographic texture of graphite-like and diamond-like boron nitride bulk materials // J. of Materials Science, 2001. No. 36. P. 2659–2665.
12. Superhard nanocomposite of dense polymorphs of boron nitride: noncarbon material has reached diamond hardness / N.Dubrovinskaja, V.L.Solozhenko, N.Miyajima, V.Dmitriev, O.O.Kurakevych, L.Dubrovinsky // Appl. Phys. Letters, 2007. Vol. 90. P.101912.
13. Туркевич В.З., Соложенко В.Л., Кулик О.Г. и др. Диаграмма состояния системы Mg-B-N при высоком давлении // Сверхтвердые материалы, 2003. № 6. С. 8-25.
14. Singhal S.K., Park J.K. Synthesis of cubic boron nitride from amorphous boron nitride containing oxide impurity using Mg–Al alloy catalyst solvent // Journal of Crystal Growth, 2004. No. 260. P. 217–222.
15. Rong X., Yano T. TEM investigation of high-pressure reaction-sintered cBN-Al composites // J. of Materials Science, 2004. No. 39. P. 4705 –4710.

Статья поступила в редакцию 19.04.2011

УДК 549(092)

Н.П. ЮШКИН: ТРУД, ПОИСК, ЖИЗНЬ

А.М. АСХАБОВ, Д.В. РУНДКВИСТ, В.И. СИЛАЕВ

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

Кратко изложена научная биография выдающегося отечественного минералога академика РАН Н.П. Юшкина. Рассмотрены и охарактеризованы важнейшие направления его исследований и наиболее крупные достижения. Акцентируется внимание на результатах многогранной научно-организационной, педагогической и общественной деятельности.

Ключевые слова: наука, минералогия, топоминералогия, биоминералогия, наноминералогия, происхождение жизни, история науки

A.M. ASKHAPOV, D.V. RUNDKVIST, V.I. SILAEV. N.P. YUSHKIN: WORK, SEARCH, LIFE

Scientific biography of the outstanding national mineralogist, academician of the Russian Academy of Sciences Nikolai P. Yushkin is given in brief. The major directions of his researches and the most important achievements are considered and characterized. The attention is accented on the results of many-sided scientific-organizational, pedagogical and public activity.

Key words: science, mineralogy, topomineralogy, biomineralogy, nanomineralogy, origin of life, science history

20 мая 2011 г. исполнилось 75 лет со дня рождения выдающегося российского геолога академика **Николая Павловича Юшкина**. Он родился в д. Ивангора Овинищенского района Калининской, а ныне Тверской области. В 1952 г. после окончания восьмилетки поступил в Кировский горно-химический техникум в Мурманской области на геологоразведочное отделение. Упомянутый техникум располагался вблизи Хибинских гор, в уникальной геологической провинции, и укомплектовывался в те годы, начиная с 1937 г., замечательными профессорами и опытными геологами.

Первым учителем по минералогии будущего академика стала **Лидия Александровна Перекрест**, в честь которой ее ученики впоследствии назовут новый цеолит $K_9Na(Ca,Sr)[Al_{12}Si_{21}O_{72}] \cdot 15H_2O$ перлианитом. Очевидно, что склонность к исследованиям у Коли Юшкина была врожденной и непобедимой. Будучи еще студентом техникума, он начал публиковаться. К числу первых сочинений относится и минералогическая заметка под очень характерным для автора названием «Вивианит – местное фосфорное сырье» (1954). В этой заметке речь шла о синем водном фосфате закисного железа, легко окисляющемся и потому очень непростым для изучения даже в настоящее время.

После окончания техникума в 1956 г. свою трудовую деятельность Николай Юшкин начал в Шорсуйской геологоразведочной партии треста «Средазгеохимразведка» в должности сначала коллектора, а затем последовательно техника-геофизика и старшего техника-геолога. В 1957 г. он переводится в экспедицию «Химгеолнеруд»

Узлавгеологии, где работает до 1961 г. Именно здесь окончательно оформился его генеральный интерес к минералогенетическим процессам во всем их многообразии и развилось самобытное онтогенетическое мышление. Примером этого может служить первая его по-настоящему научная статья «О роли флотации в минералообразующих процессах» (1960). Надо заметить, что время для таких исследований было самым подходящим. В минералогии происходила методологическая революция. В Ленинграде профессор Горного института **Д.П. Григорьев** уже написал и даже опубликовал в г. Львове свою знаменитую «Онтогению минералов». Случившееся вскоре знакомство молодого техника-геолога, увлекшегося изучением минералогии серных месторождений, с автором нового минералогического учения было обоюдно приятным и полезным. Возникшая между ними приязнь и дружба никогда не угасали, а сотрудничество не прерывалось. Весьма благотворное влияние на молодого геолога оказало также общение с одним из крупнейших минералогов-кристаллографов XX в. проф. **И.И. Шафрановским**. Таким образом, ко времени перехода на работу в Институт геологии Коми филиала АН СССР в 1961 г. Н.П. Юшкин был уже вполне сформировавшимся исследователем с разносторонними научными интересами и несколькими десятками опубликованных работ.

В сыктывкарский Институт геологии Н.П. Юшкина приняли на должность старшего лаборанта. В те годы этот институт был глубоко провинциальным научным учреждением. Тогда никому не могло прид-

ти в голову, что всего через 15 лет он станет местом учреждения и регулярного проведения теперь уже легендарных Всесоюзных минералогических семинаров, на которые съезжались все более или менее значимые для минералогии люди.

С первых дней своей работы в Институте геологии лаборант Юшкин активно включается в полевые исследования в новом для себя регионе, продолжая при этом корпеть над обобщением материалов по минералогии самородной серы, начатым еще в Средней Азии. Параллельно он кропотливо изучает акцессорные минералы в редкометалльно-рудноносных гранитоидах Приполярного Урала. Именно в этих породах и был открыт новый минерал – арсенат иттрия $YAsO_4$, названный в честь виднейшего исследователя геологии европейского Севера России и основоположника Института геологии Коми филиала АН СССР проф. *Александра Александровича Чернова*. Отметим, что со временем один из учеников Н. П. Юшкина назовет уже его именем новый минерал, открытый на юго-восточном Пай-Хое, – юшкинит $V_{1-x}S_n(Mg,Al)(OH)_2$.

Развитие событий потребовало завершения образования и в 1965 г. Н.П. Юшкин заочно оканчивает учебу на геологоразведочном факультете Ташкентского политехнического института. Надо отметить, что в те времена это было очень серьезное учебное заведение, преподавание минералогии в котором шло от крупного ученого-минералога *А.С. Уклонского*, тоже одного из учителей будущего академика. Случилось так, что подготовленная Н.П.Юшкиным к защите дипломная работа со специальной по минералогии и генезису самородной серы была оценена госкомиссией как вполне готовая к защите кандидатская диссертация. Уже через год эта работа была представлена в ученый совет Ленинградского горного института. Здесь по результатам защиты ее вновь рекомендовали перезащитить, но теперь в качестве докторской диссертации. Успешная презентация последней состоялась при большом стечении публики 24 ноября 1967 г. В итоге Н.П.Юшкин в возрасте 31 года и всего через два года после окончания института стал доктором геолого-минералогических наук. На этом дело однако не закончилось. В 1968 г. защищенная диссертация была опубликована в виде монографии «Минералогия и парагенезис самородной серы в экзогенных месторождениях» с замечательным предисловием *И.И. Шафрановского*. Вскоре за нее самый молодой в области геолого-минералогических наук доктор был удостоен Премии Ленинского комсомола.

В том же 1968 г. из печати вышла еще одна крупная монография Н.П. Юшкина в соавторстве с *М.В. Фишманом*, *Б.А. Голдиным* и *Е.П. Калининым*, на этот раз посвященная акцессорным минералам в изверженных породах Севера Урала и Тимана. В этой книге подробно рассматривались фундаментальные свойства минералов, характеризовались особенности эндогенного минералообразования, трактовались минералогическо-геохимические индикаторы условий гранитоидного магматизма. Чуть позже Н.П. Юшкиным с соавторами была опубликована

еще одна крупная монография «Металлогенический очерк вольфрамовой минерализации Севера Урала» (1972).

Не менее заметное место в творчестве Н.П.Юшкина заняли эксперименты с минералами, которые всегда приводили к важным научным результатам. Например, казалось бы, рутинное изучение твердости минералов методом микровдавливания завершилось оригинальным обобщением данных о механических свойствах минералов, опубликованным в виде книги в 1971 г. В этом случае новизной стало то, что твердость и некоторые другие физические свойства минералов рассматривались ученым не только сами по себе, но и как средство онтогенетической экспертизы. В частности, было показано, что механические свойства в значительной степени определяются секториально-зональной анатомией минералов, наличием и трансформацией структурных дефектов, находясь в зависимости от условий образования и эпигенетического изменения минералов. Кроме того, в этой книге были впервые сформулированы некоторые новые идеи. К таким идеям можно отнести выдвинутое Н.П. Юшкиным представление о механо-диффузии в минералах, физическая сущность которого заключается в «эскалаторной» транспортировке примесных атомов движущимися дислокациями. Автор показал, что в результате такой транспортировки атомы-примеси в силу ограниченности размеров минеральных зерен могут «сливаться» из кристаллов в интерстициальные пространства, порождая совершенно новый тип концентраций, масштаб и практическое значение которых могут оказаться весьма значительными. К сожалению, в те годы выдвинутая молодым ученым идея не привлекла серьезного внимания исследователей и до сих пор остается лишь перспективной гипотезой.

Более благоприятной оказалась судьба так называемой теории микроблочного роста кристаллов, выдвинутой Н.П. Юшкиным в те же годы. В рамках упомянутой теории рост кристаллов рассматривался как процесс присоединения к растущей поверхности не отдельных атомов или молекул, а гораздо более крупных многоатомных частиц – «микроблоков». Понятно, что сама идея была далеко не новой, будучи выдвинутой еще в 1916 г. гениальным *Е.С. Федоровым*. Однако впоследствии она была оспорена и практически забыта. Для Н.П.Юшкина толчком к развитию подобных представлений о росте кристаллов послужили наблюдения за кристаллизацией самородной серы на Шорсуйском месторождении и данные им же проведенных модельных экспериментов. Нельзя не напомнить, что именно в этих экспериментах молодой Н.П. Юшкин впервые стал воспроизводить бактериальный фактор и наблюдать его влияние на образование минерализаций. Результатом всех упомянутых выше исследований и экспериментов стало опубликование в 1971 г. работы «Теория микроблочного роста кристаллов в природных гетерогенных растворах», очень быстро и позитивно воспринятой в кругу специалистов по кристаллизации и природному минералообразованию.

С 1969 г. открылась новая глава научной биографии Н.П.Юшкина. Он стал осуществлять весьма амбициозную программу минералогических научных экспедиций на Пай-Хой и Вайгач-Южно-воземельский антиклинорий. Для этого, разумеется, потребовались помощники, которых он решил готовить сам из собранных отовсюду молодых специалистов. Первыми появились *Б.А. и В.А. Остащенко*, потом – выпускники Ростовского госуниверситета *В.И.Силаев* и *В.А. Петровский*, чуть позже в Сыктывкар из Средней Азии переехал *А.Ф. Кунц*. А еще через короткое время к Николаю Павловичу в ученики попросился учитель физики из Воркуты *А.М. Асхабов*. Так и сложился костяк лаборатории генетической и экспериментальной минералогии, на долгие годы ставшей основным источником минералогических знаний на севере России.

Рудные объекты и эпигенетические минерализации, выбранные Николаем Павловичем основными объектами научных интересов еще в 1960-х гг., стали активно исследоваться и в новых регионах. Особое внимание при этом уделялось магматогенно-гидротермальному оруденению в пайхойских платодолеритах, стратиформным полиметаллическим минерализациям, баритовым, целестиновым и флюоритовым рудам на Пай-Хое, Вайгаче и Новой Земле. В период 1970 – 1985 гг. было много сделано и в области систематической минералогии. В частности, Н.П. Юшкиным и его учениками были открыты юшкинит, новые марганцовистая и кадмистая разновидности сфалерита, кобальтистые разновидности марганцевых карбонатов и родонита; выявлены редкие сульфосоли, включая вторую находку ванадиево-мышьякового германита и арсеносульванит, множество теллуридов, сульфотеллуридов и других минералов, практически представляющих все основные кристаллохимические типы и классы.

Результаты систематических исследований минералов и минеральных месторождений явно стимулировали теоретическую мысль Н.П. Юшкина. Его главной идеей в рассматриваемый период было распознавание конкретной генетической информации как бы передаваемой нам из геологического прошлого через особенности конституции и некоторые свойства минералов. Это после открытия закона типоморфизма минералов, безусловно, было новым громадным шагом вперед, поскольку в случае типоморфизма речь шла лишь о выявлении самых общих признаков генетической нетождественности. В разрабатываемой же Н.П. Юшкиным генетико-информационной минералогии выдвигались уже количественные индикаторы конкретных факторов минералообразования – химизма минералообразующих сред, температуры, давления, Eh и pH , градиентов концентрации и даже ориентации геологических тел в пространстве как во время кристаллизации, так и позже при эпигенетическом изменении минералов. Последние, таким образом, становились не статистами геологической истории, а непосредственными ее свидетелями и летописцами.

Разработка соответствующей теории мыслилась как фундаментальная минералогическая про-

блема, решение которой должно было привести генетическую минералогию в новое состояние. Основными задачами на пути к генетико-информационной минералогии тогда выделялись, во-первых, определение механизма и языка «записи» минералогенетической информации, степени и условий ее сохранения и преобразования в ходе последующих геологических процессов, а во-вторых, разработка методов декодирования упомянутой информации и процедур ее использования в теоретических и прикладных целях.

Разумеется, научная программа такого масштаба не могла быть обеспечена силами только коллектива юшкинской лаборатории. Лучше всех это понимал, безусловно, сам руководитель лаборатории, осуществивший уже в середине 1970 гг. невероятный по дерзости проект организации Всесоюзного минералогического семинара с международным участием на базе сугубо периферийного научного учреждения. Но и этого было мало. Тема и программа семинара формулировались самым неслыханным в те времена образом – как обсуждение теории и методов расшифровки генетической информации во всем многообразии форм ее нахождения в минералах. И произошло «обыкновенное чудо» точного попадания в цель. Организованный в Сыктывкаре научный семинар вызвал столь громадный интерес, что вокруг небольшого, еще вчера мало кому известного института объединилось практически все отечественное минералогическое сообщество.

Так родился феномен, который теперь справедливо называют научной школой академика Н.П.Юшкина. Конечно, организаторами самого Института геологии в Сыктывкаре были другие люди – Ю.П. Ивенсен и М.В. Фишман. Но статус этого института как ведущего научного учреждения с международной известностью был обеспечен, прежде всего, многогранной деятельностью именно Н.П.Юшкина – сначала юного дарования, с которым вели дружбу корифеи отечественной минералогии и кристаллографии, затем невероятно молодого доктора, открывавшего новые пути для развития минералогии, а потом и организатора большого и весьма эффективного научного коллектива. Отмечая последнее, никак нельзя забыть и о том, что едва ли не с самых первых дней существования лаборатории генетической и экспериментальной минералогии в сыктывкарском Институте геологии еженедельно собирается минералогический семинар. Со дня первого заседания уже прошло около 40 лет. Но и теперь каждый понедельник вне зависимости от состояния окружающей среды и государственного устройства с 15.00 до 16.00 у нас выступают с научными докладами все: от академиков до студентов, обсуждаются многообразные минералогические проблемы, ведется порой весьма острая полемика без оглядки на амбиции, ученые степени и должности.

В 1977 г. Н.П. Юшкиным опубликована фундаментальная монография «Теория и методы минералогии: Избранные проблемы», в которой были обобщены первые и наиболее революционные итоги развития нового минералогического направле-

ния. В этой работе с оригинальных позиций рассмотрен широкий круг самых острых проблем минералогии, сделан анализ состояния минералогического знания, по-новому сформулированы многие научные понятия, впервые предложены теоретические решения и методические приемы выявления и обработки генетической информации. Особое внимание в книге уделено структурированию и месту минералогии в системе естествознания. Само собой разумеется, что такая монография вызвала оживленную и даже острую дискуссию, став интеллектуальным стимулятором для нескольких поколений молодых и зрелых минералогов.

К началу 1980-х гг. научные интересы Н.П.Юшкина сместились в область региональных минералогических исследований. Это было не случайно, диктуясь, с одной стороны, конкретностью объектов минералогии, а с другой – особенностями сыктывкарского института, призванного научно обеспечивать деятельность, прежде всего, региональных геологических организаций. По этим причинам приоритетными на длительный период стали задачи изучения месторождений полезных ископаемых, определения закономерностей региональной металлогении и минерагении, выявления особенностей минерального сырья и экономических перспектив его использования, прежде всего, на территориях Полярного Урала, Пай-Хоя и Вайгач-Южно-Новоземельского антиклинория. В ходе полевых и многообразных лабораторных исследований были изучены все более или менее известные рудные объекты, открыты сотни новых рудопроявлений – флюоритовых, полиметаллических, медных, баритовых, янтарных, фосфатных и др. В таких условиях очень быстро возродилось и стало бурно развиваться некогда забытое направление минералогических исследований, называемое топоминералогией. Особенностью последней является то, что в ее рамках самая разнообразная минералогическая информация используется для выявления пространственных закономерностей разномасштабного минералообразования. Примерная схема такого подхода может быть представлена в следующем виде: 1) комплексное изучение минералогии геологических объектов; 2) исследование пространственных и временных взаимосвязей между минералами; 3) анализ конституции и свойств сквозных минералов, выявление пространственно-временных закономерностей изменения свойств минералов в пределах естественных геологических тел; 4) корреляция закономерностей минералообразования в пространстве-времени с конкретной геологической историей; 5) разработка топоминералогических критериев прогноза и оценки рудных месторождений; 6) осуществление топоминералогического прогнозирования потенциальной рудоносности исследуемых территорий.

Опыт показал, что, изучая минералы непосредственно в их естественной геологической среде и используя при этом весь арсенал типоморфных и генетико-информационных свойств, можно наиболее реалистично и полно реконструировать картину развития оруденений и минерализаций, и

тем самым обеспечить оптимальные условия для оценки перспектив промышленной рудоносности все еще мало изученных территорий. Кроме того, стало очевидным, что именно в рамках топоминералогии достигается наиболее гармоничное сочетание геологических, минералогических и физико-химических знаний о рудных месторождениях.

Полученные в ходе многолетних исследований практические результаты были обобщены Н.П.Юшкиным в монографии «Опыт среднемасштабной топоминералогии: Пайхойско-Южноновоземельская минералогическая провинция» (1980). Чуть позже из печати вышла и его «Топоминералогия» (1982), в которой полученный опыт был проанализирован теоретически. После опубликования этих фундаментальных сочинений топоминералогия стала одним из важнейших направлений современной минералогической науки. Книги Н.П.Юшкина были высоко оценены научной общественностью. В 1987 г. они были отмечены почетным отзывом и медалью Всесоюзного минералогического общества. Кроме упомянутых книг, опыт топоминералогических исследований на территориях Урала и Европейского Северо-Востока России был обобщен в коллективной монографии «Топоминералогический анализ рудоносных регионов» (1988).

Топоминералогические исследования привели ко многим практическим результатам. В частности, была принципиально переоценена Уральско-Новоземельская флюоритоносная провинция как важная сырьевая база природного оптического флюорита для отечественной промышленности. Исследованиями Н.П. Юшкина и его учеников было показано, что именно флюорит Амдерминского месторождения в силу своей чистоты от структурных примесей представляет собой непревзойденное по качеству сырье для получения искусственных монокристаллов с рекордным пропусканием в ультрафиолетовой области. Благодаря усилиям Н.П.Юшкина и технологов из Ленинградского оптико-механического объединения (ЛОМО), удалось очень быстро перевести научное решение в промышленное русло, обеспечив тем самым возможность производства уникальных флюоритовых монокристаллов. На основе последних конструкторы ЛОМО и Миноборонпрома создали широкий спектр новых приборов с использованием отечественной флюоритовой оптики.

В результате за работу по флюориту коллективу, возглавляемому Н.П. Юшкиным, в 1982 г. была присуждена Премия Совета Министров СССР. Опубликованные Н.П. Юшкиным с соавторами монографии «Уральско-Новоземельская флюоритоносная провинция» (1982) и «Оптический флюорит» (1983), обобщившие опыт изучения и научно-технических испытаний амдерминского флюорита, представляют собой замечательный и поучительный пример невероятно быстрого и эффективного использования новых научных достижений для решения крупной экономической задачи государственного масштаба. Интересно отметить, что полученный опыт очень быстро дал эффект и за пределами СССР. В ходе совместных исследований с

коллегами из Института прикладной минералогии БАН удалось создать и в Болгарии сырьевую базу высококачественного оптического флюорита.

В 1980-е гг. ученым была задумана и начала осуществляться грандиозная программа создания многотомного издания по минералогии Урала. Уже к 1986 г. ему в соавторстве с *О.К. Ивановым* и *В.А.Половым* удалось выпустить «Введение в топоминералогия Урала» – первое современное обобщение минералогической информации по региону, сыгравшему выдающуюся роль в становлении минералогической науки и отечественной горной промышленности. В книге были охарактеризованы основные минералогические провинции и минеральные комплексы, приведен полный кадастр минералов с кратким их описанием и данными о первооткрывателях, определены основные пути перспективных минералогических исследований на Урале. В 1990 и 1991 гг. под редакцией Н.П.Юшкина были опубликованы два тома «Минералогия Урала», содержащие систематическое описание уральских минералов.

В ходе многообразных минералогических исследований в 1980-е гг. укрепилось международное сотрудничество. Особенно плодотворными оказались связи с болгарскими коллегами. Совместные работы начинались с оценки флюоритовых месторождений, затем программа научной кооперации значительно расширилась. Важнейшими темами исследований стали кристалломорфология индикаторных минералов, условия и механизмы коллоидного минералообразования. По некоторым направлениям результаты совместных работ оказались особенно успешными. Так, кристалломорфологические исследования вылились в первое в истории совместное советско-болгарское открытие, сформулированное как «Закономерность пространственно-временного изменения морфологии минеральных индивидов в процессах природного кристаллообразования» и зарегистрированное в обеих странах. Суть этого открытия, в котором, кроме Н.П.Юшкина, участвовали советские (*Д.П. Григорьев, Н.З. Евзикова, Д.А. Минеев, В.А. Попов, И.И. Шафрановский*) и болгарские (*Б. Зидарова, И. Костов, М. Малеев*) ученые, сводится к следующему. Во-первых, было показано, что форма минеральных индивидов изменяется не случайно, а закономерно как в пространстве, так и во времени. Эта закономерность объяснялась существованием в природе устойчивых габитусных рядов, реализующихся в виде кристалломорфологической зональности рудных тел и ореолов минерализации. Во-вторых, было установлено, что кристаллографические габитусы минералов находятся в морфологическом соответствии друг с другом, образуя, таким образом, парагенезисы форм кристаллов. На основе открытия были разработаны новые методы поисковой кристалломорфологии, давшие существенный народнохозяйственный эффект.

Особое место в творчестве Н.П. Юшкина занимают работы по симметричной эволюции минерального мира, сыгравшие большую роль в развитии минералогической науки и практики. Известно,

что на основе учения о симметрии сформированы все современные представления о морфологии и внутреннем строении природных кристаллов, позволяющие объяснять и прогнозировать свойства минералов, судить об условиях их образования. В подходе Н.П. Юшкина принципиально новым было стремление показать, что закономерности симметричной эволюции реализуются не только в масштабе локальных систем минеральных индивидов, но и в масштабе минеральных континуумов, отвечающих крупным геологическим объектам вплоть до рудных районов, минерагенических провинций, геосфер и даже космических планет. Переход в такие масштабы привел к тому, что в минералогической кристаллографии сформировалось новое направление, понимаемое теперь как анализ кристаллосимметричной структуры минерального мира с целью определения космогеологических законов минералогической эволюции.

Рассматриваемое направление исследований Н.П. Юшкина берет начало от законов симметричной статистики проф. И.И. Шафрановского. Однако в случае Н.П. Юшкина местом приложения статистик является не весь известный нам минеральный мир, а отдельные топоры, сравнительный анализ которых и представляет собой задачу исследований. В качестве критериев оценки и сопоставления выступают особенности так называемой кристаллосимметричной структуры минеральных множеств, возникающей и изменяющейся в ходе геологического развития. Как показал опыт, кристаллосимметричная структура является достаточно чувствительным индикатором нетождественности геологических объектов самых разных масштабов – от геологических тел до геосфер и планет в целом.

Выяснилось, что в естественных рядах геологических объектов упомянутая нетождественность может интерпретироваться как результат необратимой минералогической эволюции, реализующейся на разных уровнях организации геологической материи. Были также получены данные о распространении такого рода эволюции на ряды космических объектов, объединяющих, например, планеты Солнечной системы. Кроме того, установлено, что кристаллосимметричная структура изменяется при переходе от эндогенных геологических объектов к экзогенным и далее к гипергенным, а кристаллосимметричные особенности земной коры в сравнении с земной мантией и Луной обусловлены влиянием на минералообразование биогенного фактора. Таким образом, закономерно изменяясь в процессе геологического развития, кристаллосимметричная структура может выступать критерием степени минерало-эволюционной зрелости, приобретаемой геотопосами в ходе космогеологической эволюции.

Установленные закономерности симметричной эволюции минерального мира в ходе геологического развития наиболее полно изложены в монографии «Законы симметрии и минералогии», написанной Н.П.Юшкиным в соавторстве с *И.И.Шафрановским* и *К.П.Януловым* (1987). Кроме того, Н.П.Юшкиным были опубликованы еще две оригина-

нальные работы «Геокристаллические модели: критический анализ» и «Проблемы геометрического моделирования Земли». Появление этих работ совпало с возрождением и широкой пропагандой, особенно в научно-популярной литературе, довольно схоластической идеи о том, что Земля якобы есть гигантский монокристалл. Николаем Павловичем же было показано, что, хотя для описания нашей планеты применимы представления о кристаллографической симметрии, она, тем не менее, не может рассматриваться как монокристалл. Геокристаллические модели лишь формально отражают некоторые и притом неглавные ее особенности, точно так же, как кристалл, трактуемый в рамках онтогении минералов как организм, живым организмом в действительности не является.

На 1990-е гг. приходится пик интереса ученых к проблеме минералоидов. Как известно, под этим термином объединяются твердые (конденсированные) некристаллические природные образования геологического происхождения, весьма широко распространенные в земной коре, особенно в верхних ее горизонтах. К таким образованиям относятся стекла земного и космического происхождения, метамиктные минералы, твердые углеродистые вещества, твердые смолы, полимеры геологического происхождения и т.п. Общей особенностью их конституции является рентгеноаморфность, т.е. отсутствие дальнего порядка в расположении атомов и молекул. Известно также, что минералоиды метастабильны, фазово-неустойчивы и при старении или изменении условий существования переходят в жидкое или в кристаллическое состояние. Из-за недостаточного внимания и несовершенства методов исследований такие вещества долгое время оставались практически «terra incognita». Именно Н.П. Юшкину удалось первым установить некоторые общие закономерности строения и свойств минералоидов, рассмотреть процессы и механизмы их образования, парагенезис минералоидов с минералами, определить наиболее перспективные направления дальнейших исследований этих сложных природных объектов.

Изучение некристаллических материалов литосферы вывело исследования академика Н.П. Юшкина на уровень фундаментальных вопросов о происхождении жизни на Земле. Этому способствовало и то, что уже на протяжении многих лет занимался обобщением материалов по биоминералогии. Постепенно его научные интересы смещались от вопросов о биоминерализациях к вопросам о роли минералов в происхождении и обеспечении жизни, проблеме коэволюции в истории Земли минеральной и живой материй. Это научное направление, получившее название витаминералогии, стало в 1990–2000 гг. главным для Н.П. Юшкина. Сам академик соответствующие природные явления назвал минералогическими аккордами биопоза, как бы продолжая высказывание Дж. Бернара, назвавшего в 1950-х гг. словом «биопоз» сам факт возникновения жизни на Земле. Обсуждая это направление исследований, нельзя не напомнить, что история представлений о зарождении жизни на

Земле насчитывает более 150 лет. Как известно, первую гипотезу на этот счет выдвинул отец агрохимии Ю. Либих еще в 1844 г., считавший живую материю на Земле ксеногенной. Позже Г.Рихтер уже открыто рассуждал о занесении жизни на нашу планету из ближнего космоса, а С.А. Аррениус и вовсе решил, что живое вещество во Вселенной было вечно и только перемещалось в зародышах с одной планеты на другую. Тем не менее в конце XIX в. высказывались идеи и другого рода. Например, Э. Геккель считал, что живая материя на Земле имеет вполне аутигенное происхождение и притом возникла из неживого, надо понимать, минерального вещества. В дальнейшем эта замечательная идея абиогенного синтеза органических соединений и живой материи непосредственно в земных условиях была подхвачена и развита А.И. Опариним и некоторыми другими химиками и биологами.

Основные положения развиваемой Н.П. Юшкиным концепции происхождения жизни на Земле сводятся к следующему. Как известно, в традиционной схеме стадийности биопоза наиболее загадочными остаются возникновение гена, зарождение генетического аппарата наследственности и формирование протобиологических организмов. Считается, что случайный синтез гена путем самосборки молекул практически невозможен. Ген должен был иметь своих небиологических предшественников. Ряд исследователей рассматривают в качестве информационных матриц – структурно-фундаментальных предшественников или даже протогена – непосредственно минералы, например, монтмориллонит, каолинит, слюды, хлориты, пирит, цеолиты, апатит, кальцит, арагонит, полевые шпаты и некоторые другие. Однако, по мнению академика Н.П. Юшкина, минералы вряд ли могли быть непосредственными предшественниками гена в силу своей кристаллической структуры. В качестве более перспективного субстрата для образования предбиологических организмов он выдвинул полимерные структуры твердых углеводородов неорганического происхождения. В частности, он показал, что фиброкерит из пегматитов по своей структуре и свойствам близок к примитивным живым организмам. А химический состав этого битума почти совпадает с составом белка. Присутствие в ассоциации с фиброкеритом множества минералов, в том числе и цеолитов, могущих играть роль мембран, обильное выделение углеводородных газов при нагревании, сложная морфология выделений керита и большая в сравнении с неорганическими кристаллами неоднородность внутреннего строения твердых битумов – все это могло выступить стимулятором для разнообразных обменных процессов, завершившихся возникновением протоорганизмов.

Таким образом, по Н.П. Юшкину получается, что, хотя живой мир на Земле не зародился как продукт непосредственной трансформации минералов, но оба мира на нашей планете – живой и неживой – имели, вероятно, общий источник – первичную ионно-молекулярную композицию. После своего зарождения объекты минерального и живого миров развивались в тесном взаимодействии и при

взаимовлиянии, что и определяется понятием коэволюции. В рамках такой теории возникновение жизни на Земле представляется не случайным событием, например, метеоритным импортом уже готовых живых организмов, а вполне аутигенным результатом, обусловленным естественными для Земли законами развития многообразных природных процессов.

Конец XX – начало XXI в. ознаменовались феноменальным прорывом минералогии в мир объектов нанометровой размерности. Это привело к возникновению нового раздела минералогической науки, известного теперь как наноминералогия. Официально об этом заявил на общем собрании Российской академии наук в марте 1988 г. президент РАН Ю.С.Осипов. При этом в число академических институтов, обеспечивших упомянутый прорыв, вполне заслуженно был включен Институт геологии Коми научного центра УрО РАН. Понятно, что и это достижение связано, прежде всего, с именем академика Н.П.Юшкина, многие годы формирующего в своем отделе, а потом институте органичный научный симбиоз минералогов, физиков и химиков. К настоящему времени в работах Николая Павловича дан детальный анализ проблем, возникающих в связи с минералогической интервенцией в наномир, сформулирована общая теоретическая концепция наноминералогии, рассмотрены особенности наносостояния минерального вещества, определены размерные границы, конституционная и структурно-морфологическая специфика наноструктур и нанообъектов, предложены новые модели их морфогенезиса. Результаты исследований Н.П.Юшкина и возглавляемого им коллектива по наноминералогической тематике обобщены в первой по проблеме наноминералогии книге «Микро- и нанодисперсные структуры минерального вещества» (Сыктывкар: Геопринт, 1999. 209 с.), в фундаментальной монографии «Наноминералогия. Ультра- и микродисперсное состояние минерального вещества» (СПб: Наука, 2005. 577 с.) и научном сборнике «Мир минералов, кристаллов и наноструктур» (Сыктывкар: Геопринт, 2008. 361 с.).

Еще одним самостоятельным направлением творчества Н.П.Юшкина стали история науки и науковедение. Особое внимание он уделяет, разумеется, истории собственно минералогии, эволюции фундаментальных минералогических идей, развитию различных минералогических школ, творческим биографиям выдающихся предшественников – *Д. Баларева, А.Г. Бетехтина, В.И. Вернадского, Е.С. Федорова, В.А. Варсанюфьевой, Д.П. Григорьева, И.И. Шафрановского* и др. В работах такого рода Н.П. Юшкиным охарактеризованы причины и условия зарождения, трансформации и укоренения в умах ученых ряда фундаментальных минералогических идей, на которых зиждется вся система современной минералогической науки. Им разработана наиболее совершенная схема периодизации истории минералогических знаний от палеолита – древнейшего этапа камневедения – до современной эпохи, ознаменованной проникновением в мир микро-нано-размерных величин и почти беспредельными

возможностями технической имитации минералов.

Отличительной особенностью подхода Н.П.Юшкина к проблемам такого рода является, прежде всего, стремление установить общие закономерности рождения и развития научных идей, распознать условия смены руководящих научно-методологических концепций (парадигм), понять главнейшие внешние и внутренние факторы эволюции науки, осознать природу ее движущих сил. При этом история науки рассматривается им не сама по себе, а как преамбула к созданию теории развития научных знаний.

Характерной чертой стиля жизни и творчества Н.П.Юшкина, проявившегося еще в его самые молодые годы, является неуклонное стремление к завершению всех своих начинаний обстоятельными научными публикациями – крупными статьями, брошюрами, монографиями. Это, безусловно, одна из форм проявления особенного дара видения целого даже на стадии крайней фрагментарности научных данных, отличающего настоящего ученого от рядовых научных специалистов. Н.П.Юшкиным опубликовано свыше 650 научных работ, в том числе более 30 монографий; кроме того, около 400 научно-популярных и публицистических работ, в том числе две книги об экспедициях и две автобиографические книги «Начало пути» (Екатеринбург: УрО РАН, 1996. 172 с.) и «Наука: труд, поиск, жизнь» (Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 463 с.).

С 1990 г. значительно расширилось сотрудничество Николая Павловича и его учеников с международными коллегами. Проводились совместные лабораторные и полевые исследования в Болгарии, Испании, США, Японии, Китае и др. Особенно успешными были работы в Институте каталонских исследований и Барселонском университете, в Институте наук о Земле и ресурсов при Университете Южной Каролины в США. В 1987 г. Н.П.Юшкин был избран членом-корреспондентом Академии наук СССР. В 1990 г. избран действительным членом Академии естественных наук РФ, а в 1991 г. – действительным членом Российской академии наук. Впоследствии он стал членом бюро Отделения геологии, геофизики, геохимии и горных наук, ряда научных советов РАН. Является членом Президиума УрО РАН, Объединенного ученого совета по наукам о Земле УрО РАН, Национального комитета геологов РФ. Продолжается, разумеется, его активная работа и в Коми научном центре, где он с 1971 г. – член Президиума. С 1993 г. академик Н.П. Юшкин является членом Минералогической ассоциации Канады, с 1994 г. – членом Минералогического общества США и почетным членом Болгарского минералогического общества. В 2002 г. он избран вице-президентом Международной минералогической ассоциации.

С 1985 г. по 2008 г. Н.П.Юшкин возглавлял Институт геологии Коми научного центра УрО РАН, для которого этот период был временем наивысших достижений. Под его руководством институт стал одним из ведущих академических институтов геологического профиля, настоящей минералогической «меккой», по выражению некоторых видных ученых. Именно в годы директорства Николая Павловича научные лаборатории были оснащены оборудовани-

ем мирового класса, произошла тотальная компьютеризация всего научного процесса, выросла плеяда настоящих кудесников научного эксперимента, почти сплошь учеников самого академика – В.П. Лютеев, А.Б. Макеев, Б.А. Остащенко, В.А. Петровский, В.И. Ракин и др. В институте открыты аспирантура и докторантура, активно способствующие росту высококвалифицированных кадров.

В 1992 г. Н.П. Юшкин организовал и возглавил работу Комиссии по изучению естественных производительных сил Республики Коми. На этом поприще особое внимание он уделял вопросам мобилизации естественных и общественных производительных сил с целью выхода из кризиса, выработке конкретных предложений по освоению природных богатств, рационализации структуры хозяйства, оценке природно-ресурсных комплексов и развитию минерально-сырьевой базы Республики Коми.

Многие годы Н.П. Юшкин весьма плодотворно работает в Российском (ранее Всесоюзном) минералогическом обществе, в которое вступил в далеком 1960 г., будучи еще старшим техником-геологом «Химгеолнеруда». Теперь он почетный его член, входит в состав Ученого совета и Президиума РМО, был председателем Комиссии по поисковой минералогии и минералогическому картированию, с 1993 г. по 2010 г. руководил Комиссией по истории минералогии.

Характеризуя многостороннюю деятельность Н.П. Юшкина как ученого, нельзя не отметить его активную работу в качестве научного редактора и популяризатора науки. Им отредактировано более сотни монографий, сборников и других научных изданий. Он является членом редколлегии журна-

лов «Записки Всероссийского минералогического общества» и «Минералогического журнала». Широко известны его экспедиционные очерки, опубликованные в виде научно-популярных книг.

С юношеских времен, заинтересовавшись проблемами генезиса минералов, Н.П. Юшкин стал одним из признанных лидеров отечественной и мировой минералогической науки. Более 50 лет он с глубоким проникновением в суть ищет и находит новые задачи минералогии, определяет пути их решения, формулирует новые идеи и обозначает перспективы дальнейших исследований. В его творческой биографии уместились открытие и исследование отдельных минералов, изучение рудных месторождений, анализ закономерностей формирования громадных рудоносных территорий, познание космогеологических законов эволюции минералообразования, создание минералогических теорий и определение принципов формирования научных знаний. И все это он сумел сочетать с громадным трудом воспитания учеников, среди которых есть член-корреспондент РАН, множество кандидатов и докторов наук, лауреатов всевозможных дипломов и премий.

Выдающиеся научные достижения Н.П. Юшкина отмечены многочисленными государственными наградами и престижными премиями, включая общенациональную Демидовскую премию (1998).

В свои 75 лет академик Николай Павлович Юшкин продолжает неустанно трудиться, проявляя при этом все свои лучшие качества ученого и педагога. Несмотря на высокие генеральские должности и звания, он остается одним из научных «окопников» – непосредственных добытчиков новых знаний.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 621.039.58

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ ТЕОРИИ ПЕРЕНОСА ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Ю.Г. СМЕРНОВ

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта
ysmirnov@ugtu.net

Рассматривается решение прикладных задач теории переноса излучения применительно к нахождению распределения поля гамма-излучения, создаваемого радиоактивными шламами на нефтегазопромыслах. Приведены примеры численной реализации процесса имитационного моделирования траекторий гамма-квантов применительно к задачам исследования пространственного и энергетического распределения радиационных полей от емкостей цилиндрической формы с радиоактивными отходами. Полученные результаты численного моделирования свидетельствуют об адекватности расчетного алгоритма и его программной реализации для решения поставленных задач.

Ключевые слова: численное моделирование, пространственное распределение, гамма-излучение, радиоактивные шламы

Yu.G. SMIRNOV. NUMERICAL MODELLING OF SOME APPLIED PROBLEMS OF THE THEORY OF CARRYING OVER OF GAMMA RADIATION

The solution of applied problems of the theory of carrying over of radiation with reference to finding the distribution of gamma radiation field created by radioactive slimes in oil and gas fields is considered. Examples of numerical realization of the process of imitating modeling of gamma quanta trajectories with reference to research problems of spatial and power distribution of radiating fields from tanks of cylindrical form with radioactive waste are given. The obtained results of numerical modeling testify to adequacy of calculation algorithm and its program realization for the solution of the tasks in view.

Key words: numerical modeling, spatial distribution, gamma radiation, radioactive slimes

Интенсивная добыча углеводородного сырья способствует накоплению значительного количества радиоактивных отходов на территориях нефтяных и газовых промыслов, что представляет определенную экологическую проблему [1, 2]. Причина возникновения радиоактивных отходов обусловлена тем, что при разведке и эксплуатации месторождений нефти и газа на поверхность извлекаются пластовые воды с повышенной радиоактивностью. Установлено, что изотоп ^{226}Ra обнаруживается в большинстве проб пластовой воды нефтяных и газовых месторождений, его соединения также отлагаются на нефтяном и газовом оборудовании.

Емкости для сбора шламов повышенной радиоактивности обычно имеют цилиндрическую или прямоугольную форму. Поэтому в теоретическом плане представляет интерес выполнение математического моделирования полей гамма-излучения для излучающе-поглощающих тел цилиндрической и прямоугольной формы ограниченного размера. Данная задача относится к классу прямых задач ядерной геофизики, связанных с теоретическим изучением характеристик полей излучений в веще-

стве при заданных геометрических условиях, известных законах элементарных процессов взаимодействия и свойствах среды. Практический интерес представляет обратная задача – определение элементного состава и содержания радионуклидов в шламах по измеренному гамма-полю. Ее решение требует, наряду с экспериментальными исследованиями, детального теоретического изучения полей гамма-излучения, включая численное моделирование.

Математическая модель. Решение прикладных задач теории переноса излучения, к каким относятся, в частности, расчет поля гамма-излучения, создаваемого горными породами с повышенным содержанием естественных радионуклидов или радиоактивными шламами на нефтегазопромыслах [3], сводится к определению пространственно-энергетического распределения плотности излучения $N(r, \Omega, E)$ при известных данных о составе и геометрии изучаемой среды. Указанная величина, как известно [4], удовлетворяет интегрально-дифференциальному кинетическому уравнению Больцмана (уравнению переноса)

$$\operatorname{div}[\Omega N(r, \Omega, E)] + \mu(E)N(r, \Omega, E) = \iint d\Omega_0 dE_0 \sigma(E_0)N(r, \Omega_0, E_0)g(\Omega_0 \rightarrow \Omega, E \rightarrow E_0) + S(r, \Omega, E) \quad (1)$$

Данное уравнение является уравнением баланса излучения в шестимерном фазовом пространстве, элемент фазового объема которого

$$dr d\Omega dE = dx dy dz \sin\theta d\theta d\varphi dE,$$

где E – энергия гамма-кванта, выраженная в единицах $m_0 c^2$; μ – полный коэффициент ослабления гамма-квантов; σ – комптоновский коэффициент ослабления; $g(\Omega_0 \rightarrow \Omega, E \rightarrow E_0)$ – плотность функции распределения вероятности перехода гамма-кванта из состояния (Ω_0, E_0) в состояние (Ω, E) , выражаемая формулой Клейна-Нишины-Тамма.

Левая часть уравнения (1) определяет убыль числа гамма-квантов в элементе фазового объема $dr d\Omega dE$, которая происходит вследствие их свободного движения из элемента пространственного объема $dr = dx dy dz$, что выражается первым членом $\operatorname{div}[\Omega N(r, \Omega, E)]$, и в результате поглощения и рассеяния, что выражается вторым членом $\mu(E)N(r, \Omega, E)$. Здесь $N(r, \Omega, E)$ – число квантов в элементе объема $dx dy dz$ с энергией, принадлежащей интервалу $[E, E+dE]$, движущихся в элементе телесного угла $d\Omega$ и пересекающих единичную площадку в точке $r(x, y, z)$ с нормалью $\Omega(\theta, \varphi)$.

Прибыль числа гамма-квантов с направлением движения Ω и энергией E за счет их возникновения в пространственном объеме $dr = dx dy dz$ в результате рассеяния квантов, ранее до этого имевших направление Ω_0 и энергию E_0 , выражается первым членом в правой части уравнения переноса. Здесь интегрирование ведется по всем углам и всем энергиям первичных гамма-квантов до рассеяния. Второй член – функция источников $S(r, \Omega, E)$, отнесенная к единице объема, единице телесного угла и единичному интервалу энергии, – показывает прибыль за счет испускания квантов в элементарном объеме dr с энергией E и направлением Ω .

Интегрируя по всем углам функцию $N(r, \Omega, E)$, получим энергетическое распределение плотности гамма-квантов, т.е. спектр:

$$N(r, E) = \int N(r, \Omega, E) d\Omega.$$

Кроме того, интегрирование данного выражения еще и по энергиям даст пространственное распределение плотности гамма-излучения:

$$N(r) = \iint N(r, \Omega, E) d\Omega dE.$$

Методы решения. В аналитическом виде уравнение переноса (1) не решается точно ни для каких, даже идеализированных условий [4, 5]. Полный коэффициент ослабления гамма-излучения представляет собой сложную и обычно не представимую в аналитическом виде функцию энергии гамма-квантов и атомного номера среды. Поэтому даже в условиях простейшей геометрии (например, однородная среда, точечный или плоский источник в бесконечной однородной среде) решение уравнения (1) может быть найдено только численными или полуаналитическими методами, связанными с использованием компьютерных расчетов.

При изучении прохождения гамма-квантов через вещество применяют различные методы решения прямых задач теории переноса излучения,

основанные на приближенном решении кинетического уравнения (1). Здесь можно упомянуть такие приближенные аналитические методы, имеющие ограниченное применение и дающие лишь качественные характеристики процесса, как лучевое приближение, приближение однократного взаимодействия, диффузионно-возрастное приближение. Одними из основных численных полуаналитических методов решения уравнения переноса являются методы моментов и последовательных столкновений [4].

Наиболее универсальным методом решения уравнения переноса считается метод статистических испытаний (метод Монте-Карло), основанный на замене исходной физической задачи эквивалентной ей вероятностной моделью [4, 5]. Процесс переноса излучения моделируется на компьютере методом имитации. При этом строятся конкретные случайные реализации процесса, зависящие от известных законов взаимодействия, конкретные значения которых получаются путем процедуры розыгрыша случайных чисел.

При некоторых ограничениях, а именно в случае однородной среды, изотропного источника и изотропного рассеяния излучения в среде интегрально-дифференциальное уравнение переноса (1) преобразуется в более простое интегральное уравнение переноса вида

$$F(\mathbf{x}) = \int k(\mathbf{x}_0 \rightarrow \mathbf{x}) F(\mathbf{x}_0) d\mathbf{x}_0 + s(\mathbf{x}), \quad (2)$$

где $F(\mathbf{x})$ – полное число взаимодействий в единице объема; $k(\mathbf{x}_0 \rightarrow \mathbf{x})$ – ядро интегрального уравнения, представляющего собой переходную плотность цепи столкновений; $\mathbf{x} = (r, \Omega, E)$ – совокупность координат фазового пространства; $s(\mathbf{x})$ – плотность первых столкновений. Именно этим уравнением обычно пользуются при решении задач теории переноса излучений методом Монте-Карло.

Важнейшие характеристики поля излучения могут быть представлены в виде линейных функционалов от решения уравнения (2):

$$(F, h) = \int F(\mathbf{x}) h(\mathbf{x}) d\mathbf{x},$$

где $h(\mathbf{x})$ – соответствующая весовая функция.

Результаты моделирования и их обсуждение. Численная реализация процесса имитационного моделирования траекторий гамма-квантов была выполнена применительно к задаче исследования распределения радиационных полей от радиоактивных шламов на нефтегазопромыслах с использованием разработанного программного комплекса [6]. Вначале рассматривалась геометрия эксперимента, при которой небольшой дисковый источник диаметром 1 см располагался на значительном расстоянии от детектора диаметром 4 см. Расстояние источник–детектор менялось от 30 до 100 см с шагом 1 см. Данная геометрия удовлетворяет условиям лучевого приближения, что выражается следующей известной формулой, дающей зависимость плотности гамма-излучения $N(r)$ от расстояния r между источником и детектором [4]:

$$N(r) = Q \exp(-\mu r) / r^2, \quad (3)$$

где Q – активность источника, а μ – линейный коэффициент ослабления гамма-квантов в исследуемой среде.

На рис.1 представлены результаты компьютерного моделирования пространственного распределения плотности гамма-поля в сравнении с расчетами по формуле (3). Моделирование осуществлялось путем розыгрыша 10^5 траекторий гамма-квантов для одной из самых интенсивных линий источника ^{226}Ra с энергией 1,76 Мэв. Как видно, наблюдается довольно неплохое совпадение результатов моделирования с расчетами в лучевом приближении для воздуха, что свидетельствует об адекватности расчетного алгоритма. Для более плот-

нократно рассеянные кванты, попадающие в детектор, а формула (3) их не учитывает. Помимо расчета интегральных характеристик гамма-поля программный комплекс позволяет также моделировать пространственно-энергетические распределения гамма-излучения. На рис.2 приведен пример вывода на экран компьютера результатов численного моделирования спектрального распределения гамма-квантов на поверхности цилиндра, в котором размещена излучающе-поглощающая среда в виде песчаника с равномерно распределенным радиоактивным источником с энергией 1,76 Мэв. Как видно, форма полученного модельного спектрального распределения комптоновски рассеянных гамма-квантов качественно схожа с типичными аппаратными и расчетными спектрами многократно рассеянного гамма-излучения [4].

Закключение

Полученные результаты численного моделирования свидетельствуют об адекватности расчетного алгоритма и наглядно демонстрируют возможности разработанной программы.

Предполагается дальнейшее совершенствование расчетного алгоритма в направлении более детального учета параметров излучающе-поглощающей среды.

Литература

1. Gray P.R. NORM Contamination in the Petroleum Industry // Journal of Petroleum Technology, 1993. Vol. 45, No. 1. P.12-16.
2. Никифоров Ю.А. Радиоактивное загрязнение окружающей среды при нефтедобыче на примере Ставропольских месторождений // Российский геофизический журнал, 1994. №3. С.81-84.
3. Смирнов Ю.Г. Компьютерное моделирование полей гамма-излучения для решения задач радиационной экологии нефтегазопромыслов // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 30-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского. Москва, 27-31 января 2003 г. М.: ОИФЗ РАН, 2003. С.104-105.



Рис.1. Сравнение результатов компьютерного моделирования с теоретическими расчетами в лучевом приближении для точечного источника (10^5 испытаний).

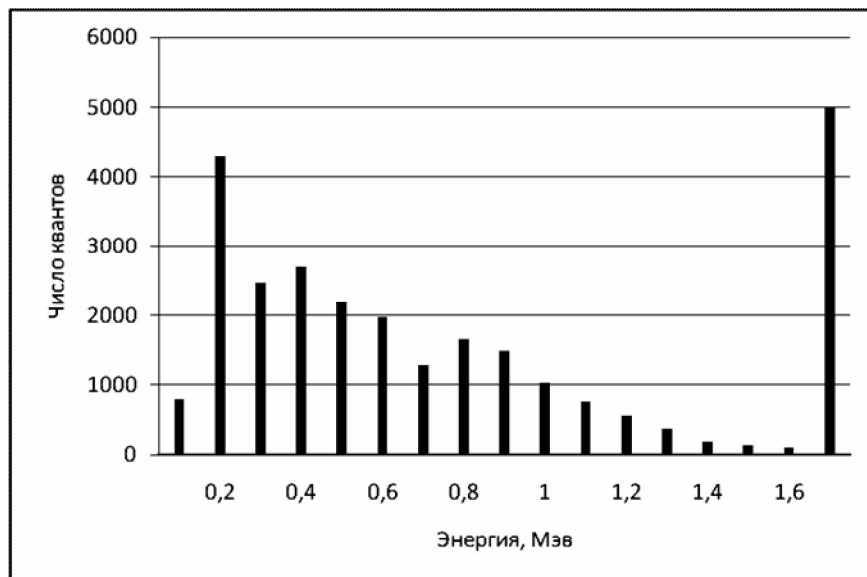


Рис. 2. Пример моделирования спектрального распределения гамма-квантов (1 млн. испытаний) с энергией 1,76 Мэв от моноэнергетического дискового источника на расстоянии 10 см.

ной среды (песок) результаты моделирования уже не так хорошо согласуются с расчетами в лучевом приближении. Это объясняется тем обстоятельством, что имитационное моделирование учитывает

многочисленные кванты, попадающие в детектор, а формула (3) их не учитывает. Помимо расчета интегральных характеристик гамма-поля программный комплекс позволяет также моделировать пространственно-энергетические распределения гамма-излучения.

4. *Пшеничный Г.А.* Взаимодействие излучений с веществом и моделирование задач ядерной геофизики. М.: Энергоиздат, 1982. 224 с.
5. *Соболь И.М.* Численные методы Монте-Карло. М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1973. 312 с.
6. *Смирнов Ю.Г., Волков М.В.* Расчет пространственно-энергетического распределения гамма-излучения методом статистического моделирования // Вестник Воронежского государственного технического университета, 2006. Т.2. №8. С.87-89.

Статья поступила в редакцию 23.03.2011

УДК 531+539+577.3:612.76

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЗУЧЕСТИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ

*Н.П. БОГДАНОВ, ** М.Ю. ДЕМИНА, *** Л.С. ПОЛУГРУДОВА

**Ухтинский государственный технический университет, г.Ухта*

***Коми филиал ГОУ ВПО Кировская ГМА Минздравсоцразвития России, г. Сыктывкар*

****ГОУ ВПО Сыктывкарский лесной институт (филиал) Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии имени С.М.Кирова, г.Сыктывкар*

**bnp55@mail.ru, **mdemina59@mail.ru*

Проведено численное моделирование ползучести вязкоупругой среды. Рассмотрено влияние параметров механических моделей на кинетику накопления деформации под постоянной нагрузкой. Выполнено сравнение результатов расчета с экспериментальными кривыми ползучести компактной костной ткани.

Ключевые слова: вязкоупругий материал, ползучесть, реологические модели Максвелла, Фойгта, Кельвина, механическое напряжение, деформация

N.P. BOGDANOV, M.Y. DEMINA, L.S. POLUGRUDOVA. MODELING OF CREEP OF BIOLOGICAL TISSUE

Numerical simulation of creep of the viscoelastic material is carried out. Influence of parameters of mechanical models on kinetics of deformation accumulation under constant loading is considered. Comparison of calculation results with experimental creep curves of compact bone tissue is done.

Key words: Viscoelastic material, creep rheological model of Maxwell, Voigt, Kelvin, mechanical stress, deformation

Современные медицинские технологии в области ортопедии, сосудистой хирургии, стоматологии и т.д. широко используют имплантаты. Внедрение имплантата в живые ткани требует решения не только вопросов, связанных с биологической совместимостью материалов, но и проблему их механического сопряжения. Очевидно, что механические характеристики материала имплантата и биоткани, в которую он вживляется, должны быть близки. Имплантируемыми материалами чаще всего являются либо полимерные композиты, либо материалы с памятью формы, механические свойства которых хорошо известны. Исследование механических свойств биотканей *in vivo* представляет определенные затруднения, связанные с физиологическими условиями функционирования. Экспериментальные результаты, полученные *in vitro*, хотя и дают возможность определить такие интегральные характеристики биотканей, как модуль упругости, предел прочности, однако не в полной мере отражают реальные условия деформирования ткани. Структура и механические свойства биологических тканей определяются множеством факторов, причем, как и для материалов с памятью формы, зависят от истории деформации. В этом случае проведение модельного эксперимента не только позволяет рассчитать кинетику деформации, но и сделать прогноз деформационных свойств материала в предполагаемых силовых условиях.

Известно, что биологическая ткань является сложной композиционной структурой, обладающей механическими свойствами, отличающимися от свойств отдельных компонентов: коллагена, эластина и связующего вещества. Биоткани в целом проявляют свойства вязкоупругости: релаксацию напряжения при постоянной деформации, гистерезис деформации при циклическом нагружении и разгрузке, ползучесть при постоянном напряжении [1]. В данной работе проведено моделирование ползучести материала, имитирующего биологическую ткань, в рамках механических моделей вязкоупругости таких, как модели Максвелла, Фойгта, Максвелла, определено влияние параметров моделей на кривые ползучести и дано сравнение расчетных кривых с экспериментальными данными ползучести компактной костной ткани.

Механические модели вязкоупругой среды строятся из таких элементов, как линейно-упругая пружина с модулем упругости E (массой этой пружины пренебрегают), подчиняющаяся закону Гука $\sigma = \varepsilon E$, и вязкий элемент (демпфер) с коэффициентом вязкости η (поршень, движущийся в цилиндре с вязкой жидкостью), описываемый уравнением Ньютона $\sigma = \eta \dot{\varepsilon}$, [2 – 4].

В модели Максвелла упругий и вязкий элемент соединены последовательно (рис.1).

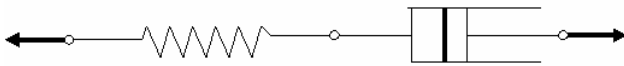


Рис.1. Модель Максвелла.

Общая относительная деформация определяется как $\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$, где $\varepsilon_1 = \frac{\sigma}{E}$, $\dot{\varepsilon}_2 = \frac{\sigma}{\eta}$. Зави-

симость между напряжением и деформацией может быть записана в виде

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\dot{\sigma}}{E} + \frac{\sigma}{\eta}. \quad (1)$$

Решение реологического уравнения (1) в условиях прямой ползучести при $\sigma = \text{const}$ имеет вид $\varepsilon = \frac{\sigma}{\eta} t$, если считать, что в момент задания на-

грузки материал не деформируется, а с учетом начальной деформации, обусловленной мгновенным растяжением пружины:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \frac{\sigma}{\eta} t. \quad (2)$$

Результаты численного моделирования на этапе накопления деформации и ее последующего восстановления после разгрузки приведены на рис.2. В модели Максвелла от модуля упругости пружины зависит только начальное значение деформации ε_0 , а скорость ее последующего нарастания определяется коэффициентом вязкости η .

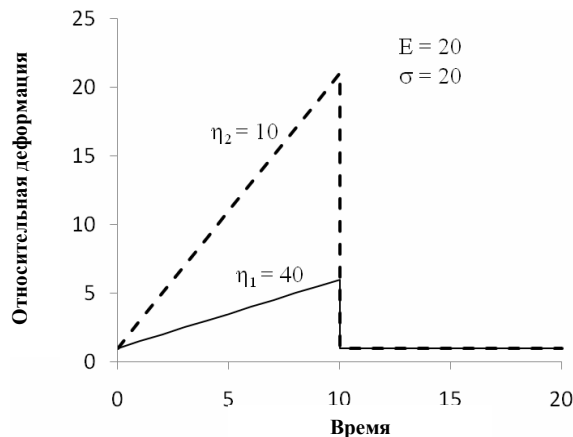


Рис.2. Кривые ползучести в модели Максвелла.

Модель Максвелла достаточно хорошо описывает ползучесть бетона и полимерных материалов [5], однако подобные модельные кривые не соответствуют известным кривым ползучести биологических тканей.

В модели Фойгта пружина и поршень связаны параллельно (рис.3), и вязкость оказывает сопротивление установлению упругого равновесия. Деформации пружины и поршня одинаковые в данной модели, общее напряжение $\sigma = \sigma_1 + \sigma_2$, где $\sigma_1 = E\varepsilon$, $\sigma_2 = \eta\dot{\varepsilon}$.

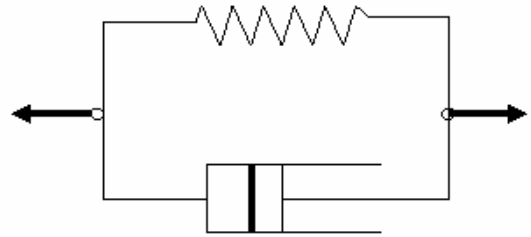


Рис.3. Модель Фойгта.

Зависимость между напряжением и деформацией для модели Фойгта имеет вид

$$\sigma = E\varepsilon + \eta\dot{\varepsilon}. \quad (3)$$

Решение реологического уравнения (3) при постоянном напряжении и нулевой начальной деформации

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \left(1 - e^{-\frac{E}{\eta} t} \right). \quad (4)$$

На рис.4 отражена кинетика деформации, реализованная при численном решении уравнения (4) в условиях постоянного напряжения и коэффициента вязкости. Результаты расчетов показывают, что модуль упругости в модели Фойгта определяет величину накопленной деформации, и практически не влияет на скорость ползучести при малых модулях упругости.

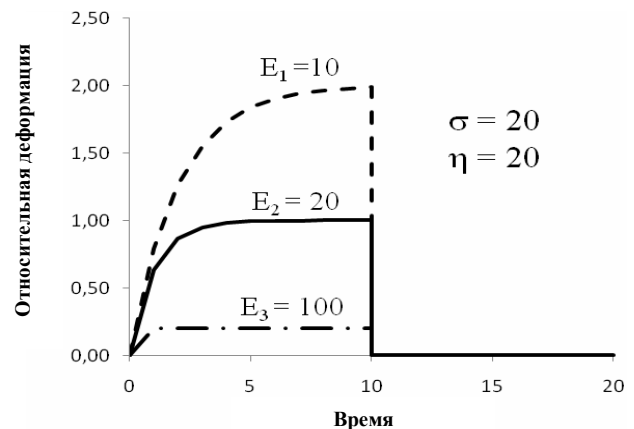


Рис. 4. Влияние модуля упругости на кривую ползучести материала в модели Фойгта.

Проводили исследование влияния коэффициента вязкости на кривые ползучести при неизменных упругих свойствах модельного материала. Изменение коэффициента вязкости практически не влияет на величину накопленной деформации, однако определяет скорость ползучести. При малых значениях коэффициента вязкости скорость ползучести большая, деформация практически сразу достигает предельных для данных параметров модели значений и затем не изменяется. При больших значениях коэффициента вязкости скорость ползучести уменьшается и на установление деформации требуется большее время.

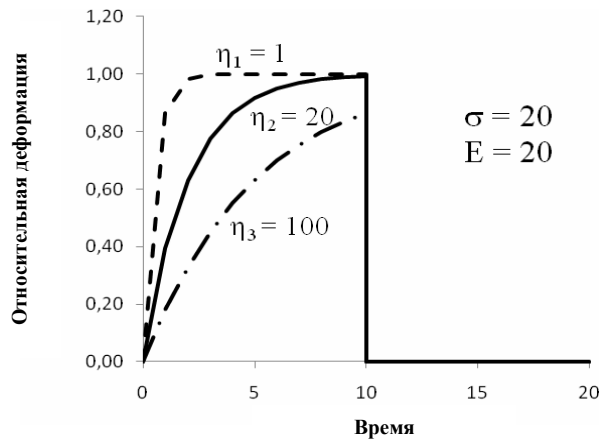


Рис.5. Влияние коэффициента вязкости на кривую ползучести материала в модели Фойгта.

Модель Кельвина состоит из двух упругих и одного вязкого элементов (рис.6).

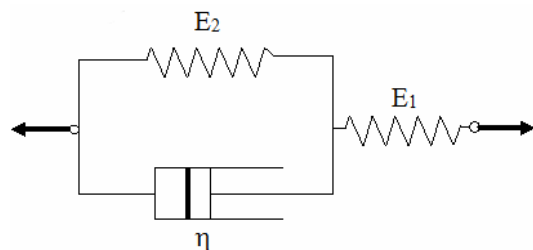


Рис.6. Модель Кельвина.

Для этой модели выполняются соотношения:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2,$$

где $\varepsilon_1 = \frac{\sigma}{E_1}$, $\varepsilon_2 = \varepsilon - \varepsilon_1 = \varepsilon - \frac{\sigma}{E_1}$. Напряжения

для элемента Фойгта и пружины E_1 одинаковы и равны $\sigma = E_1 \varepsilon_1 = E_2 \varepsilon_2 + \eta \dot{\varepsilon}_2$. Реологическое уравнение для модели Кельвина имеет вид

$$\dot{\sigma} + \frac{E_1 + E_2}{\eta} \sigma = E_1 \dot{\varepsilon} + \frac{E_1 E_2}{\eta} \varepsilon. \quad (5)$$

Решение дифференциального уравнения (5) при постоянном напряжении и нулевой начальной деформации может быть записано в виде

$$\varepsilon = \frac{(E_1 + E_2)}{E_1 E_2} \sigma \left(1 - e^{-\frac{E_1 E_2}{\eta} t} \right). \quad (6)$$

В модели Кельвина увеличение упругости элемента E_1 сильнее влияет на кривые ползучести, чем упругость элемента E_2 (рис.7). Причем, если при отношении модулей упругости 1:1 кривые ползучести практически совпадают, то при отношении 1:10 существенно отличаются (рис.7, 8). При малом модуле упругости E_2 по сравнению с модулем упругости E_1 (рис.8) пружина 1 быстро растягивается при действии постоянной нагрузки и мгновенно сокращается после ее снятия.

Влияние вязкого элемента в модели Кельвина аналогично вязкому элементу в модели Фойгта: сильное изменение кинетики ползучести при увеличении значения η и в меньшей степени величины накопленной деформации (рис.9).

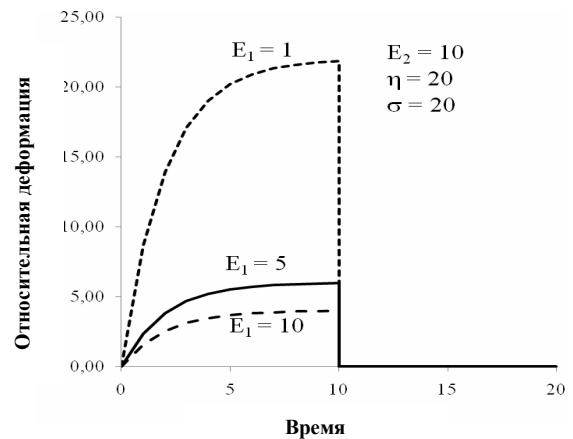


Рис.7. Влияние модуля упругости элемента E_1 на кривые ползучести в модели Кельвина.

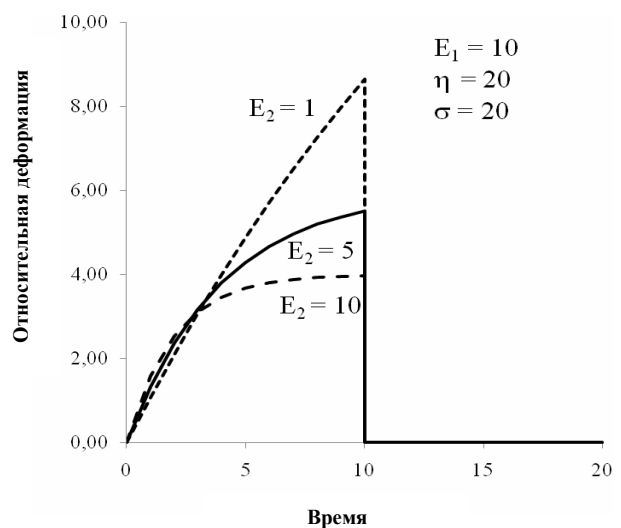


Рис.8. Влияние модуля упругости элемента E_2 на кривые ползучести в модели Кельвина.

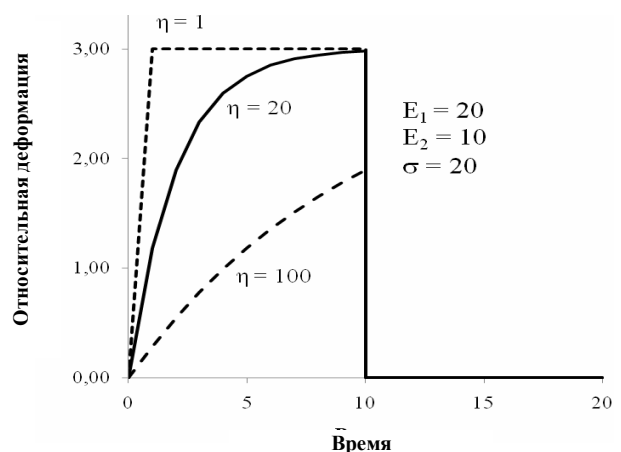


Рис.9. Влияние коэффициента вязкости на кривые ползучести в модели Кельвина.

На рис.10 приведены кривые ползучести, полученные при одинаковых параметрах рассмотренных моделей. Данные расчетов показывают, что кинетика деформации, обусловленная ползучестью материала, качественно одинакова в моделях Фойг-

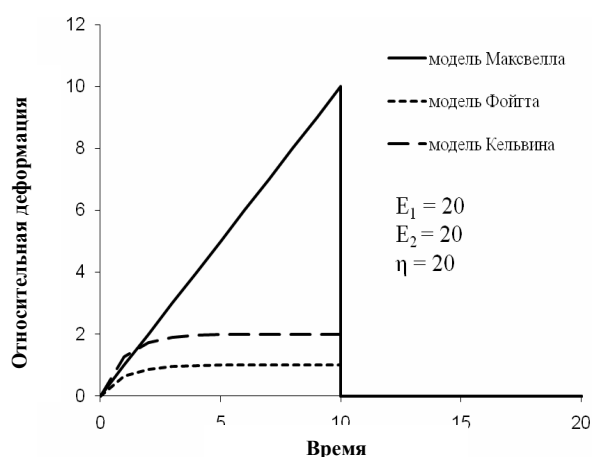


Рис.10. Сравнение кривых ползучести для различных моделей вязкоупругой среды.

та и Кельвина и существенно отличается в модели Максвелла.

Таким образом, варьируя константы моделей вязкоупругой среды, можно не только прогнозировать кривые ползучести, но и находить нужное сочетание упругого и вязкого элементов при разработке материалов для имплантатов.

Сравнение результатов расчета с экспериментальными данными ползучести компактной костной ткани [1] показывает, что модели Фойгта и

Кельвина качественно описывают ползучесть компактной костной ткани на этапе накопления деформации. Результаты моделирования кинетики деформации на этапе восстановления не соответствуют экспериментальным данным, где на кривых ползучести компактной костной ткани наблюдается остаточная деформация. Наличие такой деформации после разгрузки свидетельствует о необратимых изменениях в биоткани, что можно, по-видимому, учитывать, применяя в исследованных моделях переменный модуль упругости, либо рассматривая более сложные модели вязкоупругой среды.

Литература

1. Бранков Г. Основы биомеханики. М.: Мир, 1981. 254 с.
2. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. М.: Наука, 1988. 712 с.
3. Кристенсен Р. Введение в теорию вязкоупругости. М.: Мир, 1974. 228 с.
4. Александров А.В., Потапов В.Д. Основы теории упругости и пластичности. М.: Высш. шк., 1990. 400 с.
5. Победря Б.Е. Механика композиционных материалов. М.: МГУ, 1984. 336 с.

Статья поступила в редакцию: 05.04.2011

ПОСТИЖЕНИЕ ЖИЗНИ В ПОИСКАХ НОВЫХ ФОРМ (об одной из тенденций развития коми прозы рубежа XX – XXI вв.)

Т.Л. КУЗНЕЦОВА

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

kuznetsovati@mail.ru

Выявлено, что в новейшей коми прозе сформировалась тенденция к разрушению традиционных форм художественного воссоздания жизни. В выражении сложных отношений современника с миром писатели приходят к необычным художественным решениям, создавая нетрадиционную композицию, сферу топоса. Прослеживается близость к поэтике постмодернизма.

Ключевые слова: коми проза, «другая» проза, композиция, языковая игра, ирония, постмодернизм

T.L. KUZNETSOVA. COMPREHENSION OF LIFE IN SEARCHES OF NEW FORMS (on one of the tendencies of the Komi prose development on the boundary of XX-XXI centuries)

The author revealed that in the newest Komi prose the tendency to destruction the traditional forms of artistic reconstruction of life was formed. In expression of difficult relations of the contemporary with the world the writers come to unusual artistic decisions, creating a non-traditional composition, sphere of topos. The affinity to postmodernism poetics is traced.

Key words: Komi prose, «other» prose, composition, language game, irony, postmodernism

Апокалиптические ощущения, невозможность понять разрушающийся мир, острое чувство одиночества нашли новые формы выражения в современной коми литературе: в ней проявились черты «другой» прозы (термин А. Битова). Художественная структура ряда произведений (повесть А. Лужикова «Измъм синва» (Окаменевшие слезы, 1998), рассказы А. Полугрудова «Медводдза лым» (Первый снег, 1997), «Ру» (Туман, 1997), «Вӧт» (Сон, 1999), «Ми» (Мы, 1999), «Йӧюк» (Дурачок, 2001), М. Остаповой «Дона дневник» (Дорогой дневник, 2009), «Вуджӧр» (Тень, 2007) и др.) резко ломает традиционные устои поэтики коми прозы, воплощая сущностные изменения, происходящие в художественном сознании. Самоирония, звучащая в авторском монологе в рассказе А. Полугрудова «Ми», наполняется более глубокой, чем кажется на первый взгляд, семантикой. Автор ироничен не только в пространстве своего художественного мира, он ироничен по отношению к традиционной стиливой (предметно-описательной) манере, утвердившейся в коми прозе.

Герой произведений «новой волны» в конфликтных отношениях с окружающими. Дисгармония в связях с миром, мучающая героя рассказов А. Полугрудова, находит своеобразные формы выражения: нарочитая дурашливость героя, самоиро-

ния, принимающая вид игры в рассказе «Ми», изолированность, противостояние обществу в рассказе «Йӧюк». *Ставыс сӧйӧс шӧны Лысӧйӧн* (все его зовут Лысым), – пишет о своем герое автор. Мир, разрушившийся, чуждый, непознаваемый, противопоставлен герою. Плотная пелена тумана, которая заволокла героя рассказа «Ру», имеет метафорическое значение: он не только одинок, но и отрезан от мира. Туман символизирует как одиночество, изолированность героя, так и убежденность в том, что мир невозможно понять. Тягостное одиночество героя находит выражение и в беседе, которая, по сути, превращается во встречу с двойником – разговор с самим собой. Герой рассказа А. Полугрудова «Вӧт», находясь в тесном кольце повседневных забот, совершая бег по кругу, ощущает себя волком, преследуемым сворой собак. Никӧ, героя рассказа А. Полугрудова «Йӧюк», все считают дурачком; в своем одиночестве он противостоит сельчанам: *Лысӧй оліс эз бур йӧзыс моз, и весиг картофельсӧ пуктіс ас ногыс* (Лысый жил не так, как добрые люди, и даже картошку сажал по-своему), – пишет автор.

Мировоззренческие установки, мироощущение современного человека, которого преследует настойчивое ощущение того, что мир разрушается, в сознание которого вселяется уверенность в его

непознаваемости, выразились и в композиционных особенностях произведений: фрагментарные, разрозненные записи играют особую роль в организации текста. Так, произвольность формы отмечает рассказ А. Полугрудова «Ру»: внутренний монолог героя, прерывающийся диалогической речью, которую герой воспринимает как монологическую, не получает четко очерченных композиционных контуров; она основывается на неожиданных ассоциативных связях (стилевая неоднородность также имеет смысловую значимость). Попытка «заглянуть» в сферы подсознательного, ощущение раздвоения личности героя оформляется в зарисовку, имеющую весьма своеобразный характер (некоторые связи ассоциативного характера сближают рассказ А. Полугрудова с известным явлением русского постмодернизма – «Школой для дураков» Саши Соколова). В рассказе «Вёт» эмоциональное описание неровного, кошмарного сна переходит в строгий перечень дел, составляющих день героя. Ритм повествования первой части рассказа диссоциирует с ритмом второй. Подобная дисгармоничность удивительным образом воссоздает духовный мир героя – загнанного, затравленного, находящегося в чуждом, враждебном окружении.

Важные семантические аспекты передает и языковая игра, нарочитые манипуляции со словом. В этом также находит выражение состояние современного человека, разуверившегося в ценностях мира. В сущности, элементы языковой игры и в стиливой неоднородности, своеобразной незавершенности названных произведений А. Полугрудова, А. Лужикова; эти факторы формируют поэтику произведений «новой волны». Игра словом также передает ощущение «мир как текст» (Р. Барт). *Пызань ёлі тыртмабсь сеян-юанён, юан сеянён да сеян юанён* (Стол был заставлен едой-питьем, питьевой едой и съестным питьем); *Фальшивой сельдь кындзи ёлісны на фальшивой бифштекс да ромштексыс. Найёс сиджё ёлі позь шуны ыжштекссысён* (Кроме фальшивой сельди, были фальшивые бифштексы и ромштексы. Их также можно было назвать овцештексами), – иронично отмечает автор рассказа «Ми».

Значимую смысловую нагрузку несет и авторская ирония. Составляя мировоззренческую основу, выражая взгляд автора на мир, она также утверждает бесплодность попыток познать и объяснить его. Видимо, разрушительная сила насмешки, пафос иронического отрицания скрыты в сущностных началах, определяющих мышление современника. Так, в рассказе А. Полугрудова «Ми» фабула, повествующая о веселых приключениях молодых героев, которые в привычной повседневности ищут развлечений, иронически переосмысливается: жизнь не может преподнести ничего нового. Иронией проникнуто определение жанровой природы произведения А. Полугрудова «Пакула»: повествование о том, как герой, наделенный волевым, сильным характером, формирует и собственный имидж, и судьбу, определено как современная сказка (ироническая игра, видимо, органично связана с особенностями мышления Полугрудова – художника).

В иронии А. Полугрудова заложен некий скептицизм, который во многом обуславливает особенности стиливой сферы его произведений. Ироническая двуплановость повествования создает особый подтекст. Рассыпанная в колких замечаниях, скрытая в нейтральном тоне, ирония имеет своеобразный характер: она странным образом обнаруживает осознание современником собственной никчемности и бессилия перед хаосом бытия. Именно в напряженной энергии иронии рождается подтекст, вбирающий глубину переживаний: ирония с оттенком горечи (чаще принимающая форму самоиронии) – обратная сторона, изнанка очень непростого духовного состояния современника, который находится под прессом эсхатологических ощущений. В формируемом иронией подтексте скрыта и растерянность, связанная с осознанием того, что мир невозможно постичь. В самоиронии словно вселилась душевная пустота, которая вызывает состояние острого дискомфорта. Действительно, правы исследователи в утверждении, что «... в семантической структуре художественного произведения подтекстовая информация является доминирующей» [1]. В рассказе «Ми» иронический план, обнаруживаясь во множестве частностей, являет неуверенность, привитую героям пугающей реальностью. В своем стремлении разрушить сложившиеся стереотипы ирония содействует и приближению к истине. Так, авторская ирония во многом способствует тому, чтобы понять Никё, слывшего в деревне дурачком, а также сельчан, что не принимают Никё.

Художественное пространство произведений «новой волны» локализуется в духовной, психологической сфере. Так, природа повести А. Лужикова «Измём синва» близка к плачу по умершему. В ней находит выражение состояние острой душевной боли героя, его глубокий разлад с жизнью. В разрозненности текста произведения, напоминающего обрывочные записи, все же проступает пунктирная линия, ведающая о саднящей, мучающей душу боли.

*Пемьд вой шёрын садьма да
Сьёлёмын омлялө кёин.
Югыд кодзулөй усьёма, сотчёма.
Кольёма – пёим.*

В темную полночь проснусь
В сердце воет волк.
Светлая звезда упала, сгорела
Остался – пепел.

В этих поэтических строках, включенных в прозаический текст, находит емкое выражение внутреннее состояние героя. Тягостное одиночество героя рассказа А. Полугрудова «Ру», получившее даже предметные формы изображения – выражение его глубокой душевной драмы. *Оз ков мёвпавны, оз ков. Колё мынтөдчыны тайё кытшсыс!.. Ме оз мёвпав, ме оз мёвпав, ме оз мёвпав, оз позь! Да мёвпавтёгыс он вермы!* (Не надо думать, не надо. Надо выйти из этого круга!.. Я не думаю, я не думаю, я не думаю, нельзя, нельзя! Да без раздумий не можешь!) – обнажает на-

пряженное течение мыслей героя автор. Художественная энергия произведений концентрируется в сфере сознания героя; напряженный вектор авторского внимания прикован к ощущениям, движению чувств и мыслей героев. Фиксируя внимание на ощущениях героя, подчеркивая их болезненный характер, автор открывает сферу очень непростых отношений его с миром. Герой не готов к адекватному восприятию установившихся в современном мире связей и отношений. То обстоятельство, что герой очень раним, говорит о его духовном неблагополучии, о том, что гармония в отношениях с миром утеряна. Цельность мира в восприятии героев произведений А. Лужикова и А. Полугрудова нарушена. Выразительным средством воссоздания мира становится коллаж (порой принимающий форму перечня). Безотчетная тревога, страх, определяющие отношения героя с миром, искажают естественность форм. Густая пелена тумана, отгородившая героя от мира и парализующая его действия, – форма выражения и его собственной несостоятельности (рассказ А. Полугрудова «Ру»).

В произведениях А. Полугрудова состояние глубокой депрессии, ощущение безысходности, внутренний разлад чаще закамуфлированы. Видимость чрезмерной занятости, которая якобы не дает возможности задуматься о чувствах, о духовном состоянии, ощущение того, что лицо героя постоянно прикрыто маской, – оборотная сторона истинного состояния героя. Думается, подобный способ исследования духовного состояния современника, вскрывающий формы метаморфоз, также выявляет искаженные, разрушившиеся связи его с миром и формирует картину мира, когда естественные отношения и узы деформированы. Дискомфорт в отношениях с миром остро переживается и в изображенной А. Полугрудовым конкретной сцене забоя скота, когда героя рассказа «Медводдза лым», тонкого, ранимого и абсолютно беззащитного, травмирует жизнь в ее простоте и правде. В данном случае обычная житейская ситуация обретает особое значение: герой не в состоянии взять на себя ответственность, включиться в привычную цепь отношений, определяющих устройство мира. Немного словное, даже сжатое перечисление действий, составляющих день героя рассказа А. Полугрудова «Вёт», насыщено его напряженными размышлениями, поисками, приводящими к страшным открытиям: ежедневные круги, которые, почти задышавшись, совершает герой, обращаются в его духовную тупиковость. Герой словно зажат в тиски не приносящими радости буднями, образующими замкнутый цикл; он лишен будущего. Душа героя травмирована, он не находит согласия с миром. То обстоятельство, что реальная, ежедневная, обычная жизнь героя не наполнена духовным содержанием, не одухотворена радостью (герой словно автоматически выполняет то, что и составляет жизнь: записи о ежедневных проблемах, что необходимо решить, которые производит в своем блокноте герой повести А. Лужикова, напоминают насыщенные делами дни героя рассказа «Вёт» А. Полугрудова), также говорит о его кризисном состоянии, о том, что

нарушены гармоничные связи с миром. В то же время скороговорка, представляющая строгий перечень (перечень занимает особое место в эстетике постмодернизма) дел, составляющих день героя рассказа А. Полугрудова, маскирует и духовный вакуум, заполнивший его внутренний мир; перечисление бесконечных действий, которые совершает герой, создает иллюзию полнокровной, насыщенной жизни и дает ему возможность умолчать о главном – о растерянности, охватившей героя, о леденящей пустоте, царящей в душе, о страхе перед будущим. Автор наполняет событийную канву семантической глубиной: в этом открывается особая роль подтекста.

Писатели меняют сферу топоса, их привлекают некие пограничные, деформированные состояния сознания героя. Так, герой Лужикова в своих ощущениях порой теряет границы между бытием и небытием. Духовное и материальное, реально существующее, осязаемое занимают одинаковое положение, становятся равновеликими. *Коддс дзеби?* (Кого похоронил?) – поражает страшная догадка героя, познавшего смерть близкого человека и вместе с тем осознавшего, что он потерял и себя. Смерть становится особым фактором, своего рода ферментом, побуждающим к глубокому осмыслению жизни, способствующим выявлению истинных ценностей. В повести Лужикова весьма своеобразно обнажены, обострены экзистенциальные ощущения: герой почти осязает соприкосновение бытия и небытия, субъективного и объективного. Не случайно автор неоднократно отмечает, что происходящее – то ли сон, то ли явь. В рассказе «Ру» А. Полугрудов описывает психологическое состояние героя, которое он сам определяет как *вёт али вемдс, йой али прдсуж, мойд али збыль...* (сон или явь, глупость или дурачество, сказка или быль...). Уходит в забытие, теряет грань между сном и явью и герой повести А. Лужикова «Измдм синва». Исследователи, размышляя об особенностях литературы 20-х гг. XX в., ведут речь о двоемирии: «Человек оказался в ситуации отчуждения не только от быта, социальных отношений и всевозможных общественных структур, но и от себя самого ... Это состояние отчуждения и стало, по видимому, родиной нового литературного двоемирия, основой – теперь уже «красного» – двойничества. Причем, единственным способом «излечиться», избавиться от него ... становится уход в потусторонность – будь то сумасшествие, дурачество, юродство, сон ...» [2]. Думается, нечто сходное наблюдается и в литературе рубежа XX – XXI вв.

Поскольку внимание авторов приковано к сфере сознания героя, действие словно перемещается в область сна. Сон получает особые художественные функции, наполняясь значимой семантикой, в видениях концентрируется художественная энергия. В состоянии сна бывают минуты, когда герой способен осмыслить весьма существенные проблемы, во сне, в сновидениях находить выражение его душевное состояние. Так, в рассказе А. Полугрудова «Вёт» сон, насыщаясь метафорическим значением, играет характерообразующую роль.

Неспроста рассказ, в котором описан весь день героя, озаглавлен «Сон». Герой во сне видит себя волком, которого преследует свора собак; таковым он ощущает себя и наяву. Сновидение весьма точно передает душевное состояние героя: *Вётся, мый ме кӧин... Став олӧмӧй менам – пышйӧм... Ме пышйӧмӧгыс ог нин вермы. Ме ола, кор пышъя, и пышъя, кор ола* (Снится, что я волк. ... Вся моя жизнь – бег... Без бега я уже не могу. Я живу, когда бегу и бегу, когда живу). Сны, сновидения необходимы Никӧ, герою рассказа А. Полугрудова «Йӧюк», в них находят свое выражение его представления о жизни, только в снах он искренен, открыт миру и счастлив. В повести «Измӧм синва» Лужигов утверждает: *...Мортӧс оз ов. Мортӧс вӧталӧ олӧмсӧ – таладорюгыдсасӧ и мӧдарсасӧ. Вӧталӧ...* (...Человек не живет... Человек видит во сне жизнь – эту и потустороннюю. Видит во сне...). Сон получает особый статус. Действительно, «сон – путь внутрь самого себя» [3], и онирические мотивы своеобразно выражают драматичные коллизии духовной жизни героя, идущего очень непростой стезей самопознания и осмысления связей с миром. Думается, уместно вести речь о чертах, сближающих художественную структуру некоторых произведений «новой волны» коми прозы с эстетикой постмодернизма. Так, художественная ткань повести А. Лужигова – характерное для постмодернизма творение текста «на глазах читателя»: композиция повести включает не связанные меж собой диалоги, наброски дневникового характера, арифметические расчеты, заметки из страничек записной книжки, стихотворения. «Существовавший в литературе издавна прием «сочинения в сочинении» стал сейчас чрезвычайно популярен: писатель пишет о писателе, который, в свою очередь, сочиняет нечто внутри самого произведения. Реальность от миража, фантазии, ирреальности и «сюра» почти невозможно отделить», – верно отмечает Карен Степанян [4]. Фрагментарность определяет композицию произведения: действительно, постмодернизм «на уровне формы прибегает к дискретности и эклектичности» [5]. Ощущение многозначности, «...множественность уровней рефлексии, игры, отражения», что определяет характерные черты поэтики постмодернизма [6], в определенной мере формирует художественное пространство повести А. Лужигова «Измӧм синва». Культурологические ассоциации словно вплетены в сферу художественного мышления. Использует А. Лужигов и перечень, каталог в качестве приема. «Постмодернистские перечни, при всей заложенной в них системности, не гармонизируют мир, а подтверждают его абсурдность, хаотичность» [7], – справедливо утверждает Г.Л. Нефагина.

Близок А. Лужигов и к постмодернистскому восприятию языкового пространства, когда границы между языками становятся настолько условными и свободными, что автор оперирует и русским, и коми языком в композиционных рамках одного произведения, хотя он – коми поэт, и к русскому языку в творчестве, пожалуй, обращается впервые. Как отмечают исследователи, «...постмодернизму под-

ходит модель «пограничного письма», которая характеризуется «акцентом на множественность языков внутри одного языка, выбор в пользу стратегии перевода перед стратегиями непосредственного изображения, подрывом различий между оригинальной и чужой культурой» (Э.Хикс) [цит. по 8]. С эстетикой постмодернизма сближает и напряженное внимание автора повести к проблеме смерти, стремление осмыслить уход человека в инобытие. Если А. Лужигов непосредственно обращается к приемам, принятым постмодернистами, А. Полугрудов воплощает в художественном тексте мироощущение, близкое постмодернистам, не ориентируясь на конкретные способы художественного концепирования, установившиеся в эстетике постмодерна. В его произведениях почти нет формальных, классических признаков постмодернизма. Думается, в метаниях героя Полугрудова, в осознании им невозможности понять мир, найти понимание окружающих, едкой, насмешливой иронии и самоиронии – близкое к постмодернистскому восприятие мира как хаоса. Осколочность, разорванность связей, формирующие сознание героя, – весьма своеобразная форма коллажа, что лежит в основе постмодернистской картины мира. Названные особенности поэтики сочетаются с этнически характерным, что выражается, в частности, и в возвышенном образе Йиркапа (рассказ «Йиркап», 2001). К образу Йиркапа близок образ сильного, незаурядного человека из народа Пакулы, героя одноименного произведения Полугрудова (1999). Взгляд автора, проникнутый усталой иронией, все же обращается к основам народного мировоззрения. Так, в рассказе «Медводдза лым», стремясь выявить природу особых чувств, возникающих у героя при созерцании первого снега, леса, реки, автор приводит его к мысли, что они обусловлены этнически, связаны с памятью поколений. Подобное художественное явление вступает в ассоциативные связи с эстетикой этнофутуризма, столь активно обсуждаемого в современном финно-угорском литературоведении [9-12].

Итак, особенности мироощущения современника, переживающего крушение важнейших ценностных установок, находят формы выражения и в тяготении прозы к выходу за пределы традиционной поэтики, и в поиске новых форм художественного мышления. Будучи связаны с общим кризисным состоянием общества, эти тенденции отражают одно из направлений развития современной коми прозы.

Литература

1. Голякова Л.А. Подтекст: прагматические параметры художественной коммуникации // Филологические науки, 2006. №4. С.61.
2. Матвеева Ю. Рационально – иррациональное как стилевая антиномия литературы 20-х гг. // XX век. Литература. Стил. Вып.1. Екатеринбург, 1994. С.44.
3. Лотман Ю. Культура и взрыв // Семиосфера. С.-Петербург: Искусство – СПб, 2001. С.125.
4. Степанян К. Реализм как заключительная стадия постмодернизма // Знамя, 1992. № 9. С.233.

5. Ильин И. Постструктурализм. Деконструктивизм. Постмодернизм. М.: Интрада, 1996. С.221.
6. Эпштейн М. Прото-, или конец постмодернизма // Знамя, 1996. № 3. С.205.
7. Нефагина Г.Л. Русская проза второй половины 80-х начала 90-х гг. XX в. Минск, 1997. С.165.
8. Липовецкий М. Изживание смерти. Специфика русского постмодернизма // Знамя, 1995. № 8. С.197.
9. Шибанов В.Л. Удмуртский литературный этнофутуризм как диалог культур // Литература Урала: история и современность: Сб. статей. Екатеринбург: УрО РАН; Объединенный музей писателей Урала; Изд-во АМБ, 2006. С.136-143.
10. Салламаа К. Уральская философия и этнофутуризм как базис финно-угорской литературы // V Международный конгресс финно-угорских писателей: Сб. докладов и выступлений. Сыктывкар: Полиграф-сервис, 1999. С. 32-39.
11. Колчева Э.М. Феноменология этнофутуризма // Финно-угроведение, 2007. №1. С.101-110.
12. Пярл-Лыхмус М., Юлле К., Хейнапуу А., Кивисильдник С. Этнофутуризм. Образ мышления и альтернатива на будущее. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.suri.ee/etnofutu/texts/obraz.html> (дата обращения 15 января 2007 г.).

Статья поступила в редакцию 1. 03. 2011

УДК 811.511.13

РАЗВИТИЕ ВОКАЛИЗМА ФИННО-УГОРСКИХ *a*- И *ä*-ОСНОВ В ПЕРМСКИХ ЯЗЫКАХ

В.В. ПОНАРЯДОВ

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

ponaryad@online.ru

В работе исследуется развитие гласных первого слога допермских *a/ä*-основ в современных пермских языках. Рассмотрение полной выборки релевантных примеров из Уральского этимологического словаря позволило установить основные линии эволюции, выделить отклонения от них и в большинстве случаев определить возможные причины отклонений.

Ключевые слова: пермские языки, историческая фонетика, развитие гласных

V.V. PONARYADOV. THE DEVELOPMENT OF VOCALISM OF FINNO-UGRIC *a*- AND *ä*-STEMS IN THE PERMIAN LANGUAGES

The development of first syllable vowels of the Pre-Permian *a/ä*-stems in modern Permian languages is investigated. Consideration of complete selection of relevant examples from the Uralic etymological dictionary allows to establish the basic lines of evolution, to mark out deviations from them, and in most cases to define possible reasons of these deviations.

Key words: the Permian languages, historical phonology, development of vowels

История пермского вокализма представляет собой одну из наиболее сложных проблем уральской компаративистики. Хотя литература, посвященная данной теме, весьма обширна (см. библиографию в [1, с. 160-164]), пути его развития во многом остаются неясными. Существующие исследования в основном рассматривают проблему реконструкции системы гласных в пермском языке и меньше внимания уделяют ее происхождению из прафинно-пермской, прафинно-угорской и праяуральской вокалических систем, ограничиваясь констатацией, что определенные прапермские гласные могут восходить к соответствующим допермским, но не определяя условия, в которых единый древний гласный звук претерпевал в пермских языках расщепление на несколько рефлексов. Слабая изученность вопроса приводит к тому, что многие исторические изменения гласных рассматриваются в литературе как спорадические; при этом среди них зачастую даже не удается выявить базовую линию развития, которая могла бы считаться регулярной. В результате пермский материал в историческом плане остается недостаточно объяснимым сам по себе и оказывается совершенно бесполезным для изучения допермских праязыковых состояний.

Для прояснения истории пермского вокализма необходим фронтальный анализ развития гласных во всем лексическом материале, имеющем допермские этимологии, при тщательном учете фонетического окружения.

Поскольку известно, что развитие пермских гласных часто происходило по-разному в финно-

угорских *a/ä*- и *e*-основах, исследование целесообразно проводить, рассматривая эти типы основ по отдельности.

Настоящая работа посвящена изучению развития гласных первого слога в *a/ä*-основах. Исследование проведено на лексическом материале Уральского этимологического словаря (UEW) [2]. Рассматривается полный корпус имеющих пермские рефлекс-этимологии, для которых в указанном словаре на допермском уровне реконструируется во втором слоге гласный **a* или **ä* и в которых не происходило исторического выпадения интервокального согласного¹; исключены лишь несколько случаев, наиболее сомнительных с семантической точки зрения. При этом отдельно разбираются этимологии, в которых гласный первого слога стоит перед непалатальными согласными и палатальными; такое разделение обусловлено тем, что развитие вокализма в этих случаях всегда различно. Следует заметить, что при цитировании пермских форм в UEW встречаются неточности, и в необходимых случаях мы внесли уточнения, основываясь на данных наиболее авторитетных коми и удмуртских словарей [3 - 5]. Кроме того, по [6] добавлены словарные материалы красноуфимского говора,

¹ Мы не рассматриваем примеры с выпадающими интервокальными согласными, так как после выпадения согласного ранее разделяемые им гласные претерпевали стяжение и развивались особым образом. Такие случаи требуют отдельного исследования, которое выходит за рамки настоящей работы.

представляющего дивергентную в вокалическом отношении южную группу удмуртских диалектов².

Развитие гласного *а.

а) Перед непалатальными согласными.

**ala* > кз. *uv*, кп. *uvt*, кя. *ult*, у. *ul*, ку. *ul* 'низ' [2, с. 6];

**anta* > кз. *udni*, кп. *u'dni*, кя. *udnə*, у. *udni*, ку. *udēnə* 'поить' [2, с. 8];

**jaka* > кз. *jukni*, кп. *jukni*, у. *l'ukini*, ку. *žukēnə* 'делить' [2, с. 87];

**karwa* > кз. *kuṛid*, кп. *ku-ṛit*, кя. *kurə't*, у. *kuṛit*, ку. *kurāt* 'горький' [2, с. 128];

**taksa* > кз. *mus*, кп. *mus*, кя. *musk*, у. *mus*, ку. *muš* 'печень' [2, с. 264];

**para* > кз. *bur*, кп. *bur*, кя. *bur* 'хороший', у. *bur* 'хороший; правый', ку. *bur* 'правый' [2, с. 724];

**śasra* > кз. *śurs*, у. *śurs*, ку. *śurəs* 'тысяча' [2, с. 466-467];

**tarna* > кз. *turun*, кп. *turu'n*, кя. *turə'n*, у. *tuṛin*, ку. *turum* 'трава' [2, с. 792];

**wanša* > кз. *važ*, кп. *važ*, кя. *važ*, у. *vuž*, ку. *βuž* 'старый' [2, с. 813];

**waŋka* > кз. *vug*, кп. *vug*, у. *vugi* 'крюк' [2, с. 814].

Во всех случаях, кроме одного, *а единообразно отражается в пермских языках в виде *u*. Особое развитие **wanša* в коми языках может быть связано с влиянием согласного *š, характеризующегося маркированной веляризацией.

б) Перед палатальными согласными.

**kaḁ'a* > кз. *kol'ni*, кп. *ko-l'ni*, кя. *ku-l'nə*, у. *kil'ni*, ку. *kāl'ənə* 'оставаться' [2, с. 115];

**maja* > кз. *moj*, кп. *moj*, у. *miji* 'бобр' [2, с. 697];

**waja* > кз. *vejni*, кп. *vejni*, кя. *vū-jnə*, у. *viji* 'тонуть' [2, с. 551].

Очевидно, здесь можно говорить о регулярном развитии в коми-зырянском и коми-пермяцком языках в *o*, а в удмуртском литературном – в *i*. Зырянский и пермяцкий рефлекс *e* в последнем примере появляется, вероятно, под влиянием начального **w* > *v*. Объяснить разнообразие рефлексов в коми-язьвинском не представляется возможным из-

за скудности имеющегося материала, но вряд ли можно сомневаться, что это разнообразие возникло на собственно язьвинской почве. В единственном наличествующем примере из красноуфимского говора видим *ə*, вполне ожидаемый как обычное красноуфимское соответствие удмуртскому литературному *i*.

Развитие гласного *о.

а) Перед непалатальными согласными.

**kočka* > кз. *kuč*, кп. *kuč* 'орёл', у. *kuč* 'маленькая птица, похожая на орла' [2, с. 668];

**lowna* > кз. *lun*, кп. *lun*, кя. *lun*, у. *nunal*, ку. *nunal* 'день' [2, с. 693];

**ora* > кз. *ur*, кп. *ur*, кя. *ur* 'белка' [2, с. 343];

**pora* > кз. *pur*, кп. *pur* 'плот' [2, с. 395];

**šodka* > кз. *šuv*, кп. *šuv*, у. *šulj* 'вид утки' [2, с. 482];

**šorwa* > кз. *šur*, кп. *šur*, кя. *šur*, у. *šur*, ку. *šur* 'рога' [2, с. 486-487];

**tola* > кз. *tuv*, кп. *tuv*, кя. *tul* 'гвоздь', у. *tul* 'клин' [2, с. 797];

**wosa* > кз. *vuzavni*, кп. *vuza-vni*, кя. *vuza-lne*, у. *vuzani*, ку. *βužanə* 'продавать' [2, с. 585].

Допермский *о перед непалатальными согласными везде единообразно отражается в виде *u*, т.е. имеет место тот же рефлекс, что и у допермского *а.

б) Перед палатальными согласными.

Для позиции перед палатальным согласным имеется только один надежный пример, причем без красноуфимского соответствия:

**kolja* > кз. *kul'*, кп. *kul'*, кя. *kul'*, у. *kil'* 'злой дух' [2, с. 173].

Удмуртский рефлекс совпадает с рефлексом допермского *а. Разнообразные и своеобразные коми рефлексy, по-видимому, являются результатом позднего развития уже в отдельных коми диалектах (ср. выше о многообразии коми рефлексов допермского *а). Таким образом, представляется вероятным, что в прапермскую эпоху различие между допермскими *а и *о было полностью утрачено как в непалатальном, так и в палатальном контекстах.

Развитие гласного *ä.

а) Перед непалатальными согласными.

**kämä* > кз. *kem*, кп. *kem*, кя. *kom* 'обувь' [2, с. 650];

**pälä* > кз. *pev*, кп. *pev*, кя. *pol*, у. *pal*, ку. *pal* 'половина, один из пары' [2, с. 362];

**pälkä* > кз. *pev*, кп. *pev*, кя. *pel*, у. *peji* 'большой палец' [2, с. 363];

**räppä* > кз. *reped*, у. *žopi* 'дымовое отверстие' [2, с. 743];

**säksä* > кз. *ses*, у. *ses* 'грязный' [2, с. 755];

**säppä* > кз. *sep*, кп. *sep*, кя. *sop*, у. *sep* 'желчь, желчный пузырь' [2, с. 435-436];

**šälä* или **čälä* > кз. *čelijštri* 'отрезать ломтик',

² При цитировании примеров из современных пермских идиомов использованы следующие сокращения: кз. – коми-зырянский литературный язык; кп. – коми-пермяцкий литературный язык; кя. – коми-язьвинский диалект; у. – удмуртский литературный язык; ку. – красноуфимский говор периферийно-южного диалекта южного наречия удмуртского языка. Допермские (т.е. прафинно-пермские, прафинно-угорские и прауральские) формы цитируются под знаком астериска (*) в том виде, в каком они реконструированы в UEW. Читатель должен обратить внимание, что ссылки на UEW относятся лишь к этим реконструкциям и общему инвентарю возводимого к ним пермского материала, но сам пермский материал, как уже сказано, был нами уточнен и дополнен и, таким образом, лишь частично опирается на UEW.

у. *čalištñi*, *čališ karñi*, ку. *čalēštānā* 'затесать кол' (КЭСК: 311; UEW: 470);

**tālwa* > кз. *tēv*, кп. *tēv*, кя. *tol*, у. *tol*, ку. *tol* 'зима' [2, с. 516].

Очевидно, что в коми ветви в качестве регулярного должно рассматриваться развитие допермского **ā* в кз., кп. *e*, кя. *o*. Единственное исключение, наблюдающееся в эволюции вокализма слова **pālkā* 'большой палец', может быть связано с влиянием упростившегося в пермских языках консонантного сочетания **lk*. Рефлексы в удмуртском довольно разнообразны, и определить условия их появления представляется затруднительным. Ясно только, что это многообразие рефлексов появилось уже на собственно удмуртской почве и не должно проецироваться на прапермский уровень.

б) Перед палатальными согласными.

**šāšnā* или **šāčnā* > кз. *šíz*, кп. *šíz*, кя. *šíz*, у. *šíz* 'дятел' [2, с. 772];

**wāšā* > кз. *višñi*, кп. *višñi*, кя. *višne*, у. *višñi*, ку. *βišanā* 'болеть' [2, с. 818].

По этим примерам можно заключить, что регулярным развитием прафинно-угорского **ā* перед палатальными согласными во всех пермских языках является *i*. Однако надежность данного вывода снижается тем, что фактически засвидетельствованы только случаи перед палатальными спирами *š* и *ž*, и развитие в *i* может быть на самом деле ограничено соседством только с ними.

Развитие гласного **e*.

а) Перед непалатальными согласными.

**čečā* > кз. *čož*, кя. *čož*, у. *čuž* 'дядя' [2, с. 34];

**elā* > кз. *ovñi*, кп. *o-vñi*, кя. *o-lne*, у. *ulñi*, ку. *ulānā* 'жить' [2, с. 73];

**ertā* > кз. *ord*, кп. *o-rdli*, кя. *o-rdle*, у. *urd*, ку. *urdešlā* 'ребро' [2, с. 625];

**kečā* > кз. *kič*, кп. *kič*, кя. *keč* 'круг', у. *kič* 'петля, силок' [2, с. 141-142];

**kerā* > кз. *korñi*, кп. *ko-mñi*, кя. *ko-rne*, у. *kuñi* 'просить' [2, с. 149];

**mertā* > кз. *mort*, кп. *mort*, кя. *mort*, у. *murt*, ку. *murt* 'человек' [2, с. 702];

**neljā* или **neljā* > кз. *ñol*, кп. *ñol*, кя. *ñul*, у. *ñil*, ку. *ñul* 'четыре' [2, с. 315-316];

**pečā* > кз. *požet*, кп. *požu-m*, кя. *po-žet*, у. *pužim*, ку. *pužām* 'сосна' [2, с. 727];

**perā* > кз. *ber*, кп. *ber*, кя. *bor*, у. *ber*, ку. *ber* 'задняя часть' [2, с. 373];

**pesā* > кз. *poz*, кп. *poz*, кя. *poz*, у. *puz* 'гнездо' [2, с. 375];

**terā* > кз. *dor*, кп. *dor*, кя. *dor*, у. *dur*, ку. *dur* 'край, сторона' [2, с. 522]³;

**teškā* или **tekšā* > кз. *toš*, кп. *toš*, кя. *tu-š*, у. *tuš*, ку. *tuš* 'борода' [2, с. 795].

В большинстве примеров наблюдается развитие допермского **e* в кз., кп., кя. *o*, у., ку. *u*. Развитие в *i* в случае **kečā* > кз. *kič*, кп. *kič*, кя. *keč* 'круг', у. *kič* 'петля, силок' является свидетельством раннего перехода этого слова к *e*-основам, где такая эволюция закономерна, т.е. в раннепермском праязыке вместо **kečā* употреблялось **keče*. Для **teškā* или **tekšā* 'борода' и **neljā* или **neljā* 'четыре' суженный рефлекс кя. *u* и опережденный ку. *u* определяется влиянием последующих веляризованных согласных **š* и **l*. Развитие в архетипе **perā* 'задняя часть' может быть объяснено имевшей место в раннепрапермском вокалической ассимиляцией в **pārā*, откуда формы современных языков выводятся регулярно.

б) Перед палатальными согласными.

**kečā* > кз. *gič* 'карась' [2, с. 141].

Имеется только этот пример на положение перед палатальными согласными с развитием **e* > кз. *i*, причем представлена лишь коми-зырянская форма без других пермских соответствий. Изолированность случая не позволяет ничего сказать о его регулярности.

Развитие гласного **u*.

а) Перед непалатальными согласными.

**čukka* > кз. *čikñi*, кп. *čikñi*, кя. *čekne* 'портить-ся', у. *čikmñi* 'зарастать сорняком' [2, с. 622];

**kuma* > кз. *kimeš*, кп. *kimeš-s*, кя. *kemeš-s*, у. *kimes*, ку. *kāmeš* 'люб' [2, с. 201-202];

**kumpa* > кз. *gibavñi*, кп. *giba-lñi*, кя. *geba-lne* 'плескаться (о рыбе)' [2, с. 203]⁴;

**kura* > кз. *gič*, кп. *gič*, у. *ger* 'инеи' [2, с. 215];

**mura* > кз. *mīrpom* 'морозка' [2, с. 287];

**puna-* > кз. *pinñi*, у. *puñiñi*, ку. *pūnānā* 'вить (веревку)' [2, с. 402-403];

**pura* > кз. *pīr*, кп. *pīr*, кя. *pār*, у. *pīr*, ку. *pār* 'через, сквозь' [2, с. 405];

ские этимоны относятся к последнему из этих двух архетипов. Подобное разделение не имеет под собой никакого объективного основания и должно быть признано недоразумением; как видно из приводимого нами материала, коми *dor* и удмуртское *dur* выводятся из **terā* совершенно регулярно, и само развитие вокализма в них указывает именно на **ā*-основу (при **e*-основе ожидалось бы развитие в первом слоге **e* > кз., кп., у. *i*). С другой стороны, возведение в UEW к **terā* удмуртского *tir* 'топор' явно ошибочно, ибо помимо представляющегося по меньшей мере странным развития семантики, предполагаемое здесь в UEW развитие вокализма противоречит всем остальным примерам.

⁴ Мы исключаем из сопоставления приводимые в этимологических словарях семантически крайне ненадежные удмуртские параллели *gibed* 'перегонной, торф' [2, с. 203] и *gib-gib* 'междометие, выражающее пушистость предмета, напр., шерсти, снега, прерывистого подъема пламени' [7, с. 84]. Впрочем, с фонетической точки зрения против них не имеется никаких возражений.

³ UEW реконструирует отдельно **terā* 'острый край, лезвие' и **terz* 'край, сторона', причем рассматриваемые нами перм-

**sula-* > кз. *šivŋi*, кп. *šivŋi*, кя. *selne-*, у. *šilini* 'таять' [2, с. 450];

**tulka* > кз. *tiv*, кя. *təl*, у. *tiji*, ку. *tälä* 'перо' [2, с. 535-536];

**turpa* > кз. *tirp*, кп. *tirp*, кя. *terp*, у. *tirpi* 'губа' [2, с. 801].

В приведенных примерах хорошо прослеживается регулярное развитие **u* > кз., кп., у. *j*, кя. *ə*, ку. *ä*. В развитии вокализма слова **puna-* 'вить (веревку)' удмуртский язык демонстрирует лабиализацию под влиянием начального губного согласного *p*.

б) Перед палатальными согласными.

**kuja* > кз. *kod'*, кп. *kod'*, кя. *kud'*, у. *kad'* 'как, подобно' [2, с. 195];

**tuja-* > кз. *mojd*, кп. *mod'*, кя. *mod'*, у. *mad'* 'сказка' [2, с. 284];

**puŋša-* или **puša-* > кз. *pičkinji*, кп. *pičkinji*, у. *pičkinji* 'выдавливает' [2, с. 404].

Первые два примера на позицию перед палатальным **j* дают устойчивое развитие в кз., кп. *o*, у. *a*, но в коми-язьвинском в первом случае видим *u*, во втором *o*. Объяснить такое различие можно тем, что кя. *kud'* в отличие кя. *mod'* является безударной энклитикой. В последнем примере развитие вокализма по неизвестной причине аналогично развитию в непалатальных контекстах, если не считать опереждения кп. *i* < *j* перед палатальным *č*. Возможно, здесь требуется коррекция реконструкции допермского архетипа; если предположить допермский архетип **puŋša-*, то рефлекс закономерен.

Развитие гласного **ü*.

а) Перед непалатальными согласными.

Этот гласный традиционно принято проецировать на прафинно-угорский уровень прежде всего по данным прибалтийско-финских языков, где он сохраняется в неизменном виде. Однако UEW отступает от подобной практики, повсеместно предлагая альтернативные реконструкции с **ü* и **i*. Такое решение не представляется оправданным хотя бы уже потому, что вместе с прибалтийско-финскими языками отличные от **i* рефлекс прафинно-угорского **ü* обнаруживают и пермские языки. Ниже мы цитируем лишь приводимые в UEW варианты реконструкций с **ü*.

**öümä* > кз. *l'em*, кп. *l'em* 'клей', кя. *l'e'metne* 'приклеивать', у. *l'em* 'клей' [2, с. 66];

**külmä* > кз. *kün*, кп. *kün*, кя. *kən*, у. *kün*, ку. *kän* 'мерзлый' [2, с. 663];

**künä* или **kühä* > кз. *giržä*, кп. *giržä*, кя. *gerža*, у. *girpum*, ку. *gärpuŋ* 'локоть' [2, с. 158];

**šüämtz* > кз. *šelem*, кп. *šelem*, кя. *šo·lem*, у. *šulem*, ку. *šulem* 'сердце' [2, с. 477];

**wülä* > кз. *viv*, кп. *viv*, кя. *vəl*, у. *vil*, ку. *väl* 'верх' [2, с. 573-574].

Несмотря на немногочисленность примеров, можно предположить, что регулярным отражением

прафинно-угорского **ü* в пермских языках является кз., кп., у. *j*, кя. *ə*, ку. *ä*, т.е. наблюдается тот же ряд соответствий, что и для **u*. Отсюда следует вывод об утрате противопоставления между **u* и **ü* в раннепермском праязыке. Необычное развитие вокализма в **šüämtz* объясняется особой слоговой структурой этого слова (редукция прафинно-угорской трехсложной основы в пермскую двусложную при сохранении открытого характера первого слога вместо характерной для других случаев редукции прафинно-угорской двусложной основы в пермскую односложную с преобразованием первого открытого слога в закрытый). Что касается архетипа **öümä*, то пермские рефлекс указывают на то, что реконструкция первого гласного в виде **ü* здесь скорее всего ошибочна (ср. альтернативные реконструкции **öümä* и **ö'imä* в UEW; о возможности развития прафинно-угорского **i* в пермское *e* см. ниже).

б) Перед палатальными согласными.

**üčä* > кз. *ičet*, кп. *učet'ik*, кя. *üčət* 'маленький', у. *iči* 'мало' [2, с. 78];

**wüŋä* > кз. *veŋ*, кп. *voŋ*, кя. *vu·ŋ* 'пояс' [2, с. 575].

В этих двух примерах пермское вокалическое развитие различно, но на регулярность скорее претендует развитие в **wüŋä* 'пояс', ибо слово со значением 'маленький' в связи со своим экспрессивным характером с большой вероятностью могло исторически подвергаться формальным деформациям незакономерного характера.

Развитие гласного **i*.

а) Перед непалатальными согласными.

В части слов с этим гласным в первом слоге UEW реконструирует во втором слоге широкий гласный **a*, и в части **ä*. Очевидно, здесь имеет место проецирование на праязыковый уровень различия, наблюдающегося в прибалтийско-финских языках. В пермских языках каких-либо следов противопоставления древних **a* и **ä* во втором слоге, по-видимому, не обнаруживается.

**(j)iša* > кз. *ež* 'поверхность; покров' [2, с. 636];

**ilma* > кз. *jen*, кп. *jen*, кя. *jen*, у. *inmar*, ку. *inmār* 'бог' [2, с. 81-82];

**piča* > кз. *poč*, кп. *poč*, кя. *poč*, у. *puč* 'жердь' [2, с. 729];

**pičla* > кз. *pejiš*, кп. *pe·jiš*, кя. *pe·laš*, у. *palež*, ку. *palež* 'рябина' [2, с. 376];

**sitta* > кз. *sit*, у. *sit* 'испражнения' [2, с. 444];

**šilmä* > кз. *šin*, кп. *šin*, кя. *šin*, у. *šin*, ку. *šin* 'глаз' [2, с. 479];

**wiša* > кз. *vež*, кп. *viž*, кя. *viž*, у. *vož*, ку. *bož* 'зеленый' [2, с. 823].

Рефлекс весьма запутаны, но видно, что допермское **i* в коми идиомах дает обычно *e*, кроме позиции между двумя дентальными или палатальными и дентальным согласными (**sitta*, **šilmä*), когда происходит развитие в *i*. Причина сужения в случае **wiša* > кп., кя. *viž* (но кз. *vež*) не ясна. Удмуртский язык имеет *i* также и в развитии допермского **ilma*, где в коми рефлексах *e*. Отклоняющиеся от *i* удмуртские рефлекс, вероятно, обусловлены консонантными факторами.

нантным окружением и появились в период самостоятельного развития удмуртского языка. Для слова 'жердь' пермские рефлексy скорее указывают на допермское *реџа.

б) Перед палатальными согласными.

*miñä > кз. *moñ*, кп. *moñ*, кя. *miñ*, у. *meñ* 'невестка, сноха' [2, с. 276].

Поскольку этот пример на развитие *i в позиции перед палатальным согласным является единственным, ничего нельзя сказать о степени его регулярности.

Итак, для допермских а/ä-основ типичными и регулярными можно считать следующие рефлексy гласных первого слога перед непалатальными согласными:

*a > кз. *u*, кп. *u*, кя. *u*, у. *u*, ку. *u*;

*o > кз. *u*, кп. *u*, кя. *u*, у. *u*, ку. *u*;

*ä > кз. *e*, кп. *e*, кя. *o*, удмуртские рефлексy разнообразны;

*e > кз. *o*, кп. *o*, кя. *o*, у. *u*, ку. *u*;

*u > кз. *j*, кп. *j*, кя. *e*, у. *j*, ку. *ê*;

*ü > кз. *j*, кп. *j*, кя. *e*, у. *j*, ку. *ê*;

*i > кз. *e*, *i*, кп. *e*, *i*, кя. *e*, *i*, удмуртские рефлексy разнообразны.

Для позиций перед палатальными согласными, как правило, имеется мало примеров (для некоторых гласных только по одному), что делает результаты здесь менее надежными, но все же можно отметить следующие тенденции развития:

*a > кз. *o*, кп. *o*, кя. *u* или *ü*, у. *j*, ку. *ê*;

*o > кз. *o*, кп. *o*, кя. *ü*, у. *j*, ку. *ê*;

*ä > кз. *i*, кп. *i*, кя. *i*, у. *i*, ку. *i*;

*e – надежных примеров нет;

*u > кз. *o*, кп. *o*, кя. *o* или *u*, у. *a*, красноуфимских примеров нет;

*ü – надежных примеров нет;

*i – надежных примеров нет.

Как видим, возможности выявления закономерностей развития пермских гласных нередко ограничиваются недостаточным количеством релевантных примеров и их ненадежностью. Однако в большинстве случаев пути развития все же могут быть установлены, и пермский материал открывает новые перспективы для уточнения прафинно-пермских, прафинно-угорских и прауральских вокалических реконструкций.

Литература

1. Некрасова Г.А. Коми кывлön историческõй фонетика. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2000. 170 лб.
2. Rédei K. Uralisches etymologisches Wörterbuch. Budapest: Akadémiai Kiadó, 1988. XLVIII + 905 S.
3. Безносикова Л.М., Айбабина Е.А., Коснырева Р.И. Коми-русский словарь. Сыктывкар: Коми книжное издательство, 2000. 816 с.
4. Баталова Р.М., Кривошекова-Гантман А.С. Коми-пермяцко-русский словарь. М.: Русский язык, 1985. 624 с.
5. Удмуртско-русский словарь. М.: Русский язык, 1983. 592 с.
6. Насибуллин Р.Ш. Наблюдения над языком красноуфимских удмуртов // О диалектах и говорах южноудмуртского наречия. Ижевск: НИИ при Совете Министров Удмуртской АССР, 1978. С. 86-151.
7. Лыткин В.И., Гуляев Е.С. Краткий этимологический словарь коми языка. М.: Наука, 1970. 388 с.

Статья поступила в редакцию: 21.01.2011.

УДК 658.1: 504.05/.06 (470.13)

ЛЕСНАЯ СЕРТИФИКАЦИЯ – ИНСТРУМЕНТ СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ

Т.В. ТИХОНОВА

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

В статье представлены современные тенденции развития социально-экологической ответственности. Показана социально-экономическая и экологическая эффективность использования лесной сертификации. Предложены меры поддержки для ее внедрения.

Ключевые слова: социально-экологическая ответственность, лесная сертификация, экологический менеджмент

T.V. TIKHONOVA. FOREST CERTIFICATION – THE INSTRUMENT OF SOCIAL-ECOLOGICAL RESPONSIBILITY OF THE ENTERPRISES

This article presents modern tendencies of social-ecological responsibility. Social, economic and ecological efficiency of the forest certification using is shown. Motivating instruments for forest certification application are proposed.

Key words: social and environmental responsibility, forest certification, ecological management

Современные тенденции развития социально-экологической ответственности предприятий

Стремление к устойчивому и стабильному развитию является необходимым требованием к менеджменту современного предприятия, что предполагает достижение и поддержание баланса экономических, экологических и социальных аспектов деятельности организации. Согласно современным представлениям, социально-экологическая ответственность предполагает не столько компенсацию наносимого деятельностью предприятия ущерба окружающей среде, сколько проведение предупредительных мер по предотвращению ущерба мероприятий.

Современные инструменты социально-экологической ответственности отличаются большим разнообразием. В их число входят: концепция эко-эффективности (экорейтинги), модель «чистое производство», международные стандарты эко-менеджмента и аудита (ISO 14000), использование наилучших действующих технологий, специальная маркировка продукции, сертификация системы управления и продукции, экологическое страхование и социальные отчеты. Внедрение предприятиями вышеперечисленных инструментов, которые уже два десятилетия используются за рубежом, обеспечивает рост конкурентоспособности товаров и услуг, уменьшая при этом риски возникновения негативных событий, способствует сохранению всего спектра природных благ, повышает имидж бизнеса

в глазах общественности, государственных структур и является гарантом партнерских долговременных взаимоотношений [1].

Представленный ниже перечень подходов и создаваемых на их основе механизмов реализации отражает эволюцию содержания и инструментов экологической ответственности [2]:

– Погашение негативных воздействий, обусловленных деятельностью фирмы, внутренними затратами виновника загрязнения природной среды (например, *платежи за негативное воздействие на окружающую среду*). Несмотря на различие в подходах к оценке возмещения негативного воздействия (налоги, платежи, штрафы, иски) во всем мире, механизм отвечает принципу: «загрязнитель платит» и является наиболее распространенным и долговременным (с конца 80-х гг. XX в.) инструментом;

– Экономико-правовой метод экологической ответственности, включающий обязательное и добровольное страхование экологической ответственности предпринимателей рискованных секторов экономики (*система «экологического страхования рисков»*). Метод наиболее распространен в развитых странах Европы, выступает гарантом надежности партнерских отношений. В России действует система обязательного экологического страхования опасных объектов от причинения вреда третьим лицам (в том числе окружающей среде);

– Участие бизнеса в купле-продаже квот на выбросы парниковых газов в рамках формирую-

щихся межгосударственных механизмов разрешения глобальных экологических проблем (*например, углеводородные налоги, квоты на «загрязнение»*). Обеспечение получения государственной гарантии для выхода на рынок квот и распределение долей доходности в системе: государственный орган (гарантирующий «состоятельность» предприятия) федерального уровня – отраслевое министерство региона – предприятие, является перспективным и выгодным направлением как для России в целом, так и его регионов. Эта процедура успешно реализуется на протяжении последних пяти лет в странах Европы, где одна тонна углеродистого кредита приносит приблизительно 22 евро [3];

– Добровольные экологические соглашения (лесная сертификация, ISO) и партнерства (в том числе частно-государственное). Это гибкий инструмент выхода бизнеса за пределы законодательно зафиксированных норм экологической безопасности и рационального природопользования и концентрации усилий на решении межотраслевых ресурсно-экологических проблем. Данные инструменты наиболее востребованы предприятиями, ориентированными на международный рынок сбыта своей продукции.

В современных условиях при возрастающем техногенном давлении на окружающую среду все более широкое поле для своего применения получает метод прямых переговоров между инвесторами (или представляющими их интересы проектировщиками) и местным населением по вопросу компенсации наносимого окружающей среде ущерба, дополняемый участием представителей общественности в экологической экспертизе проектов. Наибольшее развитие этих процессов наблюдается при лесной сертификации и процедуре социальных отчетов. Аналогично финансовой отчетности «социальная» предполагает проведение внутреннего аудита и внешних проверок, а также составление и публикацию отчетов в соответствии с конкретными стандартами.

Отличительной особенностью современных инструментов является добровольный процесс их использования. Несмотря на это, зачастую внедрение их в практику является обязательным условием долговременного партнерства, выхода на более выгодный рынок сбыта продукции. Более всего это касается ISO, лесной сертификации, экологического страхования, перехода на наилучшие действующие технологии.

Экономическая эффективность и источники финансирования предложенных мероприятий являются важными вопросами их проведения. Возможным решением для региона Коми может быть финансирование из средств бюджета за счет поступления экологических платежей. Согласно статистическим данным поступления в консолидированный бюджет Республики Коми только от платежей за негативное воздействие за последние годы составляют 160-200 млн. руб./год. При этом расходы на природоохранные нужды не превышают 40 млн. руб./год [1]. Выделение оставшихся «природоохранных» средств на природосберегающие тех-

нологии и внедрение социально-экологических инструментов могут быть перспективными для региона Коми. Обзор использования всего спектра инструментов социально-экологической ответственности для региона выполнен автором в рамках исследования по укреплению системы ООПТ Республики Коми [1]. В данной статье внимание будет уделено лесной сертификации.

Социальные и экологические аспекты лесной сертификации

Регион Коми богат лесными ресурсами (лесистость края составляет порядка 70% от площади территории), тем не менее, доля лесов эксплуатационного значения с каждым годом сокращается и составляет на сегодняшний день 41% от общего запаса древесины. Преимущественно распространены еловые (53%) и сосновые (27%) леса. На долю лиственных пород приходится 18%, подавляющее большинство которых составляют березняки. Также установлено, что имеющиеся эксплуатационные запасы древесины неоднородны по экономическим условиям и возможностям освоения: вблизи сухопутных и водных путей транспорта они вырублены. По региону около 20% спелых древостоев представлены куртинами недорубов, низкостварными и лиственными лесами на площадях, пройденных рубками. В связи с этим, освоение лесных ресурсов должно вестись с учётом принципов устойчивого лесопользования. Преимущества лесной сертификации заключаются в том, что они отвечают и направлены на выполнение этих принципов. Лесная сертификация гарантирует ведение экологически и социально устойчивого лесопользования. В настоящее время это единственный надежный механизм обеспечения ответственного управления лесами.

Лесная сертификация как рыночный механизм внедрения устойчивого управления лесами возникла на Западе. В России «лесная сертификация» официально появилась с первым Лесным кодексом 1997 г. в виде «обязательной сертификации древесины на корню и недревесных ресурсов леса». Однако развитие в стране получила не «национальная обязательная», а международная добровольная лесная сертификация по системе Лесного Попечительского совета (FSC). Процесс сертификации лесопользования проводят аккредитованные международным Секретариатом FSC восемь аудиторских компаний, в том числе две российские, имеющие свои представительства в Санкт-Петербурге и Иркутске. Важным фактом для отечественных лесопользователей является наличие консультационных центров, размещенных в Архангельске, Красноярске, Сыктывкаре, Кирове, Вологде и Иркутске [4].

Сертификация ответственного управления лесами (Forest Management – FM) подразумевает, что качество ведения лесного хозяйства и лесопользования соответствует 10 международно-признанным принципам и 56 критериям ответственного лесопользования. Эти принципы и критерии разработаны, одобрены Лесным Попечительским советом и могут быть адаптированы к конкретной

стране в виде национальных стандартов. В России уже действует такой стандарт – Российский Национальный рамочный стандарт по добровольной лесной сертификации (2008 г.) [5]. Более того, принципы и критерии лесопользования могут быть адаптированы к специфическим условиям регионов. Так, например, в Республике Коми разработаны и внедрены в практику лесопользования региональные нормативы по выявлению и сохранению лесов высокой природоохранной ценности (ЛВПЦ), прежде всего девственных и социально значимых лесов, сохранению биоразнообразия при планировании и проведении лесозаготовок, учету интересов местного населения при организации лесопользования [6-8]. Одним из значимых преимуществ является открытость и доступность информации по лесной сертификации. Наиболее важная информация сконцентрирована на специальном сайте www.fsc.ru и www.info.fsc.org.ru.

Как правило, договор на сертификацию заключается на пять лет, который ежегодно должен подтверждаться в ходе инспекционного аудита по определенной схеме (рис. 1).

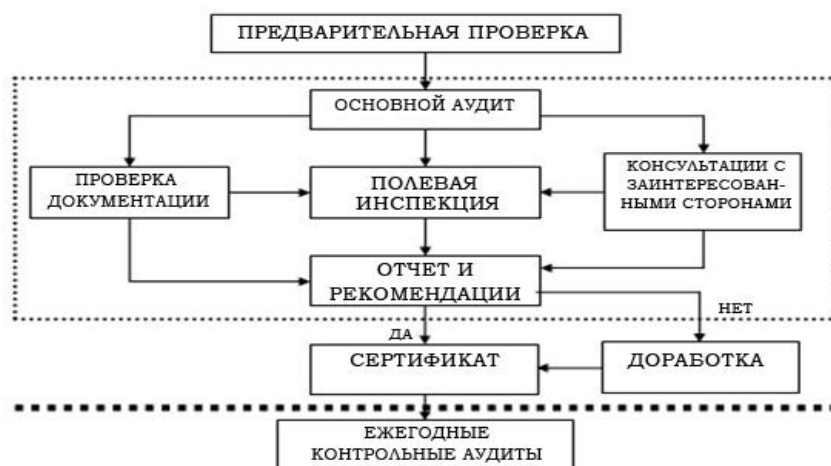


Рис. 1. Схема проведения аудита по лесной сертификации [www.fsc.ru].

Аудит имеет ряд особенностей. Во-первых, аудиторы, проводящие проверку, в свою очередь также инспектируются, что исключает какого-либо рода «договорные» соглашения и обеспечивает объективность проведенных наблюдений и замечаний. Во-вторых, проводится проверка не только документации, но и состояния дел непосредственно на лесных участках, арендованных предприятием для лесозаготовок. Особенно это важно при выполнении критериев охраны и возобновления лесов, ведения лесных планов и технологических карт. Также чрезвычайно подробно исследуются территории традиционного природопользования и ЛВПЦ, с выделением мест обитания животных, гнездилищ редких птиц и нереста ценных рыб. Большое внимание уделяется соблюдению техники безопасности работников. В-третьих, в ходе аудита происходят консультации с заинтересованными сторонами (местными сообществами, государственными орга-

нами), беседы с местным населением и работниками предприятий.

Требования об устранении несоответствий (ТУН) во время проведения аудита имеют две категории: значительные и незначительные. Как правило, только неисправленные незначительные ТУНы переходят в ранг «значительных». При наличии более трех таких замечаний действие сертификата приостанавливается, что означает невозможность пользования атрибутом маркировки на товарной продукции лесопользования до полного исправления и подтверждения данного факта во время внеочередного аудита. Как правило, такие грубые нарушения касаются именно значимых вопросов социального и природоохранного значения – игнорирования мест традиционного природопользования, ЛВПЦ, ключевых биотопов, нарушения почвенного покрова.

Так, например, исправляя грубые нарушения, выявленные при аудите, «Монди СЛПК» на протяжении сезона 2010 г. проводило работы по нанесению путиков и мест традиционного сбора лесных ресурсов на территориях Удорского и Усть-Куломского районов. Пример приостановки действия сертификата в 2008 г. по причине экологических нарушений касался ОАО «Сеgezский ЦБК», на территории деятельности которого в ходе аудита были выявлены рубки в массиве, имеющем очевидные характеристики ЛВПЦ [9]. Факты подобного рода доказывают реальную возможность сертификации обеспечить строгий учет интересов коренных жителей, местного населения при осуществлении лесозаготовительной деятельности.

Первый сертификат в России был выдан в 2000 г. на территории Алтайского края площадью 32,7 тыс. га на лесопользование и цепочку поставок продукции. На начало 2011 г. сертифицировано уже более 30,7 млн. га территории и выдано 127 сертификатов на лесопользование в 15 субъектах, 158 сертификатов цепи поставок в 18 регионах страны (рис. 2).

Основные экономические преимущества сертификации заключаются в доступе сертифицированной продукции на экологически чувствительные рынки, что повышает прибыль предприятия. Также сертификация существенно улучшает имидж компании и маркетинг ее продукции, и это обеспечивает долгосрочные и стабильные связи с партнерами.

Общеизвестно, что лес, помимо сырья для переработки, является источником ресурсов для традиционного природопользования с одной стороны и фактором занятости населения – с другой. Лесная сертификация гарантирует эти функции. Экологическая составляющая сертификации направлена на сохранение ценных участков леса и

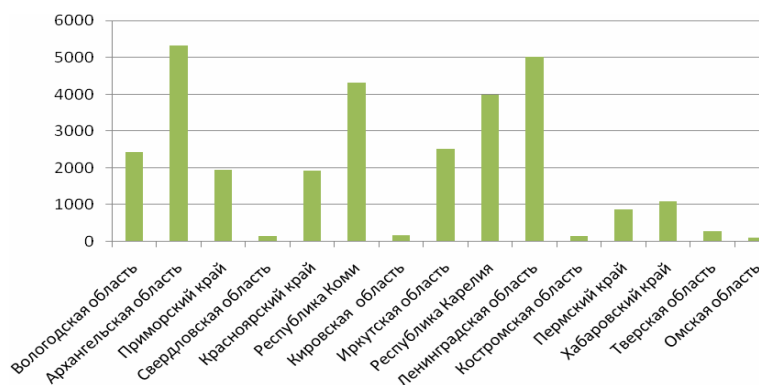


Рис. 2. Лесная сертификация на территории России, тыс. га.

биологического разнообразия, рационального использования лесных ресурсов и их восстановления.

Основные социальные и экологические аспекты лесной сертификации отражены в табл. 1.

Таблица 1

Социальная и экологическая значимость лесной сертификации

Социальная значимость	Экологические аспекты эффективности
Обеспечение общественного участия в принятии решений в области лесопользования: - при разработке планов лесопользования лесная компания должна выявить список заинтересованных сторон, в число которых входят все группы местных жителей (представители коренных народов, старожилы, охотники и рыболовы); - организация общественных слушаний с учетом интересов традиционного лесопользования. Трудоустройство местных жителей и профессиональное обучение работников. Обязательное соблюдение техники безопасности и охраны труда. Осуществление программ социальной направленности, имеющих благотворительный характер.	Планирование лесопользования с учетом: - охраны лесов высокой природоохранной ценности; - сохранения мест сбора недревесных ресурсов леса; - ограждения родников и экологических троп от прохождения рубок; - ключевых биотопов; - почвенных условий. Применение технологии естественного лесовосстановления путем сохранения подроста, семенных деревьев, куртин. Изменение правил лесозаготовки, когда пни, сухостои, порубочные остатки служат стимулом постоянства биоразнообразия. Утилизация опасных отходов и горюче-смазочных материалов.

Большое значение в сертификации уделяется открытости намерений и прозрачности информации и выражается это в разъяснительной работе с местными жителями, наглядности планов рубок, списке подрядчиков, правилах лесозаготовок, что обеспечивает доверие местного населения дея-

тельности лесной компании. Лесозаготовительная организация обязана иметь и предоставлять весь спектр некоммерческой информации о своей деятельности.

Проведение общественных обсуждений учитывает время, место проведения, оповещение и обеспечение наглядного материала для удобства местных жителей [10].

В Республике Коми более десяти лет ведется плодотворная работа по внедрению лесной сертификации, значительный вклад которой принадлежит деятельности Коми регионального некоммерческого фон-

да «Серебряная тайга». При его участии разработаны и внедрены в практику лесопользования региональные нормативы по выявлению и сохранению ЛВПЦ, ключевых биотопов, проводятся консультации для лесных компаний по подготовке аудитов, выпущены книги по важным вопросам сертификации [6-8]. Для региона Коми предложена система защиты редких, находящихся под угрозой исчезновения, видов и мест обитания птиц [4]. Так, места гнездования, по данным охотников, отмечаются на технических картах лесопользования с буферной зоной для исключения территорий рубок (рис. 3).

Практическим стартом в реализации лесной сертификации в Республике Коми стал проект «Модельный лес «Прилузье», благодаря которому в 2003 г. была осуществлена сертификация лесопользования и цепи поставок для четырех лесопромышленных компаний на территории Прилузского лесхоза. В настоящее время в соответствии с сертификатами FM/CoC проводят лесопользование одно лесничество – Прилузское (792,3 тыс.га), а также шесть предприятий, ведущих лесозаготовки с последующей переработкой древесины (табл. 2).

Общая площадь территории, где ведется лесопользование в соответствии с принципами устойчивого развития, составляет 4,3 млн. га или 30% от экономически активного лесного фонда. В чем заключается причина столь небольшой доли сертифицированных лесов? Во-первых, это трудности, связанные с выполнением всех принципов лесной сертификации. Зачастую уровень знаний работников заготовительных управлений недостаточен для выполнения и подготовки всех необходимых документов. Следовательно, вопросы, связанные с участками лесов высокой природоохранной ценности, ключевыми биотопами, их мониторинга и долгосрочного планирования, требуют обращения к специалистам. Как правило, это работники фонда «Серебряная тайга», НИОКР, ГИС центра Лесного института, Геоинфоресурс, консалтинговый центр «Тефра», ООО Техкарта.

Многие критерии сертификации требуют систематической работы, например – обучение персонала, оценка и мониторинг редких видов всего спектра биоресурсов, ЛВПЦ, оценка воздействия на окружающую среду и т.д. Порой местное население с недоверием относится к нанесению путиков, мест

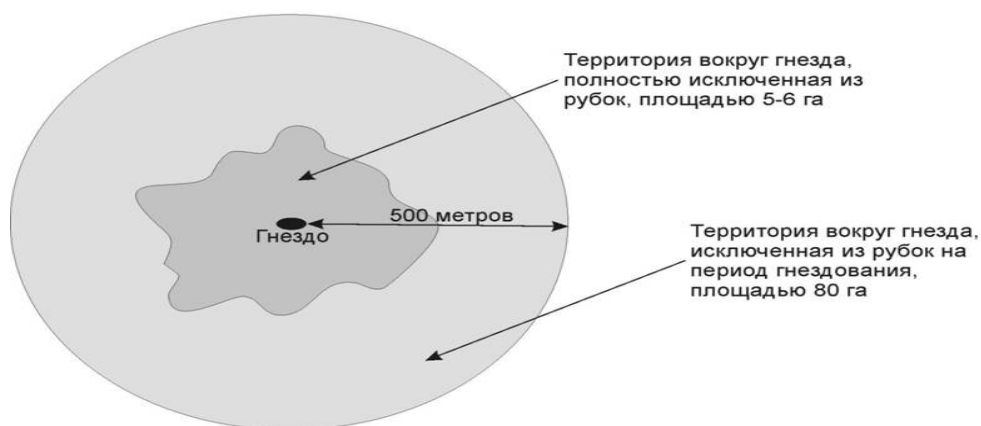


Рис. 3. Схема исключений территорий рубок вокруг гнезд редких птиц.

Меры поддержки лесной сертификации

Опыт сертифицированных предприятий России показал, что основные этапы сертификации включают четыре стадии: подготовку, предварительный, основной и ежегодный контрольный аудиты. Процесс подготовки до получения сертификата длится около пяти лет. При подго-

товке к сертификации предприятиям, как правило, необходимо организовать мониторинг хозяйственной деятельности, с назначением ответственных сотрудников на всех уровнях; обеспечить связь с общественностью и информационной деятельностью; привести в соответствие отчетность и документацию по выделению ЛВПЦ, что требует средств. В настоящее время существуют две схемы финансирования процедуры: само предприятие и долевое участие группы предприятий. В последнее время наблюдается тенденция, когда предприятия желают сами без объединения в группы и сертификации в «лесничествах» осуществлять процедуру получения лесного сертификата. Несмотря на эти тенденции, финансовые вложения значительны. Подготовительный этап зачастую предполагает инвентаризацию ЛВПЦ, ландшафтное планирование и составление планов рубок, выделение «краснокнижных» видов животных и птиц. Затраты на такие мероприятия в среднем укладываются в 500 тыс. руб. Практика последних пяти лет сертификации в России показала, что стоимость основного аудита доходит до 300 тыс. руб. и более для среднего предприятия, причем площадь арендной территории не является зависимым показателем. Стоимость ежегодных контрольных аудитов составляет 75% от затрат на проведение основного аудита в случае незначительных несоответствий, выявленных в ходе этих проверок [4].

Таким образом, предприятию, ведущему лесопользование в соответствии с лесным сертификатом, требуются огромные средства и хорошо организованный экологический менеджмент. Опыт Республики Коми показал, что для успешной сертификации необходима программа постепенного перехода управления лесами к сертифицированным стандартам.

В Западной Европе, где преобладает частная и корпоративная собственность на леса, сертификация лесопользования на лесных участках, как правило, иницируется, осуществляется и оплачивается владельцами этих участков, являясь составной частью их бизнеса. Для них сертификация является способом повышения конкурентоспособности и продвижения производимой лесной продукции на

Таблица 2

Сертификация предприятий по требованиям сертификата FM/CoC

Предприятие	Лесничества	Площадь, тыс. га
ОАО «Монди СЛПК»	Помоздинское, Усть-Куломское, Сыктывдинское, Корткеросское, Пруптское, Сторожевское, Усть-Немское, Ертомское, Койгородское, Кажимское, Сысольское	2 092
ООО «Комилес-бизнес»	Помоздинское	63
ООО «Лесозаготовительная компания»	Сыктывдинское	73
ООО «Лунвож ЛЗК»	Прилузское	56
ООО «Ясноглес-пром»	Сысольское	54
ООО «СевЛесПил»	Сыктывдинское	66

их охоты, сбора недревесных ресурсов леса. Зачастую компания должна проделать большую разъяснительную работу среди местного населения, прежде чем доказать преимущества не только экологического характера, но и социального. В случаях «групповой» сертификации связь между партнерами формируется перед проведением аудита, а для успешной работы требуется в каждой компании постоянная группа хорошо обученных специалистов, что в настоящее время весьма проблематично. Данный факт, к примеру, послужил выходу из группы сертификации отдельных компаний лесничеств: Койгородское, Кажимское и Сысольское по результатам аудита 2011 г.

Все это приводит к тому, что применение лесной сертификации в силу трудоемкости, а значит, и высокой затратности как в регионе, так и в России носит все еще ограниченный характер. Как правило, внедрение данного инструмента ответственного отношения к лесопользованию локализовано на экспортно-ориентированных предприятиях.

международные рынки. В Прибалтийских государствах (Эстонии, Латвии, Литве) около половины лесных земель сохранилось в государственной собственности, а вторая половина перешла в частную собственность. В этих странах сертификацию государственных лесов инициировали, готовили и оплачивали государственные управляющие лесные компании, которые продают лес на корню на аукционах. Для них сертификация является условием повышения конкурентных преимуществ при продаже выращиваемой древесины, а также способом улучшения своего имиджа [4].

В России доминирует государственная федеральная собственность на леса, а управление лесными территориями возложено на государственные учреждения – лесничества, которые не имеют права заниматься промышленной заготовкой древесины и, соответственно, не могут получать выгоду от реализации сертифицированной древесины. Промышленным лесопользованием занимаются частные лесозаготовительные компании, которые получают право на рубку леса в результате аукционов или конкурсов на аренду участков лесного фонда. Таким образом, в России заявителем и владельцем сертификата устойчивого лесопользования могут быть:

- лесничество как государственное учреждение, управляющее закрепленной за ним территорией государственного лесного фонда;

- предприятие-арендатор лесного фонда, получающее право на лесопользование и ведение лесного хозяйства на участке государственного лесного фонда согласно договору аренды, при этом срок аренды должен составлять не менее 10 лет.

Экономические преимущества от сертификации лесопользования получают лесозаготовительные и лесоперерабатывающие предприятия, реализующие свою продукцию, прежде всего, на международных рынках. Роль государственных органов сводится к контролю и согласию на проведение лесной сертификации. Республика Коми выгодно отличается тем, что процесс добровольной лесной сертификации поддерживается со стороны Правительства и органов исполнительной власти в области лесопользования – Комитетом лесов и надзорной службой в сфере природопользования. Понимание того факта, что компания, идущая на повышенные обязательства, как правило, имеет грамотных специалистов, а значит, и ведет лесозаготовку максимально рациональным образом, свидетельствует о высоком профессиональном уровне и заботе о территории в целом. Существующие противоречия действующего лесного законодательства и требований сертификации ведут к двусмысленному отношению лесозаготовительных и перерабатывающих компаний к процессу сертификации и ее необходимости. С одной стороны, выполнение принципов сертификации является признанным в мире гарантом устойчивого и ответственного отношения общества к лесным ресурсам. С другой, – российские законы не вводят обязательности процедур лесопользования, таких как выделение ЛВПЦ, выборочной рубки и т.д. в решении основных вопросов лесопользования. Таким образом,

предприятия лесной отрасли берут на себя повышенные обязательства по лесопользованию в соответствии с лесной сертификацией лишь в том случае, когда это является условием выхода на международный рынок сбыта. Данные противоречия должны быть урегулированы.

Пионерным внедрением лесной сертификации на территории России станет подготовка к проведению Олимпийских Игр в Сочи. Согласно перечню экологических требований к проектированию и строительству олимпийских объектов отдельным пунктом выделяется наличие сертификата FSC на строительные материалы и изделия из древесины. Это будет первый прецедент использования «зеленых» требований в России по отношению к социально-значимым объектам, ресурсам, окружающей среде в целом.

В итоге, лесная сертификация как инструмент социально-экологической ответственности гарантирует ведение экологически и социально устойчивого лесопользования. Международные принципы и критерии лесопользования адаптированы к специфическим условиям России и регионов. В Республике Коми ведется плодотворная работа по внедрению лесной сертификации и поддерживается со стороны исполнительной власти региона. В качестве мер поддержки рекомендуется создать программу постепенного перехода управления лесами территории региона к сертифицированным стандартам. Понимание социальной ценности благоприятной окружающей среды должно стать необходимой доминантой в принятии любых политических, организационных и производственных решений.

Литература

1. Тихонова Т.В. Изучение отечественного опыта повышения социально-экологической ответственности предприятий // Отчет по проекту ПРООН/ГЭФ «Укрепление системы ООПТ Республики Коми в целях сохранения биоразнообразия первичных лесов района верховьев реки Печора» [Электронный ресурс] URL: <http://www.undp-komi.org/index>. Дата обращения 15.10.2010.
2. Пахомова Н.В., Малышков Г.Б. Социально-экологическая ответственность и конкурентоспособность бизнеса: возможен ли синергетический подход? // Проблемы современной экономики, 2008. № 2 (26) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.m-economy.ru/art.php3?artid=23874>. Дата обращения: 25.08.2009
3. Немчинова А.В. Деньги из воздуха // Зеленая параллель, 2009. № 5 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rediff.com/money/2008/feb/05inter1.htm> Дата обращения: 18.11.2009.
4. FSC сертификация в России: практические решения. Пособие для работников лесной отрасли / Коми региональный некоммерческий фонд «Серебряная тайга». Сыктывкар, 2007. 144 с.
5. Ильина О., Карпачевский М., Яницкая Т. Нормативно-правовая основа сохранения биоразнообразия при заготовке древесины и ре-

- комендации по ее применению /Всемирный фонд дикой природы (WWF), М. 2009. 36 с.
6. *Кутепов Д.* Рекомендации по сохранению биоразнообразия при заготовке древесины в Республике Коми / Коми региональный некоммерческий фонд «Серебряная тайга». Сыктывкар, 2010. 72 с.
 7. *Паутов Ю.А., Засухин Д.П.* Рекомендации по выделению участков массового сбора грибов и ягод местным населением / Коми региональный некоммерческий фонд «Серебряная тайга». Сыктывкар, 2009. 24 с.
 8. *Рекомендации по проведению рубок главного пользования с сохранением экологических свойств леса в участках малонарушенных (девственных) лесов на территории Республики Коми / Агентство лесного хозяйства по Республике Коми, Коми региональный некоммерческий фонд «Серебряная тайга», ФГУ «Прилузский лесхоз». Сыктывкар, 2006. 45 с.*
 9. *Рекомендации по социальным аспектам сертификации по схеме Лесного попечительского совета FSC / М.С.Тысячнюк, О.А.Конюшатов, А.А.Кулясова, И.П.Кулясов, И.В.Тесля/ Под редакцией М.Тысячнюк. Вологда: Полиграфист, 2009. 184 с.*
 10. *Семяшкіна В.Т., Паутов Ю.А., Пунегова Л.А., Осипова Е.Е.* Рекомендации по проведению общественных слушаний / Коми региональный некоммерческий фонд «Серебряная тайга». Сыктывкар, 2004. 20 с.
 11. *Тихонова Т.В.* Региональный опыт повышения социально-экологической ответственности предприятий // Экономика региона, 2010. № 4. С. 183-189.

Статья поступила в редакцию: 19 04 2011.

УДК 331.526:330.564.2

АРКТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА КАНАДЫ: ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОДХОДА К УПРАВЛЕНИЮ СЕВЕРНЫМИ ТЕРРИТОРИЯМИ

А.А. ХАРЕВСКИЙ

*Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера
Коми НЦ УрО РАН, г.Сыктывкар*

a_kharevski@rambler.ru

Север Канады, с учетом его экономико-географических характеристик, всегда рассматривался правительством Канады как особый, стратегически значимый регион. В условиях изменения климата и истощения разведанных месторождений сырьевых ресурсов, регионы Севера могут стать основой для развития экономики этой страны. Федеральное правительство, понимая его значимость, не только приняло программный документ – Северную стратегию, но и предприняло конкретные шаги к ее реализации. В статье рассматривается изменение видения федеральной власти Канады места северных регионов в системе территориальных отношений, а также цели, задачи и методы реализации стратегии по развитию Арктических регионов.

Ключевые слова: Арктика, Север, Канада, экономическое развитие, территориальные отношения, региональная политика

A.A. KHAREVSKY. CANADA'S ARCTIC POLICY: TRANSFORMING APPROACH TO NORTHERN TERRITORIES MANAGEMENT

Canadian North, considering its economic and geographic characteristics, has always been treated by Canadian government as a unique strategic region. Nowadays, when the world faces climate changes and exhaustion of mineral resources, Canadian North could become a basis for economic development of the country. Understanding the importance of the North, Canada's Federal government has not only developed Northern Strategy – a program document which discloses four integrated priorities, - but has started its implementation. The article reveals transformation of Federal government's vision towards the place of the North in provincial and territorial relations and reviews goals, tasks and methods to implement Northern Strategy.

Key words: the Arctic, the North, Canada, Economic Development, Territorial Relations, Regional Policy

Малоосвоенные северные территории Канады занимают примерно 40% ее площади (3,5 млн. кв. км), тогда как здесь, согласно последней переписи 2006 г., проживает лишь 101,4 тыс. чел. или 0,3% населения [1]. Эти территории располагают огромными и далеко еще не полностью разведанными ресурсами природного газа, нефти, каменного угля, асбеста, руд черных и цветных металлов, значительным гидроэнергетическим потенциалом. Поэтому Север всегда рассматривался правительством Канады как стратегически значимый регион.

Подходы к районированию Севера Канады

С целью создания благоприятных условий для функционирования предприятий и жизни населения властями Канады и научной общественностью были предприняты неоднократные попытки районирования Севера.

В большинстве предлагаемых схем во главу угла ставился лишь природный критерий районирования. «Арктический подход», например, предполагает разделение севера и юга на основе естественных границ арктической и субарктической зон. Как

следствие, граница зоны Севера проходит по южной границе бореальных лесов [2].

Некоторыми исследователями в качестве основного фактора при определении «природного севера и ресурсных территорий» используются различия в характеристиках коренных народов [3 – 4].

Более комплексный вариант данного подхода заключен в «концепции северности» (nordicity concept), которая предполагает, что Север имеет как культурную, так и материальную стороны. Показатель «северности» включает в себя десять различных критериев, которые варьируются от естественных барьеров, как, например, минимальные среднегодовые температуры и растительный покров, до составляющих экономической активности на данной территории и ее транспортной доступности [5].

Были также предприняты попытки объединить различные концепции в одну, используя преимущества каждой из них. В качестве критериев были выбраны 16 показателей, наиболее объективно отражающих, на взгляд авторов, признаки «северности». В результате, было предложено раз-

делить всю территорию Канады на четыре зоны: зону Севера (North), переходную зону Севера (northern transition zone), переходную зону Юга (southern transition zone) и зону Юга (South) [6, 7].

Несмотря на многообразие подходов к районированию Севера в Канаде, законодательно данные районы разделены на северную зону (Northern Zone), известную также как зона А, и промежуточную зону (Intermediate Zone) – зона В. К северным районам Канады полностью относятся территории Юкона, Нунавута, Северо-Западных территорий (СЗТ) и Лабрадора, частично северные районы Британской Колумбии, Альберты, Саскачевана, Манитобы, Онтарио, Квебека [8 – 9].

Определение границ зоны Севера привело к созданию системы возмещения материальных затрат населения и работодателей через частичный возврат налоговых отчислений. Эта система содействовала удержанию населения, повысила привлекательность Севера, как региона с тяжелыми природно-климатическими условиями, ограниченным доступом к определенным товарам и услугам, высокими жилищными издержками для населения и работодателей и, в конце концов, способствовала обеспечению национальной безопасности в данном стратегически важном регионе.

Значение Арктических регионов Канады в оценках специалистов в последние годы резко возросло, так как согласно научным данным при сохранении темпов климатических изменений и таяния арктических льдов в ближайшие десятилетия станут доступны скрытые ранее под толщей льда месторождения углеводородов.

По данным отчета, подготовленного американской службой геологоразведки, «Исследование неразведанных запасов нефти и природного газа в Арктике» (Assessment of Undiscovered Oil and Gas in the Arctic) недра Арктики содержат около 83 млрд. баррелей нефти, что составляет 4% всех мировых разведанных запасов нефти, а также 1550 трлн. м³ газа. Такое количество углеводородного сырья при современном уровне потребления могут обеспечить глобальное потребление в течение трех и 14 лет, соответственно. Большая часть этих запасов лежит в прибрежных регионах на глубинах до 500 м, что делает их доступными для бурения [10].

Не менее привлекательно является возможность использования Северо-Западного пути (North West Passage), проходящего вдоль северного побережья Канады и соединяющего северную Атлантику с Тихим океаном, в качестве коммерческого транспортного маршрута. По разным оценкам он может стать свободным ото льда уже к 2050 г. [11 – 13].

Северная стратегия: от программного документа к практике

Возможность эксплуатации потенциальных месторождений, также как и большая доступность Северо-Западного пути, подтолкнуло правительство к разработке в 2004 г. «Основ северной стратегии» (Framework for Northern Strategy). Данный документ был подготовлен федеральным центром совместно с властями северных территорий: Юкона, Нунавута и Северо-Западных территорий (СЗТ)

и включал в себя начальное видение развития северного региона страны, принципов, на которых должна была основываться разработка стратегии его развития, а также постановку возможных целей и задач для ее реализации. Предполагалось, что «Основы северной стратегии» положат начало общественным дискуссиям и будут являться стимулом к принятию решения по созданию программного документа.

Работа по «Основам северной стратегии» в Канаде пошла намного дальше «устных» инициатив. Еще в 2004 г. практически сразу после ее принятия федеральные власти предоставили единовременный трансферт северным территориям в размере 120 млн. дол. для достижения некоторых краткосрочных целей, заявленных в Стратегии. Средства были разделены поровну (по 40 млн. дол.), а принятие решений по их использованию передано на региональный уровень.

Правительство Северо-Западных территорий направило 35 млн. дол. на создание фонда поддержки 33 районов, входящих в состав СЗТ, при этом каждый регион мог получить одинаковую для всех базовую часть трансферта, а также оставшуюся часть, формирующуюся с учетом численности населения. После принятия решения на уровне региона о способах использования данных средств, правительство СЗТ должно было перечислить причитающиеся суммы на региональные счета в любое время в течение трех лет. Оставшиеся 5 млн. дол. правительство СЗТ использовало на решение острых жилищных проблем (4 млн. дол.), 500 тыс. дол. были направлены на поддержку молодежных программ и столько же на финансирование проектов по продвижению здорового образа жизни [14].

Правительство Юкона приняло решение направить полученные средства на реализацию конкретных инвестиционных проектов. Предложения по реализации таких проектов могли быть направлены министерствами правительства Юкона и департаментами Совета первых наций (Council of Yukon First Nations) – политической организации, образованной в 1973 г. для представления интересов коренных народов Юкона. Для поддержки наиболее стратегически значимых и долгосрочных проектов, стоимость такового не должна была быть менее 150 тыс. дол. Негосударственные организации не могли напрямую принять участие в подаче заявки. Идеи своих проектов они должны были донести до указанных выше государственных структур, которые в свою очередь, могли выбрать наиболее интересный проект и подать заявку на его финансирование от своего имени. Ответственность за реализацию такого проекта также ложилась на соответствующий государственный департамент.

Для контроля над проведением конкурсов разработан рамочный документ «Концепция использования фонда северной стратегии» (Northern Strategy Trust Implementation Framework), в котором очень подробно описывался не только сам процесс отбора заявки, но и условия, которым он должен соответствовать.

В 2006-2007 гг. на реализацию проектов израсходовано около 9 млн. дол. В 2007-2008 гг. ут-

верждены проекты на сумму 16 млн. дол. В 2009 г. планировалось освоить оставшиеся 15 млн. дол. Общее финансирование трех наиболее крупных проектов 2009 г. составило 8 млн. дол., из которых 4 млн. дол. – на продолжение установки системы экстренного оповещения, 2,54 млн. – на восстановление и поддержание языков Совета первых наций и 1,46 млн. на создание статистического агентства Совета первых наций [15].

Правительство Нунавут распорядилось полученным финансированием следующим образом: 20 млн. дол. было решено потратить на развитие экономики, из которых: 5 млн. инвестированы в экономическое развитие регионов, не получающих централизованного финансирования; еще 5 млн. дол. выделены на инициативы по управлению и защите окружающей среды; оставшиеся 10 млн. были зарезервированы на создание школы по подготовке специалистов по коммерческой деятельности.

20 млн. дол., выделенные на культуру, решено разделить на инвестиции в создание культурной школы (10 млн. дол.) и центра наследия (10 млн. дол.)

Значительная активизация приполярных стран (России, США, Дании, Норвегии) в области исследований Арктики летом 2007 г. способствовала признанию Севера федеральным правительством Канады в качестве важнейшего политического и экономического приоритета. Вслед за этим было объявлено о создании Северной стратегии: «Мы разработали всестороннее видение нового Севера, Северную стратегию, которая превратит потенциал Севера в процветание на благо всех его жителей и населения Канады» [16]. В ней Север и Арктика рассматриваются как регион, который будет являться основой для развития государства, а Северная стратегия – как документ, определяющий пути развития. В Стратегии четко определены четыре долгосрочные цели, а также задачи, посредством решения которых возможно их достижение:

1. Обеспечение суверенитета Канады в Арктическом регионе:

- ускорение сбора научных данных, необходимых для подготовки заявки в Комиссию по границам континентального шельфа ООН к 2013 г.;

- приобретение военных патрульных судов, имеющих возможность работы в условиях Арктики, а также нового ледокола для работы за Полярным кругом с целью обеспечения присутствия в данном регионе;

- запуск разведывательного спутника Radar-sat 2 для обеспечения наблюдения за Арктикой и увеличения возможностей по сбору данных;

- строительство глубоководных доков и заправочных терминалов в г. Нанисивик (Нунавут).

2. Защита окружающей среды на Севере:

- обеспечение сохранения северных экосистем за счет расширения национальных парков и создания Арктических морских заповедных зон (Arctic Marine Protected Areas);

- ужесточение норм ответственности за загрязнение водной среды;

- обеспечение инвестиций в научные исследования по изменению климата в рамках Международного полярного года (International Polar Year).

3. Организация системы эффективного управления северными территориями:

- улучшение системы управления и передача полномочий на региональный уровень, а также развитие компетенций региональных властей;

- проведение переговоров по спорным территориальным вопросам и соглашениям о самоуправлении.

4. Обеспечение социально-экономического развития Северных регионов:

- определение природно-ресурсного потенциала Севера за счет привлечения инвестиций в составление геологических карт;

- снижение регуляторных и других барьеров;

- создание инфраструктуры на Севере;

- учреждение целевого Агентства по экономическому развитию Севера [17].

Перечисленные выше цели и задачи легли в основу внешней и внутренней политики Канады. Для достижения поставленных целей федеральное правительство в бюджете 2008 г. предусмотрело расходы на сумму более 1,5 млрд. дол. Выделенные средства были направлены на:

- строительство нового ледокола для работы за Полярным кругом (720 млн. дол.);

- составление карты морского дна Северного Ледовитого и Атлантического океанов с целью поддержки заявления в ООН об определении границ континентального шельфа к 2013 г. (20 млн. дол. в течение двух последующих лет);

- строительство промышленного рыбного порта в г. Пангниртург (Нунавут) для оказания поддержки развитию рыболовства в данной территории, а также развития туризма и создания рабочих мест (8 млн. дол. в течение двух последующих лет);

- покрытие расходов на увеличение налогового вычета за проживание на северных территориях на 10% (10 млн. дол. в год в течение двух последующих лет);

- продление действия 15%-ной налоговой скидки добывающим компаниям на инвестиции в поисковые и геолого-разведочные работы до 31 марта 2009 г. с целью оказания помощи компаниям в увеличении фондов, направляемых ими на геологоразведку, а также поддержки непрерывной разработки полезных ископаемых Севера (120 млн. дол. в течение двух последующих лет) [18];

- строительство доступного жилья на северных территориях (300 млн. дол.);

- создание социально-экономического трастового фонда (500 млн. дол.) для жителей территорий, на которых реализуется газовый проект Маккензи (Mackenzie Gas Project).

Кроме выше перечисленных мер федеральное правительство Канады в 2008 г.:

- провело военные учения и подтвердило свое намерение образовать Арктический тренировочный центр канадских вооруженных сил (Canadian Forces Arctic Training Centre) в г. Резолют (Нунавут);

- увеличило зону внутренних вод со 100 до 200 миль и обязало все суда, имеющие намерение войти в арктические воды Канады, докладывать об этом;
- расширило программу канадских рейнджеров;
- запустило спутник RadarSat-2;
- определило участки, которые будут использованы под национальные парки и заповедники;
- подтвердило намерение создать станцию по исследованию Арктики мирового уровня с целью выхода в лидеры в вопросах окружающей среды и разработки полезных ископаемых Арктики;
- определило исследования на северную тематику в качестве приоритета при получении университетских грантов.

Стратегические решения центрального правительства послужили импульсом к созданию региональной стратегии развития Севера – «северному взгляду» (Northern Vision). Данный документ представлял собой уже региональную инициативу и являлся способом привлечь федеральное правительство и бизнес к решению проблем Севера, к созданию «территорий устойчивого развития». «Владычество Канады в Арктическом регионе возможно только при условии создания процветающих и устойчивых северных территорий», – говорится в документе [19]. Для перехода к устойчивому развитию Севера, территориальные правительства предложили передать ответственность за использование природных ресурсов, а также доходов, полученных от этого, с федерального на региональный уровень [20].

В ответ на это федеральный центр в рамках раздела «организация системы эффективного управления северными территориями», предусмотренного в Северной стратегии, принял ряд решений, значительно улучшивших положение северных регионов. Прежде всего, это касается изменений в Формуле финансирования территорий – программе, призванной отвечать уникальным условиям северных регионов страны, которым необходима значительная финансовая поддержка, особенно в сфере общественных программ и оказания услуг.

Формула финансирования территорий – пример применения специального трансфертного режима в отношении северных регионов Канады

Вся суть применения Формулы финансирования территорий заключается не в простом распределении средств, а в создании условий для снижения зависимости территорий от федерального центра. Снижение зависимости видится правительством Канады и группой экспертов в повышении доходов территорий за счет собственных источников, как например: различных видов налоговых сборов, взимаемых на разных уровнях, лицензий, взносов и платежей, вкладов, контролем за спиртными напитками, а также самой территории (ренды, налогов с продаж и др.).

В соответствии с рекомендациями Совета экспертов федеральный бюджет увеличил общий объем трансфертов в рамках Формулы финанси-

рования территорий до 2.3 млрд. дол. [21]. Федеральное правительство вернулось к расчету объема трансферта ранее существовавшей формуле, которая определяла его как разницу между расходными потребностями территориальных властей и их доходного потенциала. Для этого была определена валовая расходная база, которая должна ежегодно увеличиваться в соответствии с поправкой на изменение численности населения. Благодаря такой поправке, в случае снижения количества человек, проживающих в северных районах, они не подвергаются финансовым взысканиям. При необходимости данный фактор может также играть роль создания стимулов к формированию постоянного населения или к переселению в более южные регионы в зависимости от выбранной государством генеральной стратегии.

Что касается доходного потенциала, его измерение, начиная с бюджета 2007 г., было значительно упрощено. В настоящее время он рассчитывается с использованием репрезентативной налоговой системы (Representative Tax System), похожей на ту, которая используется при расчете трансфертов в рамках Программы выравнивания. В основе данной системы исчисления лежат семь наиболее значимых для территорий источников собственных доходов.

Кроме того, в модель вычисления объема гранта в рамках ФФТ внесен модифицированный фактор «Стимул экономического развития», который теперь будет равен 30%. Он дает территориальным властям оставлять часть собственных доходов без каких-либо соответствующих сокращений объема трансфертного платежа в рамках ФФТ.

Доходы территорий от использования природных ресурсов, также как и ранее, не будут входить в модель при расчете объема гранта (таблица).

***Запланированные суммы
федеральных трансфертов в рамках
Формулы финансирования территорий***

Период	СЗТ	Юкон	Нуна- вут	Итого
	млн. дол.			
2006-2007 гг.	753	514	839	2106
2007-2008 гг. (обновленная формула)	788	540	893	2221
2008-2009 гг.	805	564	944	2313

Таким образом, с применением обновленной формулы финансирования территорий среднудушевая сумма трансферта в 2008-2009 гг. увеличится и составит 18166 дол. в Юконе, 18704 дол. – в Северо-Западных территориях и 30265 дол. в Нунавуте.

Кроме изменений в Формуле финансирования территорий, федеральное правительство продолжило обсуждение передачи полномочий по управлению ресурсами и землей в Северо-Западных территориях, а также начало подобные переговоры с властями Нунавута. Были также продолжены консультации, касающиеся вопросов са-

моуправления и прав коренных народов Севера на землю, а территория Нунавут получила 28 млн. дол. на усиление возможностей по финансовому менеджменту.

Результатом разработки Северной стратегии явилась и коренная трансформация взглядов на отношения между федеральной властью и региональными правительствами. Вектор государственной политики смещается от государственного регулирования или государственной поддержки, как правильно определил этот процесс А.Н. Пилясов, к «экономической координации» – когда государство не просто воздействует на рыночный сектор путем формирования оптимальных правил игры, но создается широкое партнерство всех жизнеспособных структур на Севере, которое раскрепощает информационный потенциал каждой из них для эффективного соучастия в управлении регионом и его экономикой, а также осуществляется поощрение развития институтов, способных экономнее разрешать координационные проблемы на Севере [22]. Такая «экономическая координация» нисколько не принижает роль государственного участия в экономике северных регионов. Наоборот, она признает исключительность северных территорий, необходимость осуществления вмешательства в экономические процессы, происходящие на Севере.

В заключение зафиксируем следующие положения:

1. Правительство Канады ясно понимает необходимость проведения специфической политики по отношению к ее самым северным регионам. Арктические регионы видятся федеральной властью в качестве долговременной основы развития страны, базой для ее будущего процветания.

2. Суверенитет в Арктике может быть достигнут при условии устойчиво развивающихся и экономически крепких Северных территорий. Это обеспечивается правительством Канады как за счет реализации целевых программ (строительство жилья и т.д.), так и путем оптимизации существующих трансфертных отношений (ФФТ).

3. Северная стратегия является жизнеспособным документом, не носящим декларативный характер, с определенным и, что немаловажно, частично уже освоенным финансированием.

4. Арктическая политика Канады не концентрируется лишь на решении внутренних вопросов. Федеральные власти готовы отстаивать интересы в Арктике на международной арене. Доказательством этому, в дополнение к Северной стратегии, является разработка отдельного документа – Арктической внешней политики.

Литература

1. *Statistics Canada*, 2006 Census of population.
2. *Bone R.* The Geography of the Canadian North: Issues and Challenges. Toronto: Oxford University Press, 1992.
3. *Bollman R.* A preliminary topology of rural Canada. Towards Sustainable Rural Communities: The Guelph Seminar Series. J. Bryden (ed.). Guelph: University of Guelph, 1994. Pp. 141-144.
4. *Maslove A.M., Hawkes D.C.* Canada's North: A Profile. Ottawa: Statistics Canada Catalogue, 1990. P. 98-112.
5. *Hamelin L.E.* L'ecoumene du Nord canadien. Studies in Canadian Geography: The North, W. Wonders (ed.). Toronto: University of Toronto Press, 1972. P. 25-40.
6. *McNiven C.* North is that Direction: Canadian Social Trends. Ottawa: Statistics Canada Catalogue, 1999. P. 11-008.
7. *McNiven C., Puderer H.* Delineation of Canada's North: An Examination of North-South Relationship in Canada. Geography Working Paper Series 2000-3. Ottawa: Statistics Canada Catalogue 2000-3. – 2000.
8. *Income Tax Regulations*. C.R.C., с. 945, 1985. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://laws.justice.gc.ca/eng/regulations/C.R.C.,_c._945/index.html, свободный. Загл. с экрана. Дата просмотра: 14.02.2011.
9. *Northern Residents* Deductions: Places in Prescribed Zones. Canada Revenue Agency. Publication T4039. – 2007.
10. *Gautier et al.* Assessment of Undiscovered Oil and Gas in the Arctic// Science 2009; 29 May. P. 1175-1179
11. *Arctic council* and the International Arctic Science Committee. Impacts of a Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment, Cambridge University Press, Cambridge, 2004.
12. *Office of Naval Research*, Naval Ice Center, Oceanographer of the Navy, and the Arctic Research Commission, "Naval Operations in an Ice-Free Arctic," Symposium, April 2001.
13. *Institute of the North*, U.S. Arctic Research Commission, and International Arctic Science Committee, Arctic Marine Transport Workshop, 2004. P. 5.
14. *40 Million Dollar Northern Strategy Funding Allocations*. Office of the Premier and Executive Council Government of the Northwest Territories. Yellowknife. NT, 2004.
15. *Northern Strategy Trust*. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.eco.gov.yk.ca/northern_strategy_trust.html, свободный. Загл. с экрана. Дата просмотра: 26.02.2011.
16. *Prime Minister Harper* delivers on commitment to the "New North" 10 March 2008 Yellowknife, NWT [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pm.gc.ca/eng/media.asp?id=2015> свободный. Загл. с экрана. Дата просмотра: 20.02.2011.
17. *Fraser Scott*. Canada's Northern Strategy. Canadian Embassy. Helsinki. 21 January, 2009.
18. *Northern Strategy* – Backgrounder 10 March 2008 Ottawa, Ontario [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pm.gc.ca/eng/media.asp?id=2016> свободный. Загл. с экрана. Дата просмотра: 20.02.2011.
19. *A Northern Vision: A Stronger North and a Better Canada*. Whitehorse, Yukon. May 2007. ISBN – 1-55362-329-0.

20. *Territorial Premiers Released Shared Vision for Canada's North. News Release. Whitehorse, Yukon. May 2007.*
21. *Budget 2007 – Restoring Fiscal Balance for a Stronger Federation. Department of Finance Canada. Ottawa, Ontario. March, 2007.*
22. *Север России: актуальные проблемы развития и государственный подход к их реше-*

нию. (Научный совет РАН по вопросам регионального развития; Коми научный центр УрО РАН) /Рук. авт. кол. А.Г.Гранберг, отв. редактор В.Н.Лаженцев. Москва – Сыктывкар, 2004. 172 с.

Статья поступила в редакцию: 29. 03. 2011.

РЕЦЕНЗИИ

Н.Л. Рогалина. Власть и аграрные реформы в России XX в. М.: Энциклопедия российских деревень. 2010. 216 с. Тир. 500 экз.

Аграрное развитие и его противоречия оказывали сильнейшее воздействие на весь ход исторического развития страны в XX в. Реформаторские начинания в постсоветской России сталкиваются с наибольшими трудностями именно в аграрной сфере. Очередной модернизационный эксперимент над деревней вновь поставил ставшие уже традиционными вопросы: «Кто виноват?» и «Что делать?».

Поиск адекватных способов современной аграрной модернизации невозможен без переосмысления «исторических уроков» из успехов и неудач прошлого, оценки исторического наследия, которое «досталось» современному обществу.

Историография аграрных реформ XX в. насчитывает тысячи публикаций, основанных на следующей посылке: каждый период может быть понят, будучи рассмотрен отдельно. Ощущается недостаток обобщающих монографических исследований с оригинальной авторской трактовкой темы. Совершенно очевидно, что осуществить такое всеохватывающее исследование – задача невероятно сложная.

Рецензируемая книга Н.Л. Рогалиной, ставшая в определенном смысле итогом многолетних научных изысканий известного российского аграрника, – одно из немногих монографических исследований, посвященных истории аграрных модернизаций в хронологических рамках всего XX в.

Ретроспективный анализ аграрного реформирования имеет единую исследовательскую логику и авторский замысел. Н.Л. Рогалина оценивает и сравнивает аграрные реформы по следующим критериям: цель и содержание; институциональная политика и характер корректировки реформ, взаимодействие экономических, социальных и правовых аспектов в процессе реформирования; хозяйственные результаты реформ в аграрной сфере.

Стремясь создать у читателя максимально ясное представление об историографической ситуации, сложившейся при изучении каждого из этапов аграрной модернизации, автор проводит читателя через лабиринт научных споров отечественных историков, формулирует основные положения и выводы, определяющие канву современной проблемной историографии. При этом Н.Л. Рогалина не избегает полемики со своими коллегами как по общим, так и по частным проблемам, полемизируя с оппонентами спокойно и доказательно.

Жанр книги, определенный как учебное пособие для студентов-гуманитариев и преподавателей, определил включение автором в каждую из шести глав вопросов для обсуждения, перечня источников и рекомендованной литературы, а также публикацию в приложениях основных источников.

Свое исследование Н.Л. Рогалина начинает с характеристики первой в XX в. модернизации аграрной сферы, связанной с именем П.А. Столыпина.

Одной из центральных теоретических и практических проблем, определявших цель и содержания аграрного реформирования, была оценка сущности аграрного кризиса начала XX в.: крестьянское малоземелье или кризис традиционного крестьянского натурального хозяйства, исчерпавшего ресурсы экстенсивного развития? Автор рассматривает трактовку российскими учеными-аграрниками причин происхождения и развития аграрного кризиса («теория малоземелья» и «производственная теория»), анализирует программные положения главных политических партий по аграрному вопросу, подчеркивая, что их объединял «принцип дополнительного наделения крестьян землей».

Исследователь справедливо пишет о нежелании верховной власти видеть проблему и менять курс правительственной политики, «пока аграрная революция не обнаружила сплывающуюся и разрушительную роль общины». Серьезным аргументом в пользу этого утверждения могла бы стать характеристика альтернативной крестьянской идее «черного передела» реформаторской программы Н.Х. Бунге, исходный теоретический замысел которой состоял в расширении частной земельной собственности через реформу крестьянского землепользования и замену общинных порядков подворно-участковым. Отказ власти от проведения аграрной реформы в 80 – 90-е гг. XIX в. с неизбежностью определил радикальный, форсированный характер столыпинской аграрной модернизации.

Н.Л. Рогалина дает читателю целостное представление о разработке правительством идеологии реформы, направленной «на индивидуализацию крестьянского землевладения и укрепление личной собственности, переход к более совершенным формам землепользования, возможно, безболезненным и в соответствии с народным правосознанием».

Знакомя читателя с первым этапом реформы (1907–1909 гг.), автор раскрывает историю обсуждения программы реформирования, законодательную базу реформы, дает возможность проследить реализацию указа о крестьянском землевладении и землепользовании, переселенческой политике и пр. Н.Л. Рогалина, показывая модификацию курса реформ на втором этапе (1910–1915 гг.), акцентирует внимание на сохранении прежней идеологии реформирования. Обстоятельно раскрыта правовая база нового этапа реформы, показаны изменения в землеустроительной и переселенческой политике, в деятельности Крестьянского банка и сельскохозяйственной кооперации, при этом аргументированно доказывается необоснованность популярных в историографии заключений о спаде реформы после 1910 г.

Несомненной заслугой исследователя является обстоятельный анализ новейшей историографии темы. Раскрываются дискуссии, развернув-

шиеся вокруг проблемы приоритетов правительственных преобразований (политических, социальных, экономических), показано отношение к реформам в крестьянской среде, исследован вопрос о «социальных субъектах» и «социальной базе» столыпинских реформ. Автор заостряет внимание на такой ключевой для понимания причин антимодернизационного взрыва 1917 г. проблеме, как экономические результаты и социальные последствия (пауперизация или вертикальная социальная мобильность) аграрной модернизации начала XX в.

Взявшие власть большевики оказались перед той же исторической задачей, которую решала власть в дореволюционный период, – осуществление модернизации России. Вторая глава рецензируемой монографии посвящена историческому анализу первой социалистической модели аграрной модернизации в рамках нэповской государственно-частной экономики, которая реализовывалась теперь под другими идеологическими лозунгами («построение социализма»).

Н.Л.Рогалина, с исчерпывающей полнотой рассмотрев институциональные условия развития крестьянского хозяйства (земельное законодательство и землеустройство, налоговую и ценовую политику, состояние кооперации), пришла к заключению, что новая экономическая политика «вводилась с запозданием, фрагментарно, без твердых правовых гарантий». Детально анализируются восстановительные процессы в сельском хозяйстве и особенности развития крестьянского хозяйства в условиях «чисто-го нэповского пятилетия» (1922–1927 гг.).

Сравнивая дореволюционное и постреволюционное состояние сельского хозяйства, исследователь пишет, что «экономику этих периодов соединяет преобладание натурально-потребительского крестьянского хозяйства и большое влияние на него государства». Однако совершенно справедливо основной акцент делается на кардинальном отличии столыпинской и нэповской моделей аграрных модернизаций. В дореволюционный период «развитие сельского хозяйства шло в условиях рыночной экономики <...>, а производство продовольствия росло быстрее, чем рост населения». В условиях нэпа «крестьянское хозяйство функционировало в обстановке сознательного самоограничения власти, созданной ею административно-рыночной, планово-товарной системы».

Критическому анализу подвергается проблема экономического потенциала мелкого крестьянского производства с точки зрения перспектив его дальнейшего развития и тесно связанных с ней вопросов о возможности «переформатировать» нэп и альтернативах «сталинской» коллективизации.

Автор пишет о существовании в историографии двух взаимоисключающих позиций: «пессимисты» отстаивают идею об исчерпанности объективных возможностей дальнейшего нэповского развития, «оптимисты» видят соответствующие преграды преимущественно в сфере политических и субъективных факторов. Н.Л. Рогалина не скрывает, что ее предпочтения – на стороне «оптимистов».

Согласимся с мнением исследователей, полагающих, что прогресс сельского хозяйства на основе мелкого крестьянского производства был и в экономическом, и в социальном плане объективно возможен, но – в рамках предпринимательско-рыночной экономики. Однако эта модель модернизации аграрной сферы, требующая свободного оборота земли и наличие рынка, в политических реалиях конца 1920-х гг. была обречена. В конечном счете, в годы коллективизации была реализована внерыночная «социалистическая» модель форсированной аграрной модернизации.

Третья глава книги («Коллективизация: начало раскрестьянивания») посвящена характеристике аграрной модернизации 1930-х гг. Глава открывается характеристикой политики раскулачивания, которая, как подчеркивает исследователь, стала основным методом проведения коллективизации, «стимулируя ее экономически и психологически, выступая как мотор "последнего предупреждения" и устрашения единоличников». Опираясь фактическим материалом, введенным в научный оборот в современных исследованиях и документальных изданиях, автор раскрывает нормативно-правовую базу раскулачивания и проведение «операции по кулаку», историю крестьянской ссылки, формы крестьянского сопротивления коллективизации. По мнению историка, массовая карательная операция против крестьянства начала 1930-х гг. послужила «моделью для последующих государственных террористических акций».

Н.Л.Рогалина, акцентируя внимание читателя на основной задаче коллективизации (накопление капиталов для индустриализации), показывает складывание системы по выкачиванию из деревни сельскохозяйственной продукции на нужды промышленности, подчиненной жесткому государственному диктату. Автор рассматривает методы проведения хлебозаготовительных кампаний и «организованный голод» 1932–1933 гг., «чрезвычайщину» в годы деятельности политотделов и «колхозный "сталинский" нэп» 1934–1936 гг., развитие колхозного производства накануне войны.

Анализ дискуссий ученых по теоретическим проблемам истории коллективизации показывает основательное знакомство исследователя с работами современных авторов. Думаю, что Н.Л. Рогалина, несколько категорично считая, что «ученые дружно квалифицируют коллективизацию как народную трагедию, как антикрестьянскую, противоправную политику», сознательно выносит за скобки ортодоксальную доктрину в современной историографии. Однако ортодоксы не ушли в небытие, и в последние годы усиливаются позиции тех, для кого образ Сталина – это «священная корова», а сталинизм – единственный верный путь, который привел народ к «счастливой социалистической жизни». Умышленно избегая полемики с аргументами сторонников этой доктрины, автор может вызвать нарекания оппонентов в субъективности (но может ли научное творчество быть абсолютно объективным?).

Несомненно, что Н.Л. Рогалина солидарна с теми учеными, для которых главным результатом

«аграрной революции» были экспроприация и высылка наиболее состоятельной, предпринимательской части крестьянства и создание слоя фактически зависимых аграрных производителей и полупринудительный труд в колхозе. Автор пришел к заключению, что «аграрный сектор к концу десятилетия "великого перелома" далеко не соответствовал потребностям модернизирующейся страны "победившего социализма"». Сталинская колхозная модель модернизации – наиболее ущербный и неэффективный способ аграрной модернизации, который в долгосрочной перспективе неизбежно определил стагнацию сельскохозяйственного производства.

Развитие сельского хозяйства в 1945–1953 гг. исследователь рассматривает в четвертой главе, посвященной аграрному реформированию 1950-х – первой половины 1980-х гг. Представляется более логичным сталинскую модель аграрной модернизации (1930-е – первая половина 1950-х гг.) проанализировать в одной главе. Послевоенные реалии не оказали существенного влияния на аграрную политику власти, в основе которой по-прежнему лежал основополагающий принцип решения индустриальных задач (теперь – восстановление разрушенных войной промышленных предприятий) за счет безудержного выкачивания средств из деревни (напомним к слову и о принудительной коллективизации в западных регионах страны в конце 1940-х – начале 1950-х гг.).

Рассматривая первый этап аграрных реформ Н.С. Хрущева (1953–1958 гг.) Н.Л. Рогалина подчеркивает, что в основе новой программы реформирования аграрной сферы лежало положение о возможности одновременного развития высокими темпами не только промышленности, но и сельского хозяйства в сочетании общественного и личного хозяйства. Исследователь анализирует институциональные основы реформы, стремится создать у читателя общую картину реализации трех сверхпрограмм курса на подъем сельского хозяйства (освоение целины, кукурузная эпопея и программа «Догнать и перегнать США по производству мяса, молока и масла»), реорганизации МТС и перевода колхозов в совхозы.

Основная теоретическая установка второго этапа реформирования (1959–1964 гг.) базировалась на идее слияния в будущем «колхозно-кооперативной и государственной собственности <...> в единую коммунистическую собственность», а организация сельскохозяйственного производства моделировалась по образцу индустриального предприятия (фабрики). Н.Л.Рогалина пишет о перестройке системы управления и резком повороте аграрного курса в сторону интенсификации сельского хозяйства.

Подводя итоги аграрным реформам Н.С. Хрущева, автор подчеркивает «приверженность реформатора к сталинскому наследию», его верности «сталинским подходам» как в идеологии, так и в стратегической линии. Да, конечно, колхоз сохранился в качестве священного советского института (а разве могли быть иные альтернативы в политических реалиях коммунистического режима?). Но представляется важным подчеркнуть именно корен-

ное отличие «коммунистического реформаторства» Хрущева как первой попытки гуманизировать и либерализовать сталинское наследие, главным результатом которой стало освобождение крестьянина от «сталинского крепостничества».

В течение следующих двух «застойных» десятилетий власть неоднократно предпринимала попытки совершенствовать аграрную систему. Как справедливо пишет Н.Л. Рогалина, «агония несущей конструкции государственного социализма продлевалась по необходимости кредитами, денежными вливаниями, повышением закупочных цен». Правительство меняло приоритеты аграрной политики, «пуская в ход и чередуя "старые" средства (укрупнение хозяйств, преобразование колхозов в совхозы, механизацию, химизацию) с "новыми" (расселение "неперспективных деревень", "специализацией и концентрацией производства на базе межхозяйственной кооперации и агропромышленной интеграции)". Однако все попытки реформирования «истощенного и одряхлевшего организма» были бесперспективны. Автор последовательно отстаивает мнение, что «реальными альтернативами бюрократическому реформированию могли быть лишь рыночные реформы в правовом государстве».

Выскажем критическое замечание в адрес автора. К сожалению, Н.Л. Рогалина не исследует проблему отношения крестьян к аграрным реформам «брежневской эпохи». Несомненно, что в 1960 – 1980-е гг. произошло заметное улучшение условий жизни деревни и это примирило крестьянина с колхозной системой. В целом позитивное отношение крестьян к колхозам стало в 1990-е гг. одним из главных препятствий в осознании ими необходимости кардинальных перемен и, как следствие, однозначно негативной реакции на политику развала колхозов. Поэтому новый модернизационный эксперимент над деревней в постсоветской России не нашел поддержки у подавляющего числа крестьян.

Заключительная глава монографии посвящена аграрному реформированию в конце XX в. Автор рассматривает теоретические и практические проблемы аграрной «перестройки» второй половины 1980-х гг., стратегию и институциональные условия аграрного реформирования 1990-х гг., этапы земельных преобразований, типы и формы новых сельскохозяйственных коллективов.

Подводя социально-экономические итоги реформ агросферы в 1990-е гг., Н.Л. Рогалина ищет ответ на ключевой вопрос: «Почему зависла реформа?». Исследователь подчеркивает вынужденный и спонтанный характер аграрного реформирования, незавершенность к концу 1990-х гг. приватизации и институциональных преобразований, «нацеленных на создание эффективных собственников и резкое повышение производительности сельскохозяйственного труда». Автор отмечает «явное преобладание административных методов над экономическими», «постоянные колебания экономического курса», «отсутствие значительных инвестиций в сельскохозяйственное производство» и «соответствующей информационной, консультационной и разъяснительной работы на местах».

Согласившись с мнением Н.Л. Роголиной, что «главной преградой на пути реформы явилось отсутствие крестьянина как носителя земледельческих знаний, культуры, трудовой этики», позволим себе несколько развить авторскую характеристику проблемы «социальных субъектов» аграрной модернизации конца XX в.

Современные радикальные реформаторы, стремясь через столетие воспроизвести Столыпинскую реформу, игнорировали исторический опыт советских аграрных модернизаций. Колхозное крестьянство, превращенное в наемного работника, было отучено от самостоятельного хозяйствования; колхозная система подорвала потенциальные возможности крестьянина для саморазвития.

В основе идеологии реформирования, исходившей из принципов классического либерализма, лежало заблуждение о несомненных внутренних потенциях ждущего своего освобождения крестьянства и возможности успешного развития аграрного

производства только путем разрушения колхозной системы и становления фермерского уклада и исключительно за счет стимулирующей силы частной собственности на землю и рыночных отношений.

Таким образом, из двух возможных вариантов аграрной модернизации – реформационный (с учетом исторического опыта и сохранением преемственности с предшествующим развитием) и революционный (отрицающий преемственность с существующими институтами и отношениями) – был выбран последний. Как справедливо пишет Н.Л. Роголина, «решение аграрного вопроса перешло в третье тысячелетие».

Рецензируемое исследование – яркое историографическое явление, которое, несомненно, окажет влияние на научную молодежь и его необходимо всячески пропагандировать в качестве учебного пособия для студентов.

д.и.н. Г.Ф.Доброноженко

ЭММА ИВАНОВНА ЛОСЕВА



6 мая 2011 г. исполнилось 80 лет доктору геолого-минералогических наук, действительному члену Нью-Йоркской академии наук и Уральской академии геологических наук, члену Международного диатомового общества, крупному специалисту в области геологии четвертичных отложений европейского Северо-Востока России **Эмме**

Ивановне Лосевой. Более полувека судьба этого авторитетного ученого связана с Институтом геологии Коми НЦ УрО РАН, где ею был пройден большой путь от старшего лаборанта до ведущего научного сотрудника.

Э.И. Лосевой внесен существенный вклад в изучение стратиграфии и палеогеографии плейстоцена европейского Северо-Востока России. Она является соавтором стратиграфической схемы четвертичных отложений Тимано-Печоро-Вычегодского региона, принятой Межведомственной стратиграфической комиссией в качестве рабочей схемы. Участвовала в работах по обоснованию возраста и генезиса плейстоценовых отложений исследованной территории.

Одной из первых в стране Э.И. Лосева начала изучение ультраструктуры панцирей четвертичных и плиоценовых диатомей с помощью электронной микроскопии, что позволило уточнить систематическое положение ряда таксонов, выявить новые элементы структуры и описать новые виды и разновидности диатомовых водорослей. Монографически ею описано около 370 видов, в том числе 29 новых для науки.

Э.И. Лосева после многих лет трудоемкой и кропотливой работы опубликовала: «Атлас позднеплейстоценовых диатомей Прикамья» (Л.: Наука, 1982. 207 с.); «Атлас морских плейстоценовых диатомей европейского Северо-Востока СССР» (СПб.: Наука, 1992. 272 с.) и «Атлас пресноводных плейстоценовых диатомей европейского Северо-Востока» (СПб.: Наука, 2000. 213 с.). Выход в свет этих фундаментальных монографических трудов является ценным вкладом в изучение

четвертичной геологии и практическим руководством для геологов-съемщиков при стратиграфическом расчленении четвертичных отложений и определении условий их осадконакопления.

На основе изучения комплексов диатомей Э.И. Лосевой проведена корреляция региональных горизонтов с горизонтами Межрегиональной стратиграфической шкалы четвертичных отложений Восточно-Европейской платформы, а также привязка комплексов к зональным шкалам по диатомеям Атлантического и Тихого океанов.

Эмма Ивановна очень целеустремленный и энергичный человек. Личность ее многогранна. Она была членом редколлегии Коми филиала Всесоюзного географического общества, членом бюро Волго-Уральской четвертичной комиссии, членом рабочих групп по проектам МПГК «Граница неогена и четвертичного» и «Четвертичные оледенения Северного полушария», членом комиссии по диатомеям при Научном совете по проблеме «Пути и закономерности развития животного и растительного мира». В советский период она активно участвовала в партийной, профсоюзной и комсомольской работе, занималась спортом (волейболом, шахматами, теннисом) и самостоятельностью – великолепно пела сначала в хоре alma mater, а затем в филиальском академическом, хорошо рисует и что не удивительно, так как «талантливый человек талантлив во всем» – отличная «садовница-огородница».

Многочисленные научные работы Э.И. Лосевой (а их опубликовано более 170, в том числе семь монографий) пользуются заслуженной известностью среди специалистов России и за рубежом.

Большой вклад Э.И. Лосевой в изучение четвертичных отложений на Северо-Востоке европейской части России неоднократно отмечался благодарственными и почетными грамотами, медалями «За доблестный труд в ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина» (1970), «Ветеран труда» (1984). В апреле этого года Эмма Ивановна награждена знаком отличия «За безупречную службу Республике Коми».

редколлегия

АЛЬБИНА АЛЕКСАНДРОВНА КАЛИНИНА



20 июля 2011 г. исполняется 75 лет известному ученому-энергетику, заслуженному деятелю науки Республики Коми, лауреату Государственной премии Республики Коми в области науки, ведущему научному сотруднику лаборатории комплексных топливно-энергетических проблем Института социально-экономических и энер-

гетических проблем Севера Коми НЦ УрО РАН кандидату экономических наук **Альбине Александровне Калининой**.

А.А. Калинина признанный специалист в области системных исследований в энергетике и развития регионального топливно-энергетического комплекса. С ее именем связаны исследования новых системных качеств в развитии регионального топливно-энергетического комплекса. Ею раскрыто содержание «комплексно-территориальный подход» в системе энергоснабжения региона и «программное управление», как необходимое условие государственного регулирования в развитии ТЭК. А.А. Калинина обосновала выделение двух уровней прогнозирования ТЭК энергоизбыточного региона – федерального (в развитии топливных отраслей) и регионального (в обеспечении качественного энергоснабжения потребителей региона); ею предложено инструментом рационализации управления энергетикой региона рассматривать топливно-энергетический баланс (разработана методика его составления на современном и прогнозируемом уровнях); предложенная ею методика обоснования энергетической безопасности региона, позволяет проводить количественную и качественную оценку кризисной ситуации в энергетике. При ее непосредственном участии в последние годы разработана региональная Энергетическая программа Республики Коми на период до 2020 г. и Программа энергообеспечения и топливоснабжения Республики Коми на 2004-2010 гг. с перспективой до

2020 г.; участие в разработке Программы энергосбережения до 2010 г. и в обосновании Стратегии социально-экономического развития Республики Коми до 2015 г. по проблемам энергетики.

Альбина Александровна – прекрасный оратор. Ее выступления на научных конференциях и правительственных мероприятиях никого не оставляют равнодушным, потому что она не только, обладая потрясающей эрудицией, досконально разбирается в проблемах регионального топливно-энергетического комплекса, но и может понятно и увлеченно рассказать о них самому широкому кругу слушателей – начиная со студентов и заканчивая академиками и руководителями региона, ярко демонстрируя свою активную жизненную и гражданскую позицию. Поэтому не удивительно, что Альбина Александровна желанный докладчик и востребованный эксперт в области энергетики.

Обладая огромным багажом знаний и практического опыта А.А. Калинина успешно передает его другим. Она разработала и читала курс лекций «Проблемы ТЭК» в Сыктывкарском государственном университете, Сыктывкарском лесном институте, осуществляла руководство аспирантами лаборатории и дипломниками вузов. В лаборатории в последние годы защитили докторскую и кандидатские диссертации четыре научных сотрудника. А.А. Калинина автор и соавтор более 250 научных работ, в т.ч. опубликовано 138, из них 21 монография, 17 препринтов и 100 научных статей и тезисов.

Альбина Александровна Калинина не только признанный и состоявшийся ученый, талантливый педагог, активный общественный деятель, но и человек огромного личного обаяния и безграничного оптимизма. Для каждого сотрудника лаборатории комплексных топливно-энергетических проблем за все эти годы она стала, без преувеличения, настоящим наставником и непререкаемым авторитетом, примером беззаветного служения своему делу.

редколлегия

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ
журнала «Известия Коми НЦ УрО РАН»

Журнал публикует научно-аналитические обзоры (объем до 25 м.с.), оригинальные статьи (до 15 м.с.) и краткие сообщения (до 6 м.с.) теоретического и экспериментального характера по проблемам естественных, технических, общественных и гуманитарных наук, в том числе региональной направленности. К публикации также принимаются комментарии к ранее опубликованным работам, информация о научных конференциях, рецензии на книги, хроника событий научной жизни. Статьи должны отражать результаты законченных и методически правильно выполненных работ.

Решение о публикации принимается редакционной коллегией журнала после рецензирования, учитывая новизну, научную значимость и актуальность представленных материалов. Статьи, отклоненные редакционной коллегией, повторно не рассматриваются.

Общие требования к оформлению рукописей

Статьи должны сопровождаться направлением научного учреждения, где была выполнена работа. В необходимых случаях должно быть приложено экспертное заключение. Организация, направляющая статью, как и автор(ы), несет ответственность за её научное содержание, достоверность и оригинальность приводимых данных. Изложение материала статьи должно быть ясным, лаконичным и последовательным. Статья должна быть хорошо отредактирована, тщательно проверена и подписана всеми авторами (автором) с указанием (полностью) фамилии, имени, отчества, домашнего адреса, места работы, служебного и сотового телефонов и e-mail.

В редакцию подается рукопись статьи в двух экземплярах – на бумаге и на диске в редакторе WinWord под Windows. Математические статьи могут подаваться в редакторе TEX. Электронная и бумажная версии статьи должны быть идентичны. Электронный вариант рукописи может быть прислан по электронной почте на адрес редакционной коллегии: journal@presidium.komisc.ru. Текст должен быть набран на компьютере (шрифт Times New Roman, кегль 14) в одну колонку через 1,5 интервала на бумаге форматом А4. По всей статье шрифт должен быть одинаковым. Поля страниц оригинала должны быть не менее: левое – 25 мм, верхнее – 20 мм, правое – 10 мм, нижнее – 25 мм. Объем иллюстраций (таблицы, рисунки, фото) в статье не должен превышать 8-10, а список литературы – 15 наименований. Количество иллюстраций в кратких сообщениях не должно превышать, соответственно, 5.

Первая страница рукописи оформляется следующим образом: в начале статьи указывается индекс Универсальной десятичной классификации (УДК); затем прописными буквами печатается название статьи, которое должно быть максимально кратким (информированным) и не содержать сокращений; далее следуют инициалы и фамилии авторов. Отдельной строкой дается название учреждения и города (для иностранных авторов – также страны). Ниже печатается электронный адрес для переписки. При наличии авторов из нескольких организаций необходимо арабскими цифрами указать их принадлежность. Через один полуторный интервал следует краткая аннотация (8-10 строк), в которой сжато и ясно описываются основные результаты работы. После аннотации через полуторный интервал приводятся ключевые слова (не более 6-8). Далее идут название статьи, аннотация и ключевые слова на английском языке.

Текст статьи состоит, как правило, из введения, основного текста, заключения (резюме) и списка литературы. В статье, описывающей результаты экспериментальных исследований, рекомендуются выделить разделы: «Материал и методы», «Результаты и обсуждение». Отдельно прилагаются подписуемые 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.

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, ка-

ждой 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 подписанные подписи (за исключением кратких цифровых или буквенных обозначений), отдельные фрагменты обозначаются арабскими цифрами или буквами русского алфавита, которые расшифровываются в подписных 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. Подписные подписи оформляются на отдельной странице. В подписях к микрофотографиям указываются увеличение объектива и окуляра, метод окраски.

Местоположение каждой таблицы, рисунка, карты, фотографии при первом упоминании их в тексте отмечается на полях рукописи в квадратных рамках простым карандашом.

Математические и химические обозначения и формулы печатаются или вписываются с соблюдением размеров прописных и строчных букв. Во избежание неясности прописные и строчные буквы, имеющие одинаковое начертание (с, k, j, p, u, v, w, x, y, ψ), следует подчеркнуть двумя черточками: прописные – снизу (S), а строчные – сверху (p). Необходимо тщательно вписывать такие буквы, как j («йот») и l («эль»). Греческие буквы обводятся кружком красного цвета. Знак суммы (Σ) красным не обводится. Название неясных букв желательно написать карандашом на полях (например, «эль», «кси», «дзета», «не эль», «и», «йот»).

Математические символы, которые набираются прямым, а не курсивным шрифтом, типа log, lim, max, min, sin, tg, Ri, Im, числа Релея (Re), Россби (Ro), Кибеля (Ki) и другие, а также химические символы, отмечаются снизу квадратной скобкой. Необходимо также дать расшифровку всех используемых в статье параметров, включая подстрочные и надстрочные индексы, а также всех аббревиатур (условные сокращения слов). Следует соблюдать единообразие терминов. Нумерация формул (только тех, на которые есть ссылка в тексте) дается в круглых скобках с правой стороны арабскими цифрами.

В тексте цитированную литературу приводить только цифрами в квадратных скобках. Список литературы должен быть представлен на отдельной странице и составлен в порядке упоминания источников в тексте в соответствии со следующими правилами описания. Журнальные публикации: фамилии и инициалы всех авторов, полное название статьи журнала, название журнала (в соответствии с рекомендованным ВИНТИ списком сокращений), год, том, выпуск (номер), страницы (первая и последняя). Книги: фамилии и инициалы всех авторов, полное название книги, инициалы и фамилии редакторов, город, год, страницы (если ссылка не на всю книгу) или число страниц в книге. Сборники: фамилия и инициалы авторов, полные названия статьи и сборника, первая и последние страницы. Если сборник содержит материалы конференций, необходимо указать их форму (труды, доклады, материалы) и название конференции. Диссертации: фамилия и инициалы автора, полное название диссертации, на соискание какой степени, каких наук, город, институт, в котором выполнена работа, год. Ссылки на авторефераты допускаются в исключительных случаях с указанием фамилии и инициалов автора, полного названия работы, места и года защиты, общего количества страниц. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Список литературы оформляется по нижеприведенным примерам (следует обратить особое внимание на знаки препинания):

1. *Иванов И.И.* Название статьи // Название журнала. 2005. Т.41. № 4. С. 18-26.
2. *Петров П.П.* Название книги. М.: Наука, 2007. Общее число страниц в книге (например, 180 с.) или конкретная страница (например, С. 75.).
3. *Казаков К.К.* Название диссертации: Дис. «...». канд. биол. наук. М.: Название института, 2002. 164 с.

4. Мартынюк З. П. Патент RU № 92963 на полезную модель "Фотограмметрическое средство измерений объемов круглых лесоматериалов при проведении погрузо-разгрузочных работ". Патенто-обладатель(и): Учреждение Российской академии наук Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН.

При наличии четырех авторов в списке литературы указываются все, а более четырех – только первые три, а далее пишется «и др.».

Для статей журналов, имеющих русскую и английскую версию, необходимо давать в списке литературы двойную ссылку (под одним номером), например:

1. Иванов И.И., Петров П.П. Название статьи // Название журнала. 2008. Т. 47. № 1. (8-18). *Ivanov I., Petrov P. Article name // Magazine name. 2008. T. 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 коллегия 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 коллегия 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.2(6)

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 22.06.2011.
Формат бумаги 60x84¹/₈. Печать офсетная.
Усл.-печ.л. 14. Уч.-изд.л. 14. Тираж 300. Заказ № 30.

Редакционно-издательский отдел
Коми научного центра УрО РАН.
167982, ГСП, г.Сыктывкар, ул.Первомайская, 48.