

Научный журнал

Основан в 2010 г.
Выходит 4 раза в год

Учредитель
Коми научный центр
УрО РАН

ИЗВЕСТИЯ

КОМИ НАУЧНОГО ЦЕНТРА
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН

№1

2010

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, 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,
к.ф.-м.н. И.А. Зудов, 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, к.и.н. А.Ф. Сметанин,
к.б.н. А.И.Таскаев (зам. главного редактора), д.филол.н. Г.В. Федюнева,
д.т.н. Ю.Я. Чукарев, 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,
акад. А.Г. Гранберг, 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. Матвиенко, акад. Г.А. Месяц, акад. Ю.С. Оводов,
чл.-корр. РАН Е.В. Пименов, акад. М.П. Роцевский,
чл.-корр. РАН А.Ф. Титов, акад. В.Н. Чарушин, д.т.н. Н.Д. Цхадая,
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: rio@presidium.komisc.ru;
ladanova@presidium.komisc.ru

ISSN 1994-5655

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

© Коми научный центр УрО РАН, 2010

СОДЕРЖАНИЕ

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО	4
---------------------------	---

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Н.А.Громов. Возможные контракции группы $SU(2) \times U(1)$	5
В.И.Пунегов. Влияние пространственной корреляции дефектов на рассеяние рентгеновских лучей от полупроводниковой сверхрешетки	11

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Б.А.Голдин, В.Э.Грасс, П.В.Истомин, Н.А.Секушин, Ю.И.Рябков. Разработка наноструктурированных керамических композитов	16
--	----

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

В.А.Безносиков, Е.Д.Лодыгин. Высокомолекулярные органические соединения в почвах	24
Б.В.Раевский. Ход роста смешанных культур сосны скрученной и сосны обыкновенной в южной Карелии	31
Т.К.Головко, И.В.Далькэ, О.В.Дымова, И.Г.Захожий, Г.Н.Табаленкова Пигментный комплекс растений природной флоры европейского Северо-Востока	39
Ю.Г.Солонин, Е.Р.Бойко, Н.Г.Варламова, Т.В.Есева, О.А.Кеткина, Т.П.Логинова, О.И.Паршукова, Н.Н.Потолицына. Влияние широтного фактора на организм подростков-северян	47
О.И.Паршукова. Влияние климато-географических факторов на содержание селена в сыворотке крови жителей Европейского Севера	51

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

В.А.Петровский, А.Е.Сухарев, В.Н.Филиппов, В.П. Филоненко Микрополикристаллические алмазы (природные и экспериментальные системы)	54
А.М.Плякин, О.В.Ершова. О возрасте девонских полиминеральных россыпей Тимана	60
И.Г.Ященко. Вязкие нефти и уровень теплового потока на территориях Волго-Уральского, Западно-Сибирского и Тимано-Печорского бассейнов	64
Т.Д.Ланина, И.Ю.Быков. Извлечение лития из высокоминерализованных пластовых вод нефтяных месторождений.....	69

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Н.Д.Цхадая, Ю.М.Гержберг, А.Н.Попов, С.Н.Беляев. Реагентное капсулирование нефтезагрязненных отходов с полезным использованием конечных продуктов технологии.....	72
В.А.Зуев, Ю.А.Горин. Методика расчета аэродинамических и газовентиляционных параметров газообильного подработанного выемочного участка мощного пологого угольного пласта....	76
Г.П.Шумилова, Н.Э.Готман, Т.Б.Старцева. Оценивание границы динамической надежности электроэнергетической системы	80

ИСТОРИКО-ФИЛОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

И.Л.Жеребцов. Климат в древней истории финно-угорских народов	87
А.М.Мурыгин. Археологические исследования в тундрах крайнего Северо-Востока европейской части России	93

ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

В.Н.Лаженцев. Пространственное развитие (примеры Севера и Арктики).....	97
В.В.Фаузер. Оценка демографического и трудового потенциалов Республики Коми.....	105

ХРОНИКА	112
---------------	-----

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТДЕЛ (ЮБИЛЕИ, НАГРАДЫ)	118
---	-----

CONTENTS

INTRODUCTION	4
PHYSICAL And MATHEMATICAL SCIENCES	
N.A.Gromov. Possible contractions of $SU(2) \times U(1)$ group	5
V.I.Punegov. Influence of spatial correlation of defects on x-ray scattering from a semiconductor superlattice.....	11
CHEMICAL SCIENCES	
B.A.Goldin, V.E.Grass, P.V.Istomin, N.A.Sekushin, Y.I.Ryabkov. Development of nanostructure ceramic composites	16
BIOLOGICAL SCIENCES	
V.A.Beznosikov, E.D.Lodygin. High-molecular organic substances in soils.....	24
B.V.Raevsky. Growth and development of lodgepole pine and scotch pine provenances in mixed plantings in South Karelia	31
T.K.Golovko, I.V.Dalke, O.V.Dymova, I.G.Zakhochiy, G.N.Tabalenkova. Pigment complex of natural flora plants of the European North-East	39
Yu.G.Solonin, E.R.Bojko, N.G.Varlamova, T.V.Eseva, O.A.Ketkina, T.P.Loginova, O.I.Parshukova, N.N.Potolitsyna. Influence of latitude factor on organism of adolescences-northerners	47
O.I.Parshukova. The influence of climatogeographic factors on contents of the selenium in blood serum of inhabitants of the European North.....	51
GEOLOGICAL-MINERALOGICAL SCIENCES	
V.A.Petrovsky, A.E.Sukharev, V.N.Filippov, V.P.Filonenko. Micropolycrystalline diamonds (natural and experimental systems)	54
A.M.Plyakin, O.V.Ershova. On the age of Devonian polymeric alluvial deposits in Timan.....	60
I.G.Yashchenko. Viscous oils and heat flux level in territories of the Volga-Urals, West-Siberian and Timan-Pechora oil-bearing basins.....	64
T.D.Lanina, I.Y.Bykov. The extraction of lithium from mineral-rich water beds in oil deposits.....	69
TECHNICAL SCIENCES	
N.D.Tskhadaya, Yu.M.Gerzhberg, A.N.Popov, S.N.Belyaev. Agent neutralization of the petropolluted waste with useful use of end-products of technology	72
V.A.Zuev, Yu.A.Gorin. A method for calculating aerodynamic and ventilation parameters of an extra gassy pre-worked out section in a thick flat coal seam.....	76
G.P.Shumilova, N.E.Gotman, T.B.Starceva. Dynamic security border assessment of electric power system.....	80
HISTORICAL-PHILOLOGICAL SCIENCES	
I.L.Zherebtsov. Climate in the ancient history of the Finno-Ugric peoples.....	87
A.M.Murygin. Archaeological researches in tundra of the extreme Northeast of the European Russia.....	93
SOCIAL SCIENCES	
V.N.Lazhentsev. Spatial development (North and Arctic regions as examples)	97
V.V.Fauzer. Estimation of demographic and labour potential of the Komi Republic	105
CHRONICLE	112
OFFICIAL (ANNIVERSARIES, AWARDS).....	118



ДОРОГИЕ ЧИТАТЕЛИ!

Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук непросто долго жил без своего полноценного научного журнала. Вообще-то у нас выходит довольно много изданий – монографии, научные труды, различные тематические сборники, информационные выпуски «Вестника Коми НЦ УрО РАН», серия научных сообщений: Научные доклады, Новые научные методики и информационные технологии, Научные достижения – практике, Люди науки и др.

Большинство этих изданий осуществлялось по инициативе академика М.П.Рощевского, много лет руководившего Коми научным центром. Несмотря на большое количество публикуемых трудов, необходимость издания своего научного журнала мы осознавали давно. Особенно обострилась проблема научных публикаций после появления так называемого ВАКовского списка.

Идея журнала нашла поддержку в институтах центра. Заинтересованное участие проявили в вузах республики, особенно в Ухтинском государственном техническом университете.

И вот мы наконец представляем вашему вниманию первый номер журнала «Известия Коми научного центра УрО РАН». Как и собственно научный центр, журнал задуман как многоотраслевое научное издание, охватывающее все основные отрасли естественно-научных и общественных исследований. Хотя в будущем мы и не исключаем издание отдельных тематических выпусков «Известий...».

Очевидно, что главными авторами нового журнала будут сотрудники нашего центра. Однако журнал открыт для публикации оригинальных статей авторов из других научных организаций и высших учебных заведений нашей страны, прежде всего, Уральского и Северо-Западного регионов.

Я надеюсь, что «Известия...» станут площадкой для апробации новых научных результатов, неожиданных идей, путей решения крупных прикладных, инновационных проблем.

Мы начинаем издание нового журнала не в самое лучшее для российской науки время. В России издается неоправданно мало научных журналов. Эту ситуацию необходимо переломить, хотя бы через издание научных журналов в региональных научных центрах. Несмотря на неизбежные трудности, проекты изданий новых журналов будут востребованы.

Мы верим в счастливую судьбу и популярность нашего журнала. Он должен пополнить список отечественных научных журналов и занять в нем достойное место.

До встречи на страницах «Известий Коми научного центра УрО РАН».

*Председатель
Коми научного центра УрО РАН,
член-корреспондент РАН А.М.Асхабов,
главный редактор*

УДК 512.815

ВОЗМОЖНЫЕ КОНТРАКЦИИ ГРУППЫ $SU(2) \times U(1)$

Н.А. ГРОМОВ

Отдел математики Коми НЦ УрО РАН, г.Сыктывкар

Рассмотрена группа $SU(2) \times U(1)$ над алгеброй Пименова D_2 с нильпотентными коммутативными образующими. Найдены два типа согласованного распределения контракционных параметров в структуре группы и в пространстве фундаментального представления. Подробно изучены возможные контракции фундаментального представления группы, получающиеся при нильпотентных значениях контракционных параметров.

Ключевые слова: унитарная группа, фундаментальное представление, контракция

N. GROMOV. POSSIBLE CONTRACTIONS OF $SU(2) \times U(1)$ GROUP

The group $SU(2) \times U(1)$ over the Pimenov algebra D_2 with the nilpotent commutative generators is discussed. Two sets of the contraction parameters which give nonisomorphic contracted groups and different fundamental representation spaces are considered. The fundamental representations of the contracted groups corresponding to the nilpotent values of the contraction parameters are regarded in detail.

Key words: unitary group, fundamental representation, contraction

Введение

Специальная унитарная группа $SU(2)$ находит многочисленные применения как в математике, так и в теоретической физике. В частности, классические специальные функции математической физики — многочлены Лежандра и Якоби — выражаются через матричные элементы неприводимых унитарных представлений этой группы [1]. Понятие спина элементарных частиц, а также изотопического спина нуклона, объединяющего в один мультиплет протон и нейтрон, связано с группой $SU(2)$ [2]. Современная электрослабая теория элементарных частиц основана на калибровочной группе $SU(2) \times U(1)$ [3]. Напомним, что группа $SU(2)$ локально изоморфна группе вращений $SO(3)$.

Широкое использование группы $SU(2)$ предполагает детальное изучение не только ее свойств, но и свойств групп, которые получаются из нее предельными переходами или контракциями [4]. С точки зрения физических приложений контракция группы соответствует рассмотрению того или иного предельного случая физической системы, построенной с помощью данной группы или имеющей симметрию, описываемую группой. Если свойства самой группы $SU(2)$ хорошо известны, этого нельзя сказать о свойствах ее контрактированных групп.

В теоретической физике чаще всего фундаментальные представления контрактированной специальной унитарной группы $SU(2; j)$ описываются треугольной матрицей

$$u = \begin{pmatrix} a & 0 \\ b & \bar{a} \end{pmatrix}, \quad \det u = |a|^2 = 1$$

с комплексными элементами $a, b \in \mathbb{C}$. Однако имеется другой математически более изощренный подход [5], когда группы и алгебры Ли рассматриваются не над вещественным или комплексным полем, а над алгеброй с нильпотентными образующими. В простейшем случае при описании контрактированных групп вместо комплексных матричных элементов появляется матрица с нильпотентными элементами

$$u(\iota) = \begin{pmatrix} \alpha & \iota\beta \\ -\iota\bar{\beta} & \bar{\alpha} \end{pmatrix}, \quad \det u(\iota) = |\alpha|^2 = 1, \quad \alpha, \beta \in \mathbb{C},$$

где нильпотентная единица $\iota \neq 0$, но $\iota^2 = 0$. Эти две возможности соответствуют несимметричному появлению контракционного параметра j в первом случае, когда только матричный элемент u_{12} умножается на $j^2 = \iota^2 = 0$, и симметричной расстановке параметра j во втором случае, когда матричные элементы u_{12}, u_{21} умножаются на $j = \iota$.

Группа $SU(2; j) \times U(1; j)$ над алгеброй Пименова $D_2(j)$

Рассмотрим алгебру Пименова $D_2(j_1, j_2)$ с элементами вида [6]

$$a = a_0 + j_1 a_1 + j_2 a_2 + j_1 j_2 a_3,$$

где a_k , $k = 0, 1, 2, 3$ — комплексные коэффициенты, а параметры j принимают по два значения $j_1 =$

$1, \iota_1, j_2 = 1, \iota_2$. Здесь $\iota_n, n = 1, 2$ есть коммутативные нильпотентные образующие с алгебраическими свойствами: $\iota_n^2 = 0$, но $\iota_1 \iota_2 = \iota_2 \iota_1 \neq 0$. Справедливы следующие эвристические правила: для вещественного или комплексного b выражения b/ι_n определены только при $b = 0$, однако $\iota_n/\iota_n = 1$. Подчеркнем, что сокращать можно только одинаковые нильпотентные единицы (с одинаковым индексом), выражения типа ι_1/ι_2 не определены, следовательно, не допускаются к рассмотрению.

Из наиболее общего двумерного векторного пространства над алгеброй $D_2(j)$, $j = (j_1, j_2)$ выделим пространство $C_2(j)$ с векторами специального вида

$$z(j) = \begin{pmatrix} x_1 + ij_2x_2 \\ j_1(y_1 + ij_2y_2) \end{pmatrix}, \quad (1)$$

характеризующиеся распределением параметров j_1 и j_2 в своих компонентах. Под действием преобразований из группы $SU(2; j) \times U(1; j)$ эти вектора переходят в себя. Действительно, преобразования $z'(j) = u(2; j)z(j)$, $u(2; j) \in SU(2; j)$, или

$$\begin{pmatrix} x'_1 + ij_2x'_2 \\ j_1(y'_1 + ij_2y'_2) \end{pmatrix} =$$

$$\begin{pmatrix} \alpha_1 + ij_2\alpha_2 & j_1(\beta_1 + ij_2\beta_2) \\ j_1(-\beta_1 + ij_2\beta_2) & \alpha_1 - ij_2\alpha_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 + ij_2x_2 \\ j_1(y_1 + ij_2y_2) \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где групповые параметры подчиняются уравнению

$$\alpha_1^2 + j_2^2\alpha_2^2 + j_1^2(\beta_1^2 + j_2^2\beta_2^2) = 1, \quad (3)$$

а также преобразования $u(1; j) \in U(1; j)$ вида

$$z'(j) = e^{ij_2\varphi} z(j) = (\cos j_2\varphi + i \sin j_2\varphi) z(j) = u(1; j)z(j), \quad (4)$$

где $\varphi \in [0, 2\pi)$ при $j_2 = 1$ и $\varphi \in R$ при $j_2 = \iota_2$, не только сохраняют распределение параметров j_1 и j_2 , но и оставляют инвариантной величину

$$|z(j)|^2 = x_1^2 + j_2^2x_2^2 + j_1^2(y_1^2 + j_2^2y_2^2) = \text{inv}. \quad (5)$$

Заметим, что двумерное комплексное пространство C_2 эквивалентно четырехмерному вещественному пространству R_4 . Нам удобно рассматривать действие групп на вещественном пространстве. Комплексному пространству $C_2(j)$ (1) соответствует вещественное пространство $R_4(j)$ с векторами вида $(X)^t(j) = (x_1, j_2x_2, j_1y_1, j_1j_2y_2)^t$. Инвариант (5) есть сфера произвольного радиуса в этом пространстве, а вещественные параметры (3) группы $SU(2; j)$ лежат на сфере единичного радиуса. Из уравнений (2) получаем действие группы $SU(2; j)$ в пространстве $R_4(j)$

$$\begin{aligned} x'_1 &= \alpha_1x_1 - j_2^2\alpha_2x_2 + j_1^2(\beta_1y_1 - j_2^2\beta_2y_2), \\ x'_2 &= \alpha_2x_1 + \alpha_1x_2 + j_1^2(\beta_2y_1 + \beta_1y_2), \\ y'_1 &= -\beta_1x_1 - j_2^2\beta_2x_2 + \alpha_1y_1 + j_2^2\alpha_2y_2, \\ y'_2 &= \beta_2x_1 - \beta_1x_2 - \alpha_2y_1 + \alpha_1y_2, \end{aligned} \quad (6)$$

а из (4) действие группы $U(1; j)$ в этом пространстве

$$\begin{aligned} x'_1 &= x_1 \cos j_2\varphi - x_2 j_2 \sin j_2\varphi, \\ x'_2 &= x_1 \frac{1}{j_2} \sin j_2\varphi + x_2 \cos j_2\varphi, \\ y'_1 &= y_1 \cos j_2\varphi - y_2 j_2 \sin j_2\varphi, \\ y'_2 &= y_1 \frac{1}{j_2} \sin j_2\varphi + y_2 \cos j_2\varphi. \end{aligned} \quad (7)$$

Рассмотрим однопараметрические подгруппы и алгебры Ли. Поскольку действие группы $U(1; j)$ в комплексном пространстве $C_2(j)$ сводится к умножению на функцию, то генератор (инфинитезимальный оператор) представления пропорционален единичной матрице. Однопараметрические подгруппы фундаментального представления группы $SU(2; j)$ имеют вид

$$\begin{aligned} u_1(\omega_1; j_1) &= e^{\omega_1 T_1(j)} = \begin{pmatrix} \cos \frac{1}{2} j_1 \omega_1 & i \sin \frac{1}{2} j_1 \omega_1 \\ i \sin \frac{1}{2} j_1 \omega_1 & \cos \frac{1}{2} j_1 \omega_1 \end{pmatrix}, \\ u_2(\omega_2; j_1 j_2) &= e^{\omega_2 T_2(j)} = \begin{pmatrix} \cos \frac{1}{2} j_1 j_2 \omega_2 & \sin \frac{1}{2} j_1 j_2 \omega_2 \\ -\sin \frac{1}{2} j_1 j_2 \omega_2 & \cos \frac{1}{2} j_1 j_2 \omega_2 \end{pmatrix}, \\ u_3(\omega_3; j_2) &= e^{\omega_3 T_3(j)} = \begin{pmatrix} e^{\frac{i}{2} j_2 \omega_3} & 0 \\ 0 & e^{-\frac{i}{2} j_2 \omega_3} \end{pmatrix}, \end{aligned} \quad (8)$$

а отвечающие им генераторы задаются матрицами

$$\begin{aligned} T_1(j) &= j_1 \frac{i}{2} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad T_2(j) = j_1 j_2 \frac{i}{2} \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}, \\ T_3(j) &= j_2 \frac{i}{2} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (9)$$

с коммутационными соотношениями

$$\begin{aligned} [T_1(j), T_2(j)] &= -j_1^2 T_3(j), \quad [T_3(j), T_1(j)] = -T_2(j), \\ [T_2(j), T_3(j)] &= -j_2^2 T_1(j), \end{aligned} \quad (10)$$

определяющими представление алгебры Ли $su(2; j)$, общий элемент которой имеет вид

$$\begin{aligned} T(j) &= \sum_{k=1}^3 a_k T_k(j) = \\ &= \frac{i}{2} \begin{pmatrix} j_2 a_3 & j_1(a_1 - ij_2 a_2) \\ j_1(a_1 + ij_2 a_2) & -j_2 a_3 \end{pmatrix} = -(T(j))^\dagger. \end{aligned} \quad (11)$$

Формулы этого раздела при $j_1 = j_2 = 1$ описывают прямое произведение классических групп $SU(2) \times U(1)$. Обратное из группы $SU(2) \times U(1)$ легко получить группу $SU(2; j) \times U(1; j)$ заменой

$$\alpha_1 \rightarrow \alpha_1, \alpha_2 \rightarrow j_2 \alpha_2, \beta_1 \rightarrow j_1 \beta_1, \beta_2 \rightarrow j_1 j_2 \beta_2, \varphi \rightarrow j_2 \varphi, \quad (12)$$

в том числе для однопараметрических подгрупп

$$\omega_1 \rightarrow j_1 \omega_1, \omega_2 \rightarrow j_1 j_2 \omega_2, \omega_3 \rightarrow j_1 \omega_3. \quad (13)$$

Пространство $R_4(j)$ получается из R_4 подстановкой декартовых координат

$$x_1 \rightarrow x_1, x_2 \rightarrow j_2 x_2, y_1 \rightarrow j_1 y_1, y_2 \rightarrow j_1 j_2 y_2. \quad (14)$$

Помимо замены (12) имеется еще одно преобразование параметров унитарной группы

$$\alpha_1 \rightarrow \alpha_1, \alpha_2 \rightarrow j_1 j_2 \alpha_2, \beta_1 \rightarrow j_1 \beta_1, \beta_2 \rightarrow j_2 \beta_2, \varphi \rightarrow j_1 j_2 \varphi, \quad (15)$$

которое вместе с преобразованием координат пространства $\hat{\mathbf{R}}_4(\mathbf{j})$

$$x_1 \rightarrow x_1, x_2 \rightarrow j_1 j_2 x_2, y_1 \rightarrow j_1 y_1, y_2 \rightarrow j_2 y_2 \quad (16)$$

приводит к другому согласованному распределению контрационных параметров, а именно $\hat{z}'(\mathbf{j}) = \hat{u}(2; \mathbf{j}) \hat{z}(\mathbf{j})$, $\hat{u}(2; \mathbf{j}) \in SU(2; \mathbf{j})$, или

$$\begin{pmatrix} x'_1 + i j_1 j_2 x'_2 \\ j_1 y'_1 + i j_2 y'_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_1 + i j_1 j_2 \alpha_2 & j_1 \beta_1 + i j_2 \beta_2 \\ -j_1 \beta_1 + i j_2 \beta_2 & \alpha_1 - i j_1 j_2 \alpha_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 + i j_1 j_2 x_2 \\ j_1 y_1 + i j_2 y_2 \end{pmatrix}, \quad (17)$$

где

$$\alpha_1^2 + j_1^2 j_2^2 \alpha_2^2 + j_1^2 \beta_1^2 + j_2^2 \beta_2^2 = 1. \quad (18)$$

Для группы $U(1; \mathbf{j})$ преобразования имеют вид

$$\begin{aligned} \hat{z}'(\mathbf{j}) &= \exp(i j_1 j_2 \varphi) \hat{z}(\mathbf{j}) = \\ &= (\cos j_1 j_2 \varphi + i \sin j_1 j_2 \varphi) \hat{z}(\mathbf{j}) = \hat{u}(1; \mathbf{j}) \hat{z}(\mathbf{j}), \end{aligned} \quad (19)$$

а инвариантной относительно общих преобразований из группы $SU(2; \mathbf{j}) \times U(1; \mathbf{j})$ остается величина

$$|\hat{z}(\mathbf{j})|^2 = x_1^2 + j_1^2 j_2^2 x_2^2 + j_1^2 y_1^2 + j_2^2 y_2^2 = \text{inv}. \quad (20)$$

Полагая в уравнениях (6), (7) $j_1 = j_2 = 1$, а затем производя замену (15), находим действие группы $SU(2; \mathbf{j})$ в пространстве $\hat{\mathbf{R}}_4(\mathbf{j})$

$$\begin{aligned} x'_1 &= \alpha_1 x_1 - j_1^2 j_2^2 \alpha_2 x_2 + j_1^2 \beta_1 y_1 - j_2^2 \beta_2 y_2, \\ x'_2 &= \alpha_2 x_1 + \alpha_1 x_2 + \beta_2 y_1 + \beta_1 y_2, \\ y'_1 &= -\beta_1 x_1 - j_2^2 \beta_2 x_2 + \alpha_1 y_1 + j_2^2 \alpha_2 y_2, \\ y'_2 &= \beta_2 x_1 - j_1^2 \beta_1 x_2 - j_1^2 \alpha_2 y_1 + \alpha_1 y_2 \end{aligned} \quad (21)$$

и действие группы $U(1; \mathbf{j})$ в том же пространстве

$$\begin{aligned} x'_1 &= x_1 \cos j_1 j_2 \varphi - x_2 j_1 j_2 \sin j_1 j_2 \varphi, \\ x'_2 &= x_1 \frac{1}{j_1 j_2} \sin j_1 j_2 \varphi + x_2 \cos j_1 j_2 \varphi, \\ y'_1 &= y_1 \cos j_1 j_2 \varphi - y_2 j_2^2 \frac{1}{j_1 j_2} \sin j_1 j_2 \varphi, \\ y'_2 &= y_2 \cos j_1 j_2 \varphi + y_1 j_1^2 \frac{1}{j_1 j_2} \sin j_1 j_2 \varphi. \end{aligned} \quad (22)$$

Однопараметрические подгруппы фундаментального представления группы $SU(2; \mathbf{j})$ только распределением параметров j_1, j_2 отличаются от подгрупп (8)

$$\begin{aligned} \hat{u}_1(\omega_1; j_1) &= e^{\omega_1 \hat{T}_1(\mathbf{j})} = \begin{pmatrix} \cos \frac{1}{2} j_1 \omega_1 & i \sin \frac{1}{2} j_1 \omega_1 \\ i \sin \frac{1}{2} j_1 \omega_1 & \cos \frac{1}{2} j_1 \omega_1 \end{pmatrix}, \\ \hat{u}_2(\omega_2; j_2) &= e^{\omega_2 \hat{T}_2(\mathbf{j})} = \begin{pmatrix} \cos \frac{1}{2} j_2 \omega_2 & \sin \frac{1}{2} j_2 \omega_2 \\ -\sin \frac{1}{2} j_2 \omega_2 & \cos \frac{1}{2} j_2 \omega_2 \end{pmatrix}, \\ \hat{u}_3(\omega_3; j_1 j_2) &= e^{\omega_3 \hat{T}_3(\mathbf{j})} = \begin{pmatrix} e^{\frac{i}{2} j_1 j_2 \omega_3} & 0 \\ 0 & e^{-\frac{i}{2} j_1 j_2 \omega_3} \end{pmatrix}, \end{aligned} \quad (23)$$

а отвечающие им генераторы задаются матрицами

$$\begin{aligned} \hat{T}_1(\mathbf{j}) &= j_1 \frac{i}{2} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad \hat{T}_2(\mathbf{j}) = j_2 \frac{i}{2} \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}, \\ \hat{T}_3(\mathbf{j}) &= j_1 j_2 \frac{i}{2} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (24)$$

с коммутационными соотношениями

$$\begin{aligned} [\hat{T}_1(\mathbf{j}), \hat{T}_2(\mathbf{j})] &= -\hat{T}_3(\mathbf{j}), \quad [\hat{T}_3(\mathbf{j}), \hat{T}_1(\mathbf{j})] = -j_1^2 \hat{T}_2(\mathbf{j}), \\ [\hat{T}_2(\mathbf{j}), \hat{T}_3(\mathbf{j})] &= -j_2^2 \hat{T}_1(\mathbf{j}), \end{aligned} \quad (25)$$

определяющими представление алгебры Ли $su(2; \mathbf{j})$, общий элемент которой имеет вид

$$\begin{aligned} \hat{T}(\mathbf{j}) &= \sum_{k=1}^3 a_k \hat{T}_k(\mathbf{j}) = \\ &= \frac{i}{2} \begin{pmatrix} j_1 j_2 a_3 & j_1 a_1 - i j_2 a_2 \\ j_1 a_1 + i j_2 a_2 & -j_1 j_2 a_3 \end{pmatrix} = -(\hat{T}(\mathbf{j}))^\dagger. \end{aligned} \quad (26)$$

Разные распределения контрационных параметров в структуре группы проявляются при нильпотентных значениях параметров. Более подробно это различие будет прояснено в следующем разделе.

Контракции фундаментального представления

В традиционном подходе [4] контракции групп осуществляются с помощью предварительно вводимого в структуру группы вещественного параметра ϵ , который затем устремляется к нулю $\epsilon \rightarrow 0$. В нашем подходе контракциям групп отвечают нильпотентные значения параметров $j_k = \iota_k$, которые в случае векторных пространств приводят их к расслоению. Следует отметить, что в обоих подходах получаются одинаковые контрактированные группы. Поэтому иногда удобнее использовать первый подход, больше отвечающий физической интуиции, а иногда второй подход, более математический. Несложный анализ показывает, что одномерные контракции приводят к двум разным группам при $j_1 = \iota_1$, $j_2 = 1$ и $j_1 = 1$, $j_2 = \iota_2$ независимо от распределения контрационных параметров, а двумерные контракции (по двум параметрам) $j_1 = \iota_1$, $j_2 = \iota_2$ дают разные группы для распределения (12) и распределения (15). Рассмотрим эти четыре случая по отдельности.

Евклидова контракция $j_1 = \iota_1$, $j_2 = 1$

Хорошо известно, что группа $SU(2)$ локально изоморфна группе вращений $SO(3)$ [1], которая при указанной контракции переходит в евклидову группу $E(2)$. Этим объясняется название этой и других контракций данной секции. При $j_1 = \iota_1$, $j_2 = 1$ согласно (3) имеем $\det u(\iota_1) = |\alpha|^2 = 1$, т.е. $\alpha = e^{i\varphi}$, поэтому из (2) получаем матрицу контрактированной группы в виде

$$u(\iota_1) = \begin{pmatrix} e^{i\varphi} & \iota_1 \beta \\ -\iota_1 \bar{\beta} & e^{-i\varphi} \end{pmatrix}, \quad \beta = \beta_1 + i \beta_2 \in \mathbb{C}. \quad (27)$$

Функция нильпотентного аргумента определяется своим разложением в ряд Тейлора, в частности, $\cos \iota x = 1$, $\sin \iota x = \iota x$, $e^{\iota \varphi} = 1 + \iota \varphi$. Тогда однопараметрические подгруппы (8) принимают вид

$$\begin{aligned} u_1(\omega_1; \iota_1) &= \begin{pmatrix} 1 & \iota_1 \frac{i}{2} \omega_1 \\ \iota_1 \frac{i}{2} \omega_1 & 1 \end{pmatrix}, \\ u_2(\omega_2; \iota_1) &= \begin{pmatrix} 1 & \iota_1 \frac{1}{2} \omega_2 \\ -\iota_1 \frac{1}{2} \omega_2 & 1 \end{pmatrix}, \\ u_3(\omega_3; \iota_1) &= \begin{pmatrix} e^{\frac{i}{2} \omega_3} & 0 \\ 0 & e^{-\frac{i}{2} \omega_3} \end{pmatrix}, \end{aligned} \quad (28)$$

а их генераторы — элементы алгебры $su(2; \iota_1)$ — удовлетворяют коммутационным соотношениям

$$\begin{aligned} [T_1(\iota_1), T_2(\iota_1)] &= 0, \quad [T_3(\iota_1), T_1(\iota_1)] = -T_2(\iota_1), \\ [T_2(\iota_1), T_3(\iota_1)] &= -T_1(\iota_1). \end{aligned} \quad (29)$$

Представление алгебры $su(2; \iota_1)$ в пространстве $C_2(\iota_1)$ задается матрицами (11) вида

$$T(\iota_1) = \frac{i}{2} \begin{pmatrix} a_3 & \iota_1 \bar{a} \\ \iota_1 a & -a_3 \end{pmatrix}, \quad a \in \mathbb{C}. \quad (30)$$

Пространство фундаментального представления $C_2(\iota_1)$ согласно (1) состоит из векторов вида $z(\iota_1)^t = (z_1, \iota_1 z_2)^t$ и представляет собой расслоенное полуевклидово пространство [7], [8] с одномерным комплексным слоем $\{z_1\} = \{x_1, x_2\}$ и одномерной комплексной базой $\{z_2\} = \{y_1, y_2\}$. Матрица (27) из группы $SU(2; \iota_1)$ действует на $C_2(\iota_1)$ по правилу

$$z'_1 = z_1 e^{i\varphi}, \quad z'_2 = z_2 e^{-i\varphi} - z_1 \bar{\beta},$$

а действие группы $U(1; \iota_1)$ в соответствии с (4) сводится к умножению координат z_1 и z_2 на $e^{i\varphi}$. При этом инвариант (5) распадается на два: один в базе $|z_1|^2 = x_1^2 + x_2^2$, инвариантный относительно общих преобразований из $SU(2; \iota_1)$ (6) и $U(1; \iota_1)$ (7) при произвольных $y_1, y_2 \neq 0$, и один в слое $|z_2|^2 = y_1^2 + y_2^2$, т.е. при $z_1 = 0$ или $x_1 = x_2 = 0$.

Евклидова контракция — это единственная контракция унитарной группы, согласованная с комплексной структурой.

Для второго типа распределения контракционных параметров из (18) получаем $\alpha_1^2 + \beta_2^2 = 1$, $\alpha_2, \beta_1 \in \mathbb{R}$, т.е. можно положить $\alpha_1 = \cos \varphi_1$, $\beta_2 = \sin \varphi_1$ и тогда преобразования (17) запишутся в виде

$$\begin{pmatrix} x'_1 + \iota_1 i x'_2 \\ \iota_1 y'_1 + i y'_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi_1 + i \iota_1 \alpha_2 & \iota_1 \beta_1 + i \sin \varphi_1 \\ -\iota_1 \beta_1 + i \sin \varphi_1 & \cos \varphi_1 - i \iota_1 \alpha_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 + \iota_1 i x_2 \\ \iota_1 y_1 + i y_2 \end{pmatrix}. \quad (31)$$

Согласно (16) $\mathbb{R}_4(\iota_1)$ есть полуевклидово расслоенное пространство с двумерной базой $\{x_1, y_2\}$ и двумерным слоем $\{x_2, y_1\}$. Группа $SU(2; \iota_1)$ действует в нем по формулам (21)

$$\begin{aligned} x'_1 &= x_1 \cos \varphi_1 - y_2 \sin \varphi_1, \\ y'_2 &= x_1 \sin \varphi_1 + y_2 \cos \varphi_1, \\ x'_2 &= \alpha_2 x_1 + \beta_1 y_2 + x_2 \cos \varphi_1 + y_1 \sin \varphi_1, \\ y'_1 &= -\beta_1 x_1 + \alpha_2 y_2 - x_2 \sin \varphi_1 + y_1 \cos \varphi_1. \end{aligned}$$

Для группы $U(1; \iota_1)$ умножений векторов $\hat{z}(\iota_1)$ в $C_2(\iota_1)$ на $\exp(\iota_1 i \varphi) = 1 + \iota_1 i \varphi$, $\varphi \in \mathbb{R}$ (19) преобразования в $\mathbb{R}_4(\iota_1)$ следуют из (22)

$$x'_1 = x_1, \quad y'_2 = y_2, \quad x'_2 = x_2 + x_1 \varphi, \quad y'_1 = y_1 - y_2 \varphi.$$

Вместо одного инварианта (20) получаем два. Инвариантами относительно общих преобразований из группы $SU(2; \iota_1) \times U(1; \iota_1)$ остаются $x_1^2 + y_2^2 = \text{inv}_1$ в базе расслоения $\{x_1, y_2\}$ пространства $\mathbb{R}_4(\iota_1)$ и $x_2^2 + y_1^2 = \text{inv}_2$ в слое $\{x_2, y_1\}$, т.е. при $x_1 = y_2 = 0$.

Однопараметрические подгруппы фундаментального представления группы $SU(2; \iota_1)$ равны

$$\hat{u}_1(\omega_1; \iota_1) = \begin{pmatrix} 1 & \iota_1 \frac{i}{2} \omega_1 \\ \iota_1 \frac{i}{2} \omega_1 & 1 \end{pmatrix},$$

$$\hat{u}_2(\omega_2; \iota_1) = \begin{pmatrix} \cos \frac{1}{2} \omega_2 & \sin \frac{1}{2} \omega_2 \\ -\sin \frac{1}{2} \omega_2 & \cos \frac{1}{2} \omega_2 \end{pmatrix},$$

$$\hat{u}_3(\omega_3; \iota_1) = \begin{pmatrix} e^{\iota_1 \frac{i}{2} \omega_3} & 0 \\ 0 & e^{-\iota_1 \frac{i}{2} \omega_3} \end{pmatrix}, \quad (32)$$

а отвечающие им генераторы задаются матрицами

$$\begin{aligned} \hat{T}_1(\iota_1) &= \iota_1 \frac{i}{2} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad \hat{T}_2(\iota_1) = \frac{i}{2} \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}, \\ \hat{T}_3(\iota_1) &= \iota_1 \frac{i}{2} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (33)$$

с коммутационными соотношениями

$$\begin{aligned} [\hat{T}_1(\iota_1), \hat{T}_2(\iota_1)] &= -\hat{T}_3(\iota_1), \quad [\hat{T}_3(\iota_1), \hat{T}_1(\iota_1)] = 0, \\ [\hat{T}_2(\iota_1), \hat{T}_3(\iota_1)] &= -\hat{T}_1(\iota_1). \end{aligned} \quad (34)$$

Из (26) получаем матрицу

$$\hat{T}(\iota_1) = \frac{i}{2} \begin{pmatrix} \iota_1 a_3 & \iota_1 a_1 - i a_2 \\ \iota_1 a_1 + i a_2 & -\iota_1 a_3 \end{pmatrix}, \quad (35)$$

определяющую фундаментальное представление контрактированной алгебры Ли $su(2; \iota_1)$.

Ньютонова контракция $j_1 = 1$, $j_2 = \iota_2$

При указанных значениях контракционных параметров из (3) получаем $\alpha_1^2 + \beta_1^2 = 1$, $\alpha_2, \beta_2 \in \mathbb{R}$, т.е. можно положить $\alpha_1 = \cos \varphi_1$, $\beta_1 = \sin \varphi_1$, тогда общий элемент группы $SU(2; \iota_2)$ дается матрицей

$$u(\iota_2) = \begin{pmatrix} \cos \varphi_1 + \iota_2 i \alpha_2 & \sin \varphi_1 + \iota_2 i \beta_2 \\ -\sin \varphi_1 + \iota_2 i \beta_2 & \cos \varphi_1 - \iota_2 i \alpha_2 \end{pmatrix}, \quad \alpha_2, \beta_2 \in \mathbb{R}. \quad (36)$$

Однопараметрические подгруппы легко находятся из (8)

$$u_1(\omega_1; \iota_2) = \begin{pmatrix} \cos \frac{1}{2} \omega_1 & i \sin \frac{1}{2} \omega_1 \\ i \sin \frac{1}{2} \omega_1 & \cos \frac{1}{2} \omega_1 \end{pmatrix},$$

$$u_2(\omega_2; \iota_2) = \begin{pmatrix} 1 & \iota_2 \frac{1}{2} \omega_2 \\ -\iota_2 \frac{1}{2} \omega_2 & 1 \end{pmatrix},$$

$$u_3(\omega_3; \iota_2) = \begin{pmatrix} 1 + \iota_2 \frac{i}{2} \omega_3 & 0 \\ 0 & 1 - \iota_2 \frac{i}{2} \omega_3 \end{pmatrix}. \quad (37)$$

Алгебра Ли $su(2; \iota_2)$ задается генераторами с коммутационными соотношениями

$$\begin{aligned} [T_1(\iota_2), T_2(\iota_2)] &= -T_3(\iota_2), \quad [T_3(\iota_2), T_1(\iota_2)] = -T_2(\iota_2), \\ [T_2(\iota_2), T_3(\iota_2)] &= 0. \end{aligned} \quad (38)$$

При $j_2 = \iota_2$ пространство $C_2(\iota_2)$, состоящее из векторов вида $z(\iota_2)^t = (x_1 + \iota_2 i x_2, y_1 + \iota_2 i y_2)^t$, теряет комплексную структуру, а вещественное пространство $\mathbb{R}_4(\iota_2)$ состоит из векторов $X^t(\iota_2) = (x_1, \iota_2 x_2, y_1, \iota_2 y_2)^t$. Таким образом, это расслоенное полуевклидово пространство с двумерной базой $\{x_1, y_1\}$ и двумерным слоем $\{x_2, y_2\}$. Группа $SU(2; \iota_2)$ действует как вращение в базе

$$x'_1 = x_1 \cos \varphi_1 + y_1 \sin \varphi_1, \quad y'_1 = y_1 \cos \varphi_1 - x_1 \sin \varphi_1,$$

и линейное преобразование в слое

$$x'_2 = x_1 \alpha_2 + y_1 \beta_2 + x_2 \cos \varphi_1 + y_2 \sin \varphi_1,$$

$$y'_2 = x_1 \beta_2 - y_1 \alpha_2 + y_2 \cos \varphi_1 - x_2 \sin \varphi_1,$$

а группа $U(1; \iota_2)$ действует по правилу

$$x'_1 = x_1, \quad x'_2 = x_2 + \varphi x_1, \quad y'_1 = y_1, \quad y'_2 = y_2 + \varphi y_1.$$

Относительно общих преобразований из группы $SU(2; \iota_2) \times U(1; \iota_2)$ в базе остается инвариантной величина $x_1^2 + y_1^2 = \text{inv}_1$, а в слое, т.е. при $x_1 = y_1 = 0$, сохраняется второй инвариант $x_2^2 + y_2^2 = \text{inv}_2$.

Второй тип контракций при $j_1 = 1, j_2 = \iota_2$ не дает ничего нового и приводит в точности к описанным в этом подразделе результатам. Более того, группа $SU(2; \iota_2) \times U(1; \iota_2)$ изоморфна группе $SU(2; \iota_1) \times U(1; \iota_1)$ предыдущего раздела, отвечающей второму типу распределения контракционных параметров.

Галилеева контракция $j_1 = \iota_1, j_2 = \iota_2$

При контракции по двум параметрам имеет место два типа контракций группы $SU(2)$, отличающиеся разным распределением контракционных параметров среди матричных элементов её фундаментального представления. В обоих случаях из (3) и (18) получаем $|\alpha_1|^2 = 1$, т.е. $\alpha_1 = \pm 1$, что означает наличие двух связанных компонент у контрактированной группы. Для определенности выберем $\alpha_1 = 1$, тогда из (2) находим матрицу представления группы $SU(2; \iota_1, \iota_2) \equiv SU(2; \iota)$ для контракции первого типа в виде

$$u(\iota) = \begin{pmatrix} 1 + \iota_2 i \alpha_2 & \iota_1 (\beta_1 + \iota_2 i \beta_2) \\ \iota_1 (-\beta_1 + \iota_2 i \beta_2) & 1 - \iota_2 i \alpha_2 \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} e^{\iota_2 i \alpha_2} & \iota_1 \beta_1 e^{\iota_2 i \beta_2 / \beta_1} \\ -\iota_1 \beta_1 e^{-\iota_2 i \beta_2 / \beta_1} & e^{-\iota_2 i \alpha_2} \end{pmatrix}, \quad \alpha_2, \beta_1, \beta_2 \in \mathbf{R}. \quad (39)$$

Формулы (8) при $j_1 = \iota_1, j_2 = \iota_2$ дают однопараметрические подгруппы

$$u_1(\omega_1; \iota) = \begin{pmatrix} 1 & \iota_1 \frac{i}{2} \omega_1 \\ \iota_1 \frac{i}{2} \omega_1 & 1 \end{pmatrix},$$

$$u_2(\omega_2; \iota) = \begin{pmatrix} 1 & \iota_1 \iota_2 \frac{1}{2} \omega_2 \\ -\iota_1 \iota_2 \frac{1}{2} \omega_2 & 1 \end{pmatrix},$$

$$u_3(\omega_3; \iota) = \begin{pmatrix} 1 + \iota_2 \frac{i}{2} \omega_3 & 0 \\ 0 & 1 - \iota_2 \frac{i}{2} \omega_3 \end{pmatrix}, \quad (40)$$

генераторы которых удовлетворяют коммутационным соотношениям

$$[T_1(\iota), T_2(\iota)] = 0, \quad [T_3(\iota), T_1(\iota)] = -T_2(\iota),$$

$$[T_2(\iota), T_3(\iota)] = 0 \quad (41)$$

и порождают алгебру Ли $su(2; \iota)$ с общим элементом вида (11)

$$\hat{T}(\iota) = \frac{i}{2} \begin{pmatrix} \iota_2 a_3 & \iota_1 (a_1 - i \iota_2 a_2) \\ \iota_1 (a_1 + i \iota_2 a_2) & -\iota_2 a_3 \end{pmatrix} = -(\hat{T}(\iota))^\dagger. \quad (42)$$

Пространство представления $\mathbf{R}_4(\iota)$ включает вектора типа $X(\iota)^t = (x_1, \iota_2 x_2, \iota_1 y_1, \iota_1 \iota_2 y_2)^t$, т.е. содержит две проекции: одна с расслоенной базой $\{x_1, \iota_2 x_2\}$ и такого же типа слоем $\{y_1, \iota_2 y_2\}$, другая с базой $\{x_1, \iota_1 y_1\}$ и слоем $\{x_2, \iota_1 y_2\}$. Обе проекции пересекаются по одномерному подпространству $\{y_2\}$, поэтому $\mathbf{R}_4(\iota)$ не может быть интерпретировано как полуевклидово пространство, поскольку последнее характеризуется последовательно вложенными проекциями. Согласно (6) группа $SU(2; \iota)$ действует в пространстве $\mathbf{R}_4(\iota)$ по формуле

$$x'_1 = x_1, \quad x'_2 = x_2 + \alpha_2 x_1, \quad y'_1 = y_1 - \beta_1 x_1,$$

$$y'_2 = y_2 - \alpha_2 y_1 + \beta_2 x_1 - \beta_1 x_2,$$

а группа $U(1; \iota)$ в соответствии с (7) по формуле

$$x'_1 = x_1, \quad x'_2 = x_2 + \varphi x_1, \quad y'_1 = y_1, \quad y'_2 = y_2 + \varphi y_1.$$

Относительно общих преобразований контрактированной группы $SU(2; \iota) \times U(1; \iota)$ имеются четыре инварианта: $\text{inv}_1 = x_1^2$; $\text{inv}_2 = x_2^2$ при $x_1 = 0$; $\text{inv}_3 = y_1^2$ при $x_1 = 0$; $\text{inv}_4 = y_2^2$ при $x_1 = x_2 = y_1 = 0$, на которые распадается инвариант (5). Связь дважды контрактированной специальной унитарной группы $SU(2; \iota)$ с группой движений плоскости Галилея подробно исследована в работе [9].

Для контракций второго типа (15) общий элемент группы $SU(2; \iota)$ в соответствии с (17) дается матрицей

$$\hat{u}(\iota) = \begin{pmatrix} 1 + \iota_1 \iota_2 i \alpha_2 & \iota_1 \beta_1 + \iota_2 i \beta_2 \\ -\iota_1 \beta_1 + \iota_2 i \beta_2 & 1 - \iota_1 \iota_2 i \alpha_2 \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} e^{\iota_1 \iota_2 i \alpha_2} & \iota_1 \beta_1 + \iota_2 i \beta_2 \\ -\iota_1 \beta_1 + \iota_2 i \beta_2 & e^{-\iota_1 \iota_2 i \alpha_2} \end{pmatrix}, \quad \alpha_2, \beta_1, \beta_2 \in \mathbf{R}. \quad (43)$$

Генераторы однопараметрических подгрупп с коммутаторами

$$[\hat{T}_1(\iota), \hat{T}_2(\iota)] = -\hat{T}_3(\iota), \quad [\hat{T}_3(\iota), \hat{T}_1(\iota)] = 0,$$

$$[\hat{T}_2(\iota), \hat{T}_3(\iota)] = 0 \quad (44)$$

порождают алгебру Ли $su(2; \iota)$, представляемую согласно (26) матрицами с нильпотентными элементами

$$\hat{T}(\iota) = \frac{i}{2} \begin{pmatrix} \iota_1 \iota_2 a_3 & \iota_1 a_1 - i \iota_2 a_2 \\ \iota_1 a_1 + i \iota_2 a_2 & -\iota_1 \iota_2 a_3 \end{pmatrix} = -(\hat{T}(\iota))^\dagger. \quad (45)$$

Пространство представления $\hat{\mathbf{R}}_4(\iota)$ включает векторы типа $\hat{X}(\iota)^t = (x_1, \iota_1 \iota_2 x_2, \iota_1 y_1, \iota_2 y_2)^t$. Оно не интерпретируется как пространство с полуевклидовой геометрией, поскольку содержит две проекции с общим подпространством $\{x_2\}$. Относительно общих преобразований из группы $SU(2; \iota)$

$$x'_1 = x_1, \quad x'_2 = x_2 + \alpha_2 x_1 + \beta_2 y_1 + \beta_1 y_2,$$

$$y'_1 = y_1 - \beta_1 x_1, \quad y'_2 = y_2 + \beta_2 x_1,$$

получаемых из (21), и общих преобразований из группы $U(1; \iota)$

$$x'_1 = x_1, \quad x'_2 = x_2 + \varphi x_1, \quad y'_1 = y_1, \quad y'_2 = y_2,$$

получаемых из (22), вместо одного инварианта (20) имеются четыре инварианта: $\text{inv}_1 = x_1^2$; $\text{inv}_2 = y_1^2$ при $x_1 = 0$; $\text{inv}_3 = y_2^2$ при $x_1 = 0$; $\text{inv}_4 = x_2^2$ при $x_1 = y_1 = y_2 = 0$.

Следует отметить, что обе дважды контрактированные группы (39), (43), а также пространства $\mathbf{R}_4(\iota)$ и $\hat{\mathbf{R}}_4(\iota)$ изоморфны, т.е. с алгебраической точки зрения представляют собой одну и ту же группу, одно и то же пространство. Например, переобозначая в пространстве $\hat{\mathbf{R}}_4(\iota)$ координату x_2 как y_2 , а координату y_2 как x_2 , получаем пространство $\mathbf{R}_4(\iota)$. Однако это разные группы и пространства с точки зрения приложений, где каждый генератор, каждый групповой параметр, каждая координата получают определенную интерпретацию, что выражается в присвоении перечисленным конструкциям определенных фиксированных номеров, которые в дальнейшем не меняются.

Работа поддержана программой Президиума Российской академии наук "Фундаментальные проблемы нелинейной динамики".

Литература

1. Виленкин Н.Я. Специальные функции и теория представлений групп. М.: Наука, 1965. 588 с.
2. Румер Ю.Б., Фет А.И. Теория унитарной симметрии. М.: Наука, 1970. 400 с.
3. Рубаков В.А. Классические калибровочные поля. М.: Эдиториал УРСС, 1999. 336 с.
4. Inonu E., Wigner E.P. On the contraction of groups and their representations, Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1953. V. 39. P. 510.
5. Громов Н.А. Контракции и аналитические продолжения представлений группы $SU(2)$ // Квантовые группы, дифференциальные уравнения и теория вероятностей. Сыктывкар, 1994. С. 3–16. (Труды Коми научного центра УрО РАН, N. 138).
6. Ефимов Д.Б. Инволюции алгебры Пименова и связанные с ними линейные группы. // Алгебра, геометрия и дифференциальные уравнения. Сыктывкар, 2003. С. 32–40. (Труды Коми научного центра УрО РАН, N. 174).
7. Пименов Р.И. Основы теории темпорального универсума. Сыктывкар: Коми НИЦ УрО РАН, 1991. 196 с.
8. Gromov N.A. The R.I. Pimenov unified gravitation and electromagnetism field theory as semi-Riemannian geometry. Ядерная физика, 2009. Т.72. N 5. С. 837–843; Physics of Atomic Nuclei, 2009. Vol. 72. No. 5. Pp. 794–800; arXiv:0810.0349v1 [gr-qc].
9. Ефимов Д.Б., Костяков И.В., Куратов В.В. О точных представлениях группы движений галилеевой плоскости. Вестник Сыктывкарского государственного университета, 2009. Сер.1. Вып. 10. С. 43–56.

ВЛИЯНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОРРЕЛЯЦИИ ДЕФЕКТОВ НА РАССЕЯНИЕ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ ОТ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ СВЕРХРЕШЕТКИ

В.И. ПУНЕГОВ

Коми научный центр УрО РАН, г. Сыктывкар

В рамках статистической теории дифракции рентгеновских лучей на полупроводниковой сверхрешетке исследовано влияние пространственной корреляции дефектов на угловое распределение интенсивности рассеяния. Проведено численное моделирование рентгеновской дифракции на сверхрешетке при наличии и отсутствии корреляционных эффектов. Впервые показано, что пиковые значения диффузного фона могут не совпадать с максимумами когерентного рассеяния.

Ключевые слова: диффузное рассеяние рентгеновских лучей, сверхрешетка, дефекты

V.I. PUNEGOV. INFLUENCE OF SPATIAL CORRELATION OF DEFECTS ON X-RAY SCATTERING FROM A SEMICONDUCTOR SUPERLATTICE

In the framework of the statistical theory of X-ray diffraction from semiconductor superlattice the influence of spatial defects correlation on the angular distribution of scattering intensity was investigated. A numerical simulation of X-ray diffraction on a superlattice in the presence and absence of correlation effects was carried out. It is shown that the maximums of the diffuse scattering cannot coincide with coherent peaks.

Key words: X-ray diffuse scattering, superlattice, defects

Известно, что интенсивность диффузного рассеяния рентгеновских лучей (РЛ) от сверхрешетки (СР) распределяется вокруг основного брэгговского пика и дифракционных сателлитов [1]. Теоретически данное физическое явление исследовано для модели гармонической СР [2]. Отмечено, что причиной такого поведения диффузного рассеяния является корреляция хаотически распределенных по объему СР структурных дефектов. В случае полупроводниковой сверхрешетки, когда период состоит из тонких слоев разного композиционного состава, теоретически обосновать формирование диффузного рассеяния вокруг сателлитных дифракционных порядков оказалось достаточно сложно [3]. Возникновение сателлитных диффузных пиков от полупроводниковой СР возможно лишь в случае, если структурные дефекты в разных слоях имеют пространственную корреляцию, что ранее не исследовалось. До этого корреляционные эффекты, вызванные структурными дефектами, учитывались только внутри отдельного слоя сверхрешетки [4].

С другой стороны, многочисленные экспериментальные результаты и теоретические разработки (см. [5] и приведенную в ней литературу) показывают, что при различных технологических процессах создания многослойных структур верхние слои, как правило, наследуют структурные особенности нижних слоев. Это относится, например, к корреляции межслойных шероховатостей в процессе формирования многослойных структур [6], морфо-

логическим изменениям гетерограниц [7], периодическому распределению точечных дефектов [8] и пространственному распределению квантовых точек [9] в полупроводниковых СР.

Настоящая работа посвящена разработке теории когерентного и диффузного рассеяния от полупроводниковой СР применительно к высоко разрешающей трехкристалльной дифрактометрии. Используя формализм [10] для амплитудного коэффициента когерентного рассеяния от N-периодной СР получаем

$$R^c(q_x, q_z) = iF_s(q_z)e^{i\psi} \frac{\sin(Ny)}{\sin(y)} W(q_x), \quad (1)$$

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

$$F_s(q_z) = a_1 f_1 \frac{\sin(A_1 l_1)}{A_1} + e^{iy} a_2 f_2 \frac{\sin(A_2 l_2)}{A_2}. \quad (2)$$

Здесь $a_{1,2}$ – рассеивающие способности первого (верхнего) и второго слоев периода СР, $f_{1,2}$ – статические факторы Дебая-Валлера, $l_{1,2}$ – толщины, $d_{1,2}$ – межплоскостные расстояния отражающих атомных плоскостей этих слоев. Величины $\varepsilon_1 = \Delta d_1/d$, $\varepsilon_2 = \Delta d_2/d$ определяют рассогласование межплоскостных расстояний слоев СР относительно подложки d , где $\Delta d_1 = d_1 - d$ и $\Delta d_2 = d_2 - d$. Определим $d_{SL} = (d_1 l_1 + d_2 l_2)/l$

как среднее межплоскостное расстояние сверхпериода, тогда

$$\varepsilon_{SL} = (d_{SL} - d) / d = (\varepsilon_1 l_1 + \varepsilon_2 l_2) / l \quad (3)$$

– деформация среднего межплоскостного расстояния CP относительно подложки. Эта величина определяет угловое положение основного (нулевого) пика CP относительно брэгговского угла θ_B подложки:

$$\omega_{SL} = -\tan(\theta_B) \varepsilon_{SL}.$$

Если не брать во внимание появление в (1) функции

$$W(q_x) = \int_0^{L_x} dx \exp(iq_x x),$$

где L_x – ширина засветки для ограниченной в латеральном направлении падающей рентгеновской волны, то решение (1) по своему виду совпадает с ранее полученным результатом для идеальной [11] и искаженной [4] сверхрешетки.

Более детальному анализу подлежит диффузное рассеяние рентгеновских лучей от случайных структурных нарушений CP. Будем исходить из общего решения [10] с учетом усреднения интенсивности рассеяния вдоль направления, перпендикулярного плоскости дифракции.

Диффузное рассеяние от нарушенного кристаллического слоя зависит от фазового фактора $\phi(x, z) = \exp(ihu(x, z))$, который запишем в виде суммы $\phi(x, z) = \bar{\phi}(x, z) + \delta\phi(x, z)$, где первое слагаемое $\bar{\phi}(x, z) = \exp(ih\langle u(x, z) \rangle)$ – описывает неслучайные крупномасштабные деформации в нарушенном кристаллическом слое. Хаотические атомные смещения, вызванные, например, распределенными в этом слое дефектами, задаются случайной фазовой функцией $\tilde{\phi}(x, z) = \exp(ih\delta u(x, z))$, при этом $f(x, z) = \langle \tilde{\phi}(x, z) \rangle$ – статический фактор Дебая-Валлера.

Пренебрегая первичной и вторичной экстинкцией короткопериодной CP, запишем выражение для интенсивности диффузного рассеяния

$$I_h^d(q_x, q_z) = \int_0^{L_z} dz \int_0^{L_x} dx |a_h|^2 (1 - f^2) \tau(x, z; q_x, q_z). \quad (4)$$

Здесь

$$\tau(x, z; q_x, q_z) = (1/2\pi) \int_{-\infty}^{+\infty} d\rho_x \int_{-\infty}^{+\infty} d\rho_z \exp(i[q_x \rho_x + q_z \rho_z]) \times \quad (5)$$

$$\bar{\phi}^*(x + \rho_x, z + \rho_z) \bar{\phi}(x, z) G(x, z; \rho_x, 0, \rho_z)$$

– площадь корреляции. Тип дефектов описывается корреляционной функцией

$$G(x, z; \rho_x, 0, \rho_z) =$$

$$\frac{\langle \exp(ih[\delta u(x + \rho_x, z + \rho_z) - \delta u(x, z)]) \rangle}{1 - f^2(x, z)}. \quad (6)$$

Нарушения в CP могут образовываться как в отдельных слоях периода CP, так и по всему периоду. Возможен случай, когда дефекты формируются, например, в верхнем слое периода CP и частично проникают в нижний слой этого периода. Иными

словами, диффузное рассеяние возникает из-за наличия дефектов в определенном пространстве периода CP, например, в нарушенном слое толщиной $l_D \leq l$, причем это пространство не обязательно связано с границами слоев периода. Такие характерные нарушения периодически повторяются по всей толщине сверхрешетки.

Средняя деформация решетки периодически расположенных нарушенных слоев

$$\varepsilon_{SL}^D = (\varepsilon_1 l_1^D + \varepsilon_2 l_2^D) / l_D \quad (7)$$

может отличаться от средней деформации CP ε_{SL} ,

где $l_{1,2}^D$ – толщины нарушенных участков в слоях периода CP, $l_D = l_1^D + l_2^D$.

Фазовая функция крупномасштабных искажений $\bar{\phi}(x, z)$ представлена в виде произведения:

$$\bar{\phi}(x, z) = \bar{\phi}_{SL}(x, z) \bar{\phi}_L(x, z), \text{ при этом первый со-}$$

множитель $\bar{\phi}_{SL}(x, z)$ описывает периодические деформации в вертикальном направлении

$$\bar{\phi}_{SL}(x, z + l) = \bar{\phi}_{SL}(x, z) \text{ и зависит от средней при-}$$

веденной деформации ε_{SL}^D для нарушенного слоя отдельного периода CP. Второй сомножитель $\bar{\phi}_L(x, z)$ описывает деформации CP в латеральном направлении.

Если в горизонтальном направлении CP однородна, т.е. отсутствует латеральная модуляция композиционного состава, то $\bar{\phi}_L(x, z) = 1$. С другой стороны, если один из слоев CP содержит спонтанно организованные наноструктуры в виде квантовых нитей или квантовых точек, то $\bar{\phi}_L(x, z)$ описывает пространственную корреляцию нанообъектов (ближний или дальний порядок их расположения).

При наличии строгой вертикальной модуляции композиционного состава $\bar{\phi}_{SL}(x, z) = \bar{\phi}_{SL}(z)$ является периодической функцией вдоль направления z , поэтому ее можно разложить в ряд Фурье:

$$\bar{\phi}_{SL}(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} B_n \exp(inK_z z), \quad (8)$$

где $K_z = 2\pi/l$ – период модуляции сверхрешетки в обратном пространстве (расстояние между дифракционными сателлитами). Учитывая, что в выражении для коррелятора быстро осциллирующими членами можно пренебречь, получаем

$$\bar{\phi}_{SL}^*(z + \rho_z) \bar{\phi}_{SL}(x, z) \approx \sum_{n=-\infty}^{\infty} |B_n|^2 \exp(-inK_z \rho_z).$$

Фурье-коэффициенты находятся вычислением ин-

$$\text{теграла } B_n = \frac{1}{l} \int_0^l \bar{\phi}_{SL}(z) \exp(-inK_z z) dz.$$

Учет латерального распределения дефектов приводит к следующему выражению для корреляционной площади

$$\bar{\tau}(q_x, q_z) = L(q_x) \sum_{n=-\infty}^{\infty} |B_n|^2 \bar{\tau}_n(q_x, q_z). \quad (9)$$

Здесь этот параметр записан в виде суммы локальных корреляционных площадей соответствующих дифракционных порядков $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

$$\bar{\tau}_n(q_x, q_z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} d\rho_x \int_{-\infty}^{+\infty} d\rho_z \times \quad (10)$$

$\exp(i[q_x \rho_x + (q_z - nK_z - h\varepsilon_{SL}^D)\rho]) G_{SL}(\rho_x, 0, \rho_z)$,
где $G_{SL}(\rho_x, 0, \rho_z)$ – корреляционная функция дефектов в нарушенном слое периода СР.
Стоящий в выражении (6) перед суммой множитель

$$L(q_x) = \left(\int_{-\infty}^{+\infty} C_L(\rho_x) d\rho_x \exp(iq_x \rho_x) \right)$$

определяется через корреляционную функцию $C_L(\rho_x) = \bar{\phi}_L^*(x + \rho_x) \bar{\phi}_L(x)$ и характеризует пространственную упорядоченность в распределении дефектов в латеральном направлении. Если в нарушенном слое M дефектов, то в рамках дискретного распределения [12]

$$L(q_x) = 1 +$$

$$\frac{2}{M} \operatorname{Re} \left(\left(\frac{Z(q_x)(1 - Z(q_x))^M - (1 - Z(q_x))^M}{(1 - Z(q_x))^2} \right) \right), \quad (11)$$

где $Z(q_x) = f(q_x) \exp(iq_x \bar{T})$, $f(q_x) = \langle \exp(iq_x \delta T) \rangle$ – эффективный фактор латерального порядка.

Здесь $T = \bar{T} + \delta T$ – расстояние между соседними дефектами, δT – случайные отклонения от среднего значения $\bar{T}$. Влияние пространственной (латеральной) корреляции на диффузное рассеяние от латеральных неоднородностей детально исследовано в [12-14].

Решение для углового распределения диффузного рассеяния от сверхрешетки имеет вид

$$I_h^d(q_x, q_z) = |a_h^D|^2 (1 - f_D^2) \bar{\tau}(q_x, q_z) L_z L_x, \quad (12)$$

где $a_h^D = (a_{11}^D + a_{22}^D) / l_D$ – рассеивающая способность и $f_D = (f_{11}^D + f_{22}^D) / l_D$ – средний статический фактор Дебая-Валлера нарушенного слоя в структуре периода СР.

Если сверхрешетка в латеральном направлении однородна и отсутствуют корреляционные эффекты между слоями СР, то в (5), с учетом $\bar{\phi}_{SL}(x, z) = \exp(ih\varepsilon_{1,2}z)$ для первого слоя с деформацией $\varepsilon_1 = \Delta d_1 / d$ и второго с $\varepsilon_2 = \Delta d_2 / d$, получаем

$$\bar{\phi}^*(x + \rho_x, z + \rho_z) \bar{\phi}(x, z) = \exp(ih\varepsilon_{1,2}\rho_z).$$

В результате площадь корреляции периода СР представляется в виде суммы для верхнего и нижнего слоев

$$\tau_s(x, z; q_x, q_z) = \tau_1(x, z; q_x, q_z) + \tau_2(x, z; q_x, q_z), \quad \text{где}$$

$$\tau_{1,2}(x, z; q_x, q_z) = (1/2\pi) \int_{-\infty}^{+\infty} d\rho_x \int_{-\infty}^{+\infty} d\rho_z \times \quad (13)$$

$$\exp(i[q_x \rho_x + (q_z + h\varepsilon_{1,2})\rho_z]) G_{1,2}(x, z; \rho_x, 0, \rho_z).$$

Здесь $G_{1,2}(x, z; \rho_x, 0, \rho_z)$ – корреляционные функции дефектов первого и второго слоев периода СР. Интенсивность диффузного рассеяния от одного периода СР, например с номером n , запишется в виде

$$I_n^d(q_x, q_z) = \int_0^{L_z} dx \left(\int_0^{L_x} d\ddagger a_1|^2 (1 - f_1^2) \tau_1(x, z; q_x, q_z) + \int_0^{L_x} d\ddagger a_2|^2 (1 - f_2^2) \tau_2(x, z; q_x, q_z) \right) \quad (14)$$

По своей структуре выражение (14) совпадает с соответствующим решением для двухкристалльной дифрактометрии [4]. Поскольку рентгеновские кванты, проходя каждый период СР, испытывают фотопоглощение, то диффузное рассеяние от сверхрешетки, состоящей из N периодов, примет вид

$$I_h^d(q_x, q_z) \approx \sum_{n=1}^N I_n^d(q_x, q_z) \exp(-\mu l[n-1]). \quad (15)$$

В этом выражении $\mu = (\mu_1 l_1 + \mu_2 l_2) / l$ – средний коэффициент поглощения периода СР, где $\mu_{1,2}$ – коэффициенты поглощения рентгеновских лучей первого и второго слоев периода СР, соответственно.

Численное моделирование карт и сечений распределения интенсивностей рассеяния от сверхрешетки проведено на основе решений (1) и (12), (15). Использовались параметры, соответствующие (004) – отражению перпендикулярно поляризованного CuK_α – излучения [15]. Модель сверхрешетки состояла из подложки GaAs, на которой находилась многослойная десятипериодная структура InGaAs/GaAs. Толщина слоя InGaAs составляла 40 нм, слоя GaAs – 60. Средняя относительная деформация решетки СР относительно подложки $\varepsilon_{SL} = 1.4 \times 10^{-3}$, что соответствовало угловому сдвигу в обратном пространстве $\Delta q_z^{(0)} = -0.064 \text{ nm}^{-1}$. Статический фактор Дебая-Валлера первого слоя периода СР GaAs $f_1 = 0.7$, второго слоя InGaAs $f_2 = 0.5$. Дифракция рентгеновских лучей от подложки вычислялась на основе уравнений динамической теории рассеяния.

Сначала рассмотрим случай, когда отсутствует корреляция структурных нарушений между слоями СР. Размеры блоков мозаики в вертикальном направлении для InGaAs соответствовали толщине слоя, для GaAs – половине толщины слоя. В латеральном направлении в обоих слоях корреляционные длины были равны 80 нм. На рис. 1 показаны q_z -сечения когерентного, диффузного и полного рассеяния рентгеновских лучей (рис.1а), а также карты когерентного (рис.1б) и полного (рис.1с) рассеяния в обратном пространстве. В отсутствии межслойной корреляции дефектов формируются два пика диффузного рассеяния при значениях $q_z^{(\text{GaAs})} = 0$ и $q_z^{(\text{InGaAs})} = -160 \mu\text{m}^{-1}$. Эти угловые положения соответствуют деформациям в слоях сверхрешетки.

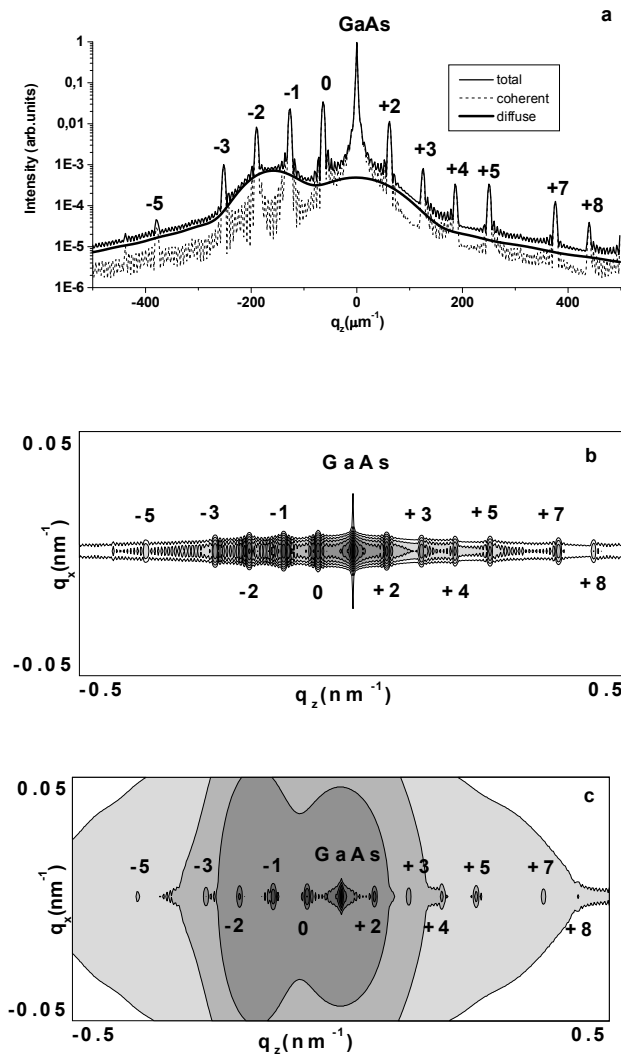


Рис. 1. Дифракция рентгеновских лучей на InGaAs/GaAs сверхрешетке в отсутствии межслойной корреляции дефектов.
а – расчетные q_z -сечения когерентной, диффузной и полной интенсивности рассеяния от сверхрешетки; б – карта распределения интенсивности когерентного рассеяния от СР вблизи узла (004) обратной решетки; с – карта распределения интенсивности полного (когерентного и диффузного) рассеяния от СР вблизи узла (004) обратной решетки.

В случае, когда корреляция дефектов выходит за пределы отдельного слоя, диффузное рассеяние имеет осцилляционную структуру с периодом $q_z^{(SL)} = 63 \mu\text{m}^{-1}$ (рис.2). Для однородно распределенных дефектов максимумы диффузного рассеяния совпадают с пиками когерентного рассеяния.

Если дефекты, например, в GaAs преимущественно сосредоточены только на одной половине толщины слоя, при этом вторая половина имеет идеальную кристаллическую решетку, максимумы диффузного рассеяния сдвигаются в сторону меньших углов (рис.3). Следует отметить, что период осцилляций диффузной компоненты при этом не изменяется. Этому эффекту можно дать следующее объяснение. Выход диффузного рассеяния осуще-

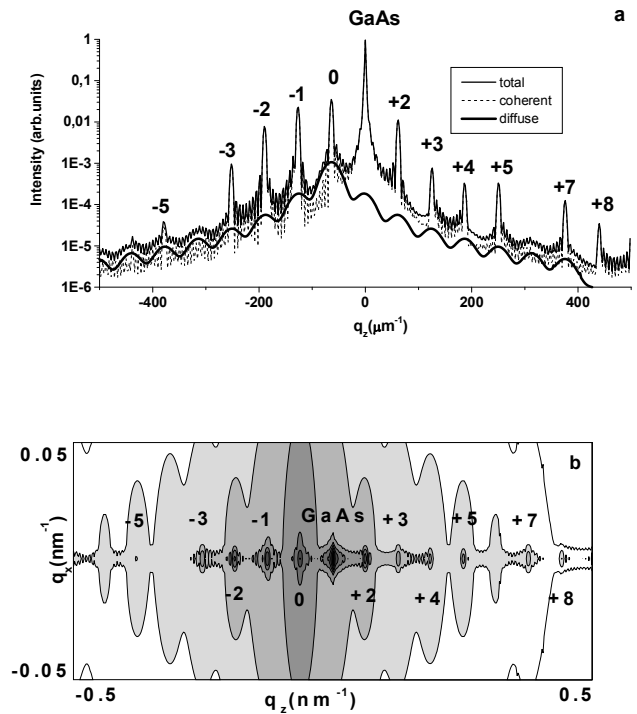


Рис. 2. Дифракция рентгеновских лучей на InGaAs/GaAs сверхрешетке при наличии межслойной корреляции однородно распределенных дефектов.
а – расчетные q_z -сечения когерентной, диффузной и полной интенсивности рассеяния сверхрешетки; б – карта распределения интенсивности когерентного и диффузного рассеяния от СР вблизи узла (004) обратной решетки.

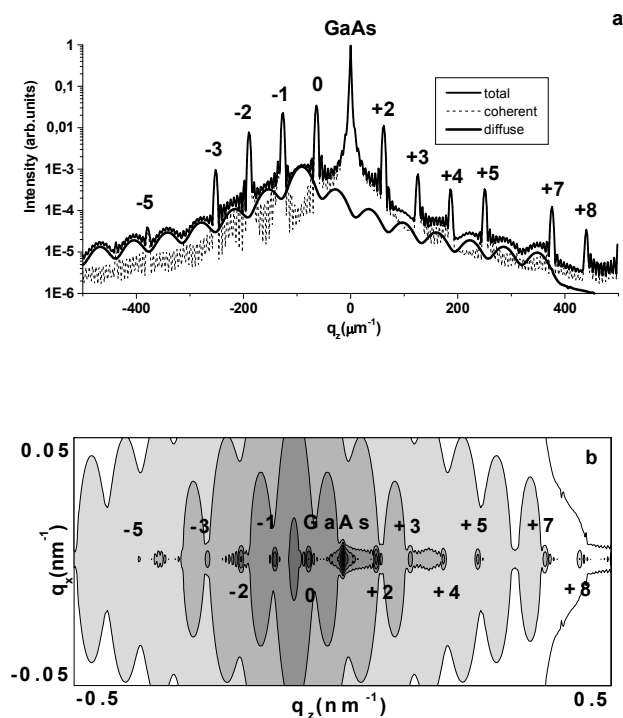


Рис. 3. Дифракция рентгеновских лучей на InGaAs/GaAs сверхрешетке при наличии межслойной корреляции неоднородно распределенных дефектов.

a – расчетные q_x – сечения когерентной, диффузной и полной интенсивности рассеяния сверхрешетки; b – карта распределения интенсивности когерентного и диффузного рассеяния от СР вблизи узла (004) обратной решетки.

ствляется полностью из слоя InGaAs и частично из слоя GaAs, поскольку вторая половина этого слоя дефектов не содержит. Так как периодическая структура для некогерентного рассеяния в вертикальном направлении сохраняется, при этом изменяется только толщина, с которой выходит диффузное рассеяние, а период остается прежним, расстояния между максимумами диффузного рассеяния такое же, как для однородного распределения дефектов (рис. 2, 3). Согласно (7), средняя деформация «дефектной сверхрешетки» $\varepsilon_{SL}^D = (\varepsilon_1 l_1^D + \varepsilon_2 l_2^D) / l_D = (\varepsilon_1 l_1 / 2 + \varepsilon_2 l_2) / (l_1 / 2 + l_2) = 2 \cdot 10^{-3}$. Нулевой максимум диффузного рассеяния в этом случае сдвинут на $\Delta q_z^{(diff)} = -0.091 \text{ nm}^{-1}$, а осцилляции диффузной компоненты приблизительно находятся между когерентными пиками (рис.3).

Таким образом, максимумы интенсивности диффузного рассеяния от СР могут быть сдвинуты относительно когерентных пиков, при этом среднее межплоскостное расстояние когерентной сверхрешетки может отличаться от такого же среднего параметра СР, сформированной из участков, содержащих структурные дефекты.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 07-02-00090-а) и Программы развития вычислительных, телекоммуникационных и информационных ресурсов УрО РАН – РЦП-2009 (проект П2).

Литература

1. Herres N., Fuchs F., Schmitz J., Pavlov K.M., Wagner J., Ralston J.D., Koidl P., Gadaleta C., Scamarcio G. Effect of interfacial bonding on the structural and vibrational properties of InAs/GaSb superlattices // Phys. Rev. B., 1996. Vol. 53. № 23. P. 15688-15705.
2. Пунегов В.И., Павлов К.М. Кинематическая теория рентгеновской дифракции на гармонической сверхрешетке с микродефектами // Кристаллография, 1993. Т.38. N 5. С. 34-42.
3. Пунегов В.И. Рентгеновская дифракция на полупроводниковой сверхрешетке с микродефектами // Письма в ЖТФ, 1992. Т.18. N4. С.66-70.
4. Пунегов В.И. Погашение сателлитных максимумов сверхрешетки с периодически распределенными дефектами // ФТТ, 1995. Т.37. N4. С. 1134-1148.
5. Pietsch U., Holy V., Baumbach T. *High Resolution X-ray Scattering – from Thin Films to Lateral Nanostructures*. New York. Springer Verlag, 2004. 408 p.
6. Бушнев В.А., Козак В.В. Эволюция корреляции межслойных шероховатостей в процессе формирования многослойных структур // Письма в ЖТФ, 1996. Т. 22. № 19. С. 29-33
7. Shilkrot L.E., Srolovitz D.J., Tersoff J. Morphology evolution during the growth of strained-layer superlattices // Phys. Rev. B, 2000. Vol. 62. P. 8397-8409.
8. Fukushima S., Otsuka N. X-ray diffraction analysis of the structure of antisite arsenic point defects in low-temperature-grown GaAs layer // J. Appl. Phys., 2007. Vol. 101. P. 1-7.
9. Леденцов Н.Н., Устинов В.М., Шукин В.А. и др. Гетероструктуры с квантовыми точками: получение, свойства, лазеры // ФТП, 1988. Т.32. № 4. С.385-410.
10. Nesterets Ya.I., Punegov V.I. The statistical kinematical theory of X-ray diffraction as applied to reciprocal-space mapping// Acta Cryst. A, 2000. Vol. A56. N.6. P. 540-548.
11. Speriosu V.S., Vreeland T. X-ray rocking curve analysis of superlattices// J.Appl. Phys, 1984. Vol.56. №6. P.1591-1600.
12. Пунегов В.И., Ломов А.А. Теория дифракции рентгеновских лучей в нанопористых кристаллах с латеральной квазипериодичностью// Письма в ЖТФ, 2008. Т. 34. Вып. 6. С.30-35.
13. Бушнев В.А. Влияние пространственной корреляции квантовых точек на диффузное рассеяние рентгеновского излучения // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 2007. N 9. С.29-34.
14. Punegov V.I, Lomov A.A., Shcherbachev K.D. Characterization of InP porous layer by high-resolution x-ray diffraction// Physica Status Solidi (a), 2007. Vol. 204, N8. P. 2620-2625.
15. S.A. Stepanov, <http://sergey.gmca.aps.gov>

УДК 661.882.27:666.65:549.057

РАЗРАБОТКА НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ

Б.А. ГОЛДИН, В.Э. ГРАСС, П.В. ИСТОМИН, Н.А. СЕКУШИН, Ю.И. РЯБ-КОВ

Институт химии Коми НЦ УрО РАН, г.Сыктывкар

Приведены результаты исследования процессов формирования наноструктурированных композиционных материалов при вакуум-термической обработке природных и модельных синтетических смесей, содержащих оксидные соединения титана. Описаны процессы формирования наноламинатов на основе карбосилицида титана. Синтезирован керамический силикато-ферропсевдобрукитовый композиционный материал, выявлено влияние минерализатора на образование в его составе изотропной нанодисперсноупрочненной фазы. Описаны микроструктура, химический и фазовый составы, исследованы механические и электрофизические характеристики полученных материалов.

Ключевые слова: композиционные материалы, наноламинаты, наноструктурирование материалов, ильменит, лейкоксеновый концентрат, вакуум-термическая обработка, ферротитанат

B.A. GOLDIN, V.E. GRASS, P.V. ISTOMIN, N.A. SEKUSHIN, Y.I. RYABKOV. DEVELOPMENT OF NANOSTRUCTURE CERAMIC COMPOSITES

The results of the investigations of the structure formation of nanocomposites during high temperature treating in vacuum of native and synthetic titanium oxides have been discussed. The processes of the phase formation of carbid-silicide titanium nanolaminates and some phases in silicate-ferrous-pseudobrookite ceramic-glass composite have been described. The correlations of the structure and the mechanical and electrical properties of the nanocomposites have been found.

Key words: nanocomposites, nanolaminates, ilmenite, vacuum and high-temperature treatment, carbid-silicide titanium, ferromaterials

Создание композиционных материалов требует решения комплекса физико-химических проблем, связанных с разработкой методов и способов синтеза индивидуальных веществ и их совместности с целью получения нового композитного продукта с более высокими характеристиками [1,2,3]. Это основная цель, которую стремятся достичь материаловеды. На стадиях химического синтеза формируются фрагменты вещества, начиная от отдельных молекул, моноатомных слоев, различных нанообразований (10-100 атомных радиусов), их свойства существенно отличаются от свойств веществ, в которых нет обособленных фрагментов с такими размерами. На это указывают многочисленные исследования последних лет [4-10]. При этом отмечаемая многими исследователями и разработчиками твердотельных материалов невоспроизводимость технических характеристик может быть отнесена, в частности, к наличию нанонеоднородностей в структуре материалов. В связи с этим, одной из важных задач материаловедов на

современном этапе является исследование закономерностей формирования нано- или субмикроструктуры материалов, включая керамические или композиционные, и установление корреляций строение материала – его свойства.

В качестве объектов исследования выбраны титан-содержащие концентраты природного сырья и его синтетические модельные аналоги, а также продукты их термохимической переработки, в которых выявлены признаки наноструктурирования.

В настоящее время промышленное применение технологий высокотемпературной обработки лейкоксеновых и ильменит-лейкоксеновых концентратов ограничивается получением титановой лигатуры и ряда промежуточных продуктов для производства губчатого титана и титановых пигментов. Очевидно, что технологический потенциал методов термохимической конверсии титанового сырья далеко не исчерпан, что естественным образом определяет актуальность исследований в данной области. В связи с этим нами проводится изучение воз-

возможностей использования титаноксидных концентратов в качестве исходного сырья для получения конструкционных и функциональных ферротитановых материалов.

Керамические наноламинаты

Ранее нами было показано [11-15], что в результате вакуумной карботермической переработки титановых руд, в частности, лейкоксена Ярегского месторождения могут быть получены бескислородные соединения титана и кремния, например, карбидосилицид титана с нанослоистой структурой – наноламинат (рис.1). Последующие исследования позволили установить закономерности процессов, обеспечивающих достижение высокого и стабильного содержания в продуктах высокотемпературной восстановительной обработки титаноксидных смесей наноструктурированной фазы карбидосилицида титана Ti_3SiC_2 . При термообработке лейкоксенового концентрата (см. таблицу) с добавлением 28 мас.% активированного угля марки АУ выход целевого продукта может достигать 75 – 80 мас.%.

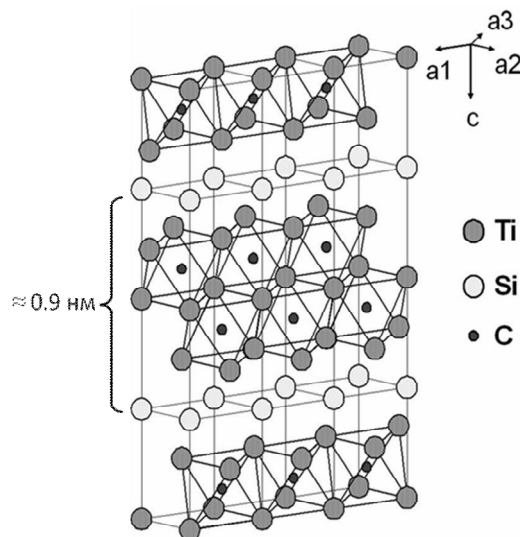
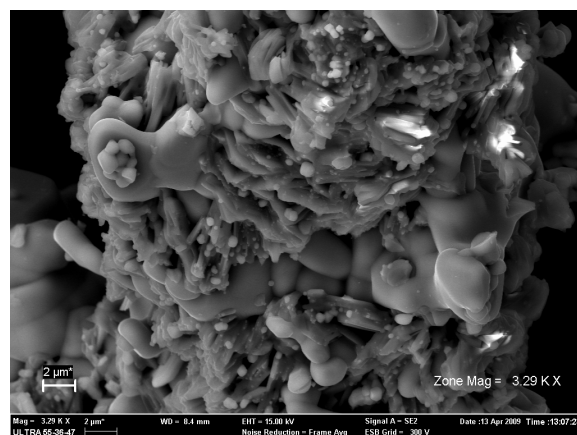
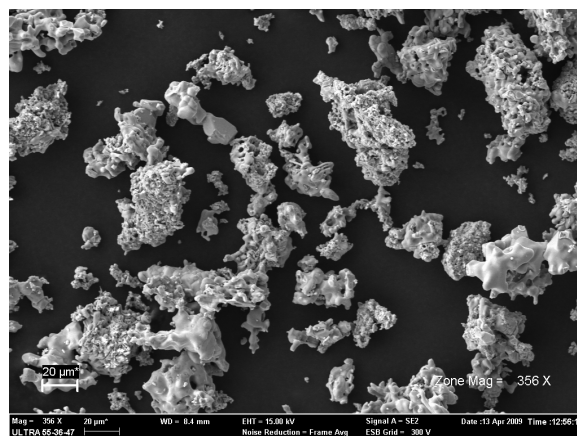


Рис.1. Кристаллическая структура Ti_3SiC_2 . (Представлен фрагмент, состоящий из трёх элементарных ячеек. Пр.гр. $R\bar{6}_3/mmc$; $a = 3.065$ нм; $c = 1.7635$ нм).

Продукты карботермической переработки представляют собой агломераты карбидных фаз. На рис. 2 приведены микрофотографии продуктов восстановления. Зерна карбида титана TiC имеют изометрическую форму, размер зёрен составляет около 1 мкм, иногда может доходить до нескольких микрометров. Форма зерен карбидосилицида титана Ti_3SiC_2 – пластинчатая. Толщина пластинок, как правило, менее 1 мкм, ширина в среднем 5 – 10 мкм. Пластины образуют крупные сростки, внутри которых зёрна имеют общую ориентацию в направлении из глубины сростка наружу. Подобное строение может быть обусловлено особенностью кристаллизации Ti_3SiC_2 в результате протекания вторичных реакций силицирования TiC . Чтобы реализовать рост зёрен Ti_3SiC_2 , требуется обеспечить транспорт кремния вглубь реагирующего материала. При этом диффузия атомов кремния вдоль ба-

Нормированный атомный состав (без учета легких элементов) исходных лейкоксенового концентрата, ильменит-лейкоксенового концентрата и продуктов его вакуум-термической обработки МИЛК по данным количественного рентгенофлуоресцентного анализа

Элементы	Лейкоксеновый концентрат, ат. %	Ильменит-лейкоксеновый концентрат		Продукт вакуум-термической обработки МИЛК	
		мас. %	ат. %	мас. %	ат. %
Ti	60,0	52.43	49.1	46.91	41.7
Fe	7,55	28.63	22.7	29.44	22.6
Si	25,58	12.38	19.6	11.68	17.9
Al	7,21	3.43	5.8	2.15	3.4
Mn		2.01	1.8	1.78	1.3
K	0,1	0.57	0.7	0.52	0.6
Zn		0.19	0.1	–	–
Ca		–	–	0.16	0.2
Sr		0.22	0.1	0.11	<0.1
Nb	0,01	0.10	<0.1	0.08	<0.1
Zr		0.04	<0.1	0.05	<0.1
Y		–	–	0.04	<0.1
Mg		–	–	7.08	12.3



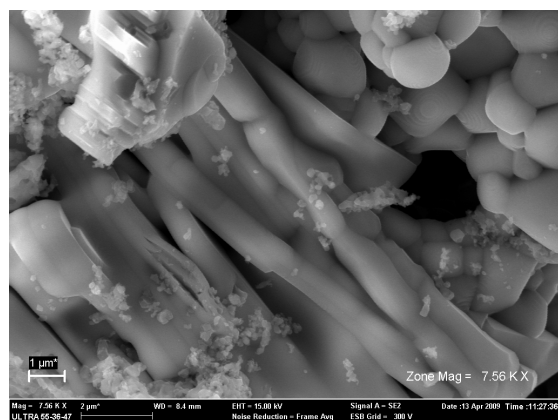
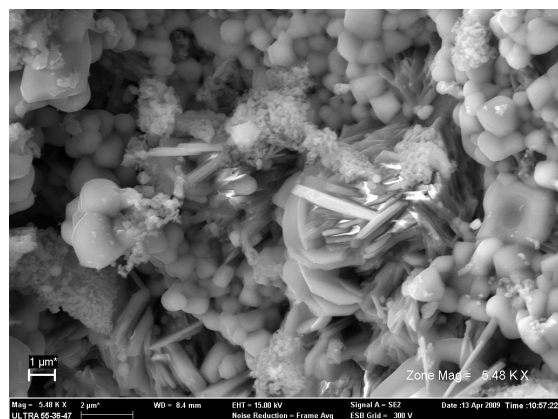
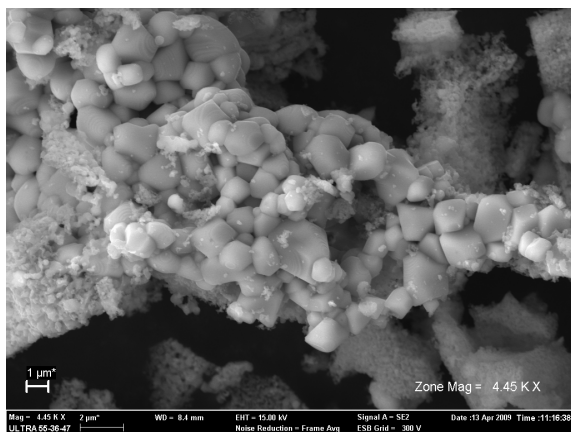


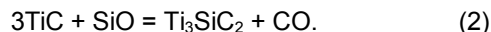
Рис.2. Микроизображения агломерированных продуктов вакуумной карботермической переработки лейкоксенового концентрата (СЭМ в режиме вторичных электронов).

зальной плоскости кристаллической решётки Ti_3SiC_2 на несколько порядков выше, чем в других направлениях. Поэтому и рост зёрен будет идти преимущественно по этим направлениям таким образом, что зерно начнет прорастать вглубь, образуя специфическим образом ориентированные пластины.

При содержании активированного угля в исходной шихте более 28 мас. % в продуктах восстановления, помимо основных фаз, обнаруживается кубический карбид кремния, образующий крупные агломераты сложной формы, состоящие из частиц субмикронного размера. Форма агломератов повторяет форму частиц активированного угля, имеющего древесное происхождение. Такое "копирование" объясняется механизмом карбидизации кремния, которая, как известно, происходит в результате переноса SiO на углеродистый материал (реакция 1):



Общая схема фазовых превращений при вакуумном карботермическом восстановлении лейкоксена включает два основных параллельно протекающих процесса: 1) восстановление оксидов титана с последующей карбидизацией; 2) газификация оксида кремния. Формирование фазы Ti_3SiC_2 происходит на заключительных стадиях карботермического процесса в результате силицирования карбидов и оксикарбидов титана с высоким содержанием углерода парами SiO. Для стехиометрического карбида титана этот процесс описывается реакцией:



Конкурирующим по отношению к реакции 2 является процесс карбидизации кремния по реакции 1. Это может существенно уменьшить выход Ti_3SiC_2 как целевого продукта карботермического восстановления. Однако необходимым условием для реализации такого нежелательного сценария является наличие свободного углерода на заключительных этапах карботермического восстановления, что возможно лишь при высоких концентрациях углеродистых материалов в исходной шихте (сверх того, что требуется для конверсии TiO_2 в TiC и SiO_2 в SiO). Таким образом, можно заключить, что при вакуумной карботермической переработке лейкоксена существует оптимальная концентрация по углероду, при которой достигается максимальный выход Ti_3SiC_2 . В случае использования лейкоксенового концентрата (таблица) эта концентрация составляет приблизительно 28 мас. %

Карбидосилицид титана (Ti_3SiC_2) относится к классу керамических наноламинатов. Его кристаллическая структура (рис. 1) представляет собой послойную упаковку блоков карбида титана, разделённых гексагональными монослоями атомов кремния. Химическая связь между кремниевыми слоями и карбидными фрагментами относительно слабая, что позволяет рассматривать Ti_3SiC_2 как наноламинат – слоистый композит с наноразмерным периодом чередования слоев. Слоистое строение даёт возможность локально деформировать зерна Ti_3SiC_2 при механических нагрузках без макроскопического разрушения материала. Это обеспечивает Ti_3SiC_2 уникальные для керамических материалов

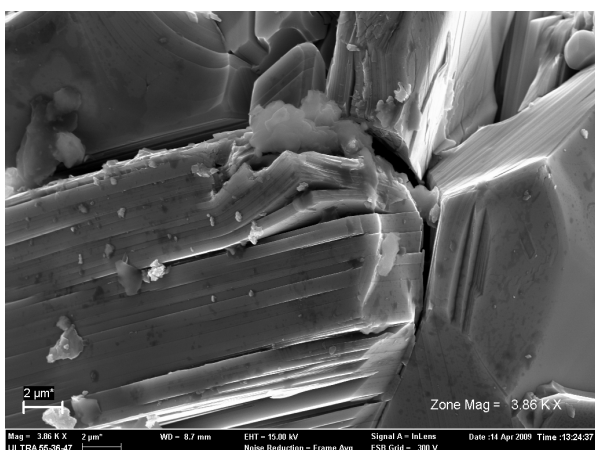
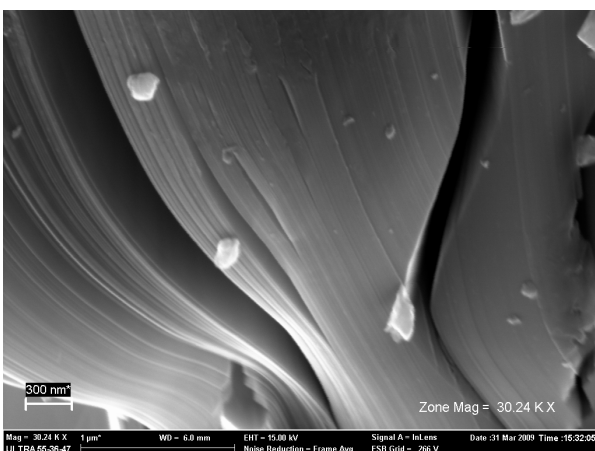
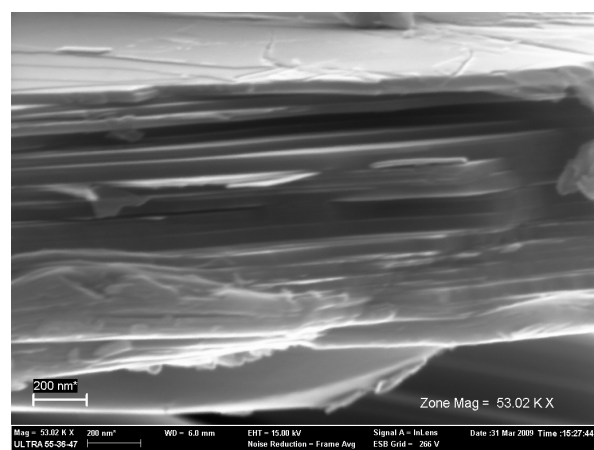
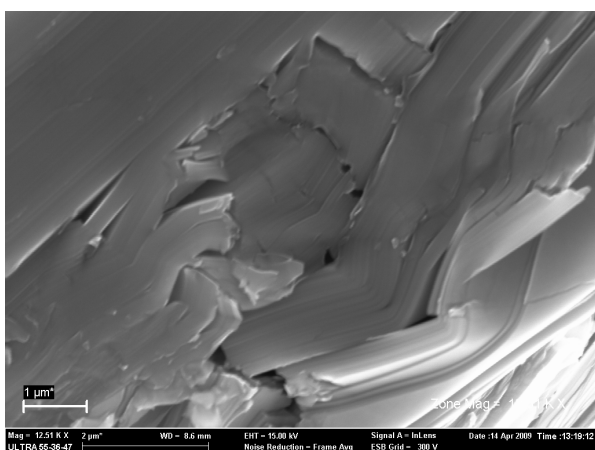
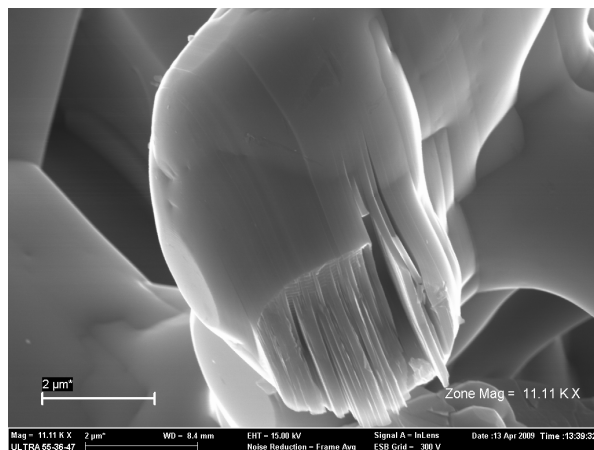
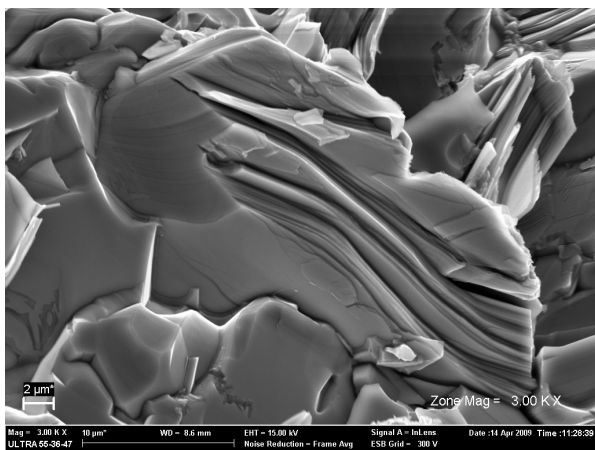


Рис. 3. Слоистость и деформации зерен Ti_3SiC_2 (СЭМ в режиме вторичных электронов).

характеристики, такие как трещиностойкость, нечувствительность к термоудару, хорошая механическая обрабатываемость. Исходя из уникальности свойств, можно обозначить перспективы использования материалов на основе Ti_3SiC_2 – это конструкционная и электротехническая керамика для нагруженных конструкций сложной формы, работающих в условиях высоких температур, агрессивных сред, механических и термических ударов.

Слоистое строение Ti_3SiC_2 отлично наблюдается с помощью сканирующей электронной микроскопии. На микрофотографиях, представленных на рис. 3, хорошо видны границы между слоями. Слои образуют плотные упаковки индивидуальных зерен Ti_3SiC_2 . В среднем толщина каждого слоя составляет 20 – 50 нм, что позволяет рассматривать Ti_3SiC_2 как наноструктурированный материал. В местах разрушения зёрна Ti_3SiC_2 деформируются. Характер деформации не типичен для большинства керамических материалов. В основном он проявляется через расслаивание, изгиб и сминание зерен. При этом механическая энергия разрушения преобразуется в энергию деформации, препятствуя распространению трещин в спеченных материалах.

Оксидная наноструктурированная керамика

Титанаты железа псевдобрукитового ряда с общей формулой $\text{Fe}_{1+x}\text{Ti}_{2-x}\text{O}_5$ ($0 \leq x \leq 1$) уже более ста лет являются предметом постоянного интереса специалистов во многих областях науки, в частно-

сти, в минералогии [16], химии и физике твердого тела [17-22], металлургии [23-24], материаловедении [25,26]. Активные исследования с привлечением методов рентгено- и нейтронографии, ЭПР и мёссбауэровской спектроскопии [19,27] позволили установить их структурные характеристики, изучить свойства, определить возможности практического применения. Так, весьма многообещающе выглядят перспективы использования подобных соединений в производстве материалов для радиоэлектроники. Обладая свойствами магнитных полупроводников, в последние годы титанаты железа всё чаще привлекают внимание исследователей как основа радиационно устойчивых магнитоэлектронных и спинтронных устройств [26,28].

В настоящее время известны различные способы синтеза соединений псевдобрукитового типа [20,29], в том числе с использованием минерального сырья. Последние, при наличии гибкого производственного регламента, позволяющего адаптировать технологические процессы к конкретным сырьевым материалам с учётом их индивидуальных особенностей, имеют очевидные технико-экономические преимущества. Основные проблемы в подобных случаях связаны с решением вопросов воспроизводимости и устойчивости эксплуатационных характеристик конечной продукции.

В качестве исходного материала для синтеза титанатов железа использовался ильменит-лейкоксеновый концентрат, полученный в результате электромагнитного (с помощью минералогического магнита МРМ-1) извлечения рудной составляющей из россыпей Пижемского титанового месторождения (Республика Коми). Результаты рентгенофлуоресцентного и рентгенодифракционного анализов ильменит-лейкоксенового концентрата выявили присутствие рутила (32 мол. %), анатаза (3 мол. %), кварца (30 мол. %) и ильменита (35 мол. %). Химический состав приведен в таблице. Кристаллическая структура последнего сильно искажена, что объясняется трансформацией его структуры при лейкоксенизации [30].

Предварительно измельченный ильменит-лейкоксеновый концентрат смешивался с модифицирующими добавками: MgO в количестве 6 мас. % и $Mg_3(BO_3)_2$ – 0.5 мас. %. Полученный порошок модифицированного ильменит-лейкоксенового концентрата (МИЛК) компактировали методом холодного прессования и подвергали термической обработке в вакуумной электропечи СШВЭ-1.2,5/25-И2 при непрерывном режиме нагрева до 1200 °С со скоростью 300 град/час и с продолжительностью выдержки при максимальной температуре 1 час. Испытания полученных образцов включали гидростатическое измерение кажущейся плотности и пористости материалов, а также определение прочности при трёхточечном изгибе. Химический и фазовый составы образцов контролировались методами рентгенофлуоресцентной спектроскопии (Horiba MESA-500W) и рентгеновской дифрактометрии (Shimadzu XRD-6000). Полнопрофильный анализ рентгенодифракционных данных проводился с помощью программы POWDER CELL v. 2.4 [31] и базы данных ICSD [32]. Микроструктура материалов исследовалась методами оптической микро-

скопии (ЛОМО Полам Р-312), сканирующей электронной микроскопии и микрозондового энергодисперсионного анализа (Jeol JSM-6400). Электрофизические свойства образцов изучались с помощью импеданс-спектроскопии с использованием измерительной установки на базе моста переменного тока МТ4090. Измерения термо-ЭДС проводились потенциометрическим методом с помощью вольтметра В7-34А в интервале температур от 20 до 200 °С.

При температуре 1200-1300 °С в результате взаимодействия ильменита ($FeTiO_3$) и рутила (TiO_2) формируется фаза ферропсевдобрукита ($FeTi_2O_5$) [13,5,2,14]:



При соблюдении стехиометрии реакция (3) носит обратимый характер, однако присутствие в системе оксидных примесей, в частности MgO, способствует стабилизации кристаллической структуры ферропсевдобрукита [33]. Подобный эффект нередко отмечается в гео- и космохимических процессах [16,34]. Важное значение при термической обработке МИЛК имеет поведение силикатной составляющей. При высоких температурах кварц плавится, формируя при охлаждении стеклофазу, которая способствует спеканию материала. Таким образом, при термической обработке МИЛК в результате вышеназванных процессов происходит синтез композиционного материала, состоящего из полупроводниковой (ферропсевдобрукитовой) и диэлектрической (силикатной) фаз.

Оптическая микрофотография и электронно-микроскопические изображения аншлифа исследуемого материала представлены на рисунках 4а и 4б.

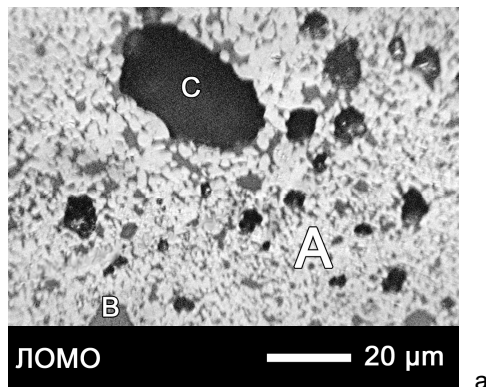
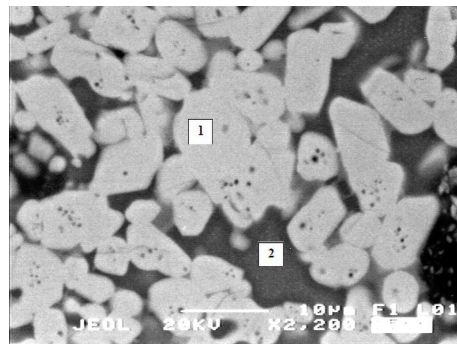
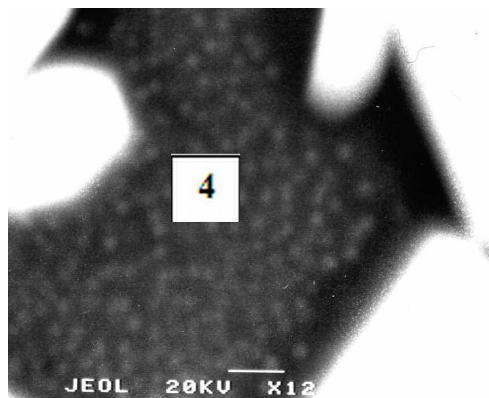
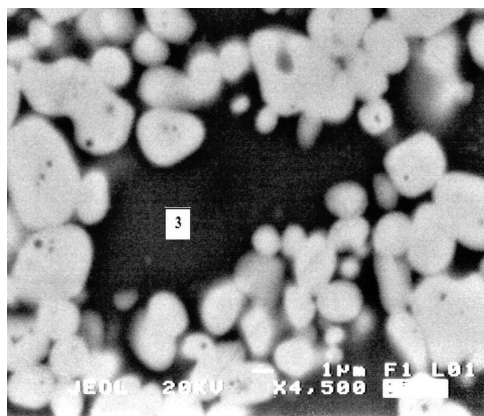


Рис. 4 а. Микрофотография ферропсевдобрукитового материала, полученного в результате вакуум-термической обработки МИЛК. А (светлые зёрна) – ферропсевдобрукитовая фаза; В (области серого цвета) – силикатная фаза; С (области чёрного цвета) – поры.





б

Рис. 4 б. Электронно-микроскопические изображения микроstructures материала (режим вторичных электронов), полученного в результате вакуум-термической обработки МИЛК. Элементный состав фаз по данным микрозондовой энергодисперсионной спектроскопии (ат. %):

1. $Ti - 21.0, Fe - 8.8, Mg - 3.6, Al - 0.7, Mn - 0.4, O_{(расч.)} - 65.5$ [ферропсевдобрукит];
2. $Si - 20.6, Al - 2.3, Ti - 1.8, Fe - 1.7, K - 1.7, O_{(расч.)} - 71.8$ [силикатная фаза];
3. $Si - 16.3, Al - 0.5, Ti - 0.4, Fe - 2.6, Mg - 14.9, Mn - 0.6, O_{(расч.)} - 64.7$ [силикатная фаза];
4. $Si - 25, Al - 3, Ti - 2, Mg - 2, Fe - 2, K - 2, O_{расч} - 64$ [нановключения 80–100 нм в силикатной фазе].

Основными элементами микроstructures являются ферропсевдобрукитовые зёрна, размер которых изменяется в диапазоне 0,5–10 мкм, силикатная фаза, равномерно заполняющая межзёрненное пространство, а также поры размером от единиц до сотен микрон. Открытая пористость материала, измеренная гидростатическим методом, не превышает 10%, однако уровень закрытой пористости значительно выше. Кажущаяся плотность материала составляет 3.33 г/см^3 .

Химический состав ферропсевдобрукитовых зерен среднестатистически выражается формулой $Fe_{0.75}Ti_{1.8}Mg_{0.35}Al_{0.05}Mn_{0.05}O_5$. При этом примеси магния, алюминия и марганца не вносят существенных искажений в геометрию кристаллической решётки ферропсевдобрукита, которая обладает орторомбической симметрией, относится к пространственной группе *Tstt* и имеет следующие параметры элементарной ячейки: $a = 0.37367 \text{ нм}$, $b = 0.97676 \text{ нм}$, $c = 1.00157 \text{ нм}$.

Согласно результатам рентгенофлуоресцентного и рентгенодифракционного анализов, количе-

ство ферротитаната в продуктах термообработки МИЛК составляет около 70 мол.%. Остальной объём приходится на долю силикатной фазы (точки 2, 3, 4 на рис. 4.б). При этом количество протоэвнстата ($MgSiO_3$) и кварца ($\alpha-SiO_2$) не превышает 6 и 4 мол.%, соответственно, а основная часть силикатной фазы находится в скрытокристаллическом или аморфном состоянии. Анализируя микроstructure представительного образца стеклокерамического композита, удалось выявить в аморфной фазе нановключения зародышей кристобалита размером от 80 до 100 нм. При повторном нагревании эти образования укрупняются и формируют хрупкую межкристаллитную фазу кристобалита. Данные рентгенофлуоресцентного анализа материала, полученного в результате вакуум-термической обработки МИЛК, представлены в таблице и на рис. 4.б.

Присутствие магния (использован в качестве минерализатора) в составе силикатной фазы приводит к формированию нанодисперсноупрочненной фазы, обеспечивающей повышение механических характеристик для стеклокерамического композитного материала. Так, несмотря на значительную пористость, материал проявляет высокую устойчивость к распространению трещин, предел его прочности при изгибе составляет 100 – 130 МПа.

При исследовании электрофизических свойств установлена принадлежность материала к полупроводникам *n*-типа. Коэффициент Зеебека при температурах 100 – 200°C отрицателен и по абсолютной величине равен 0.41 мВ/К. Проводимость материала слабо зависит от частоты тока и сильно – от температуры. Энергия активации составляет 0.206 – 0.216 эВ при температурах ниже 250°C и 0.429 – 0.435 эВ в области более высоких температур, что достаточно хорошо согласуется с известными свойствами титанатов железа [26,32]. Температурная зависимость проводимости, представленная в аррениусовых координатах, показана на рис. 5.

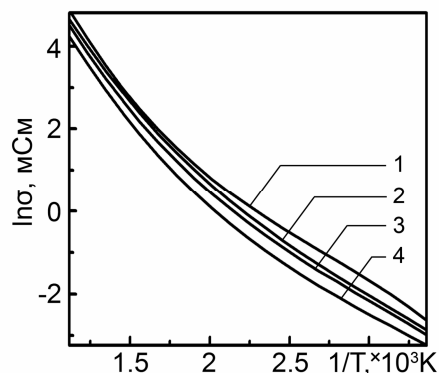


Рис. 5. Зависимость логарифма проводимости образцов от обратной температуры: 1 – первый цикл измерений (проведен в первые сутки после синтеза); 2 – второй цикл измерений (спустя двое суток после синтеза); 3 – третий цикл измерений (спустя шесть суток после синтеза); 4 – четвертый цикл измерений (спустя 16 суток после синтеза). Измерения проведены на цилиндрических образцах диаметром 20 мм и толщиной 4 мм при частоте тока 120 Гц.

В ходе электрофизических испытаний с каждым последующим циклом измерений наблюдались существенные изменения характеристик материала –

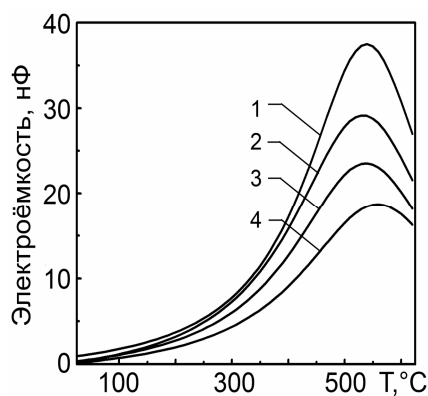


Рис. 6. Зависимость электроёмкости образцов от температуры: 1 – первый цикл измерений (проведен в первые сутки после синтеза); 2 – второй цикл измерений (спустя трое суток после синтеза); 3 – третий цикл измерений (спустя шесть суток после синтеза); 4 – четвертый цикл измерений (спустя 16 суток после синтеза). Измерения проведены на цилиндрических образцах диаметром 20 мм и толщиной 4 мм при частоте тока 10 кГц.

постепенное уменьшение его проводимости и электроёмкости. Обнаруженные явления отражены в зависимостях, представленных на рисунках 5 и 6.

Наиболее вероятной причиной деградации проводимости является сокращение количества кислородных вакансий и, как следствие, уменьшение подвижности ионов кислорода. Установлено, что термонагрузка материала в условиях воздушной атмосферы приводит к окислению его поверхностного слоя, что визуально отмечается как появление слабозаметного бурого оттенка, указывающего на присутствие ионов железа (III).

Заключение

Описанные в работе результаты физико-химических исследований процессов, протекающих в природных и модельных системах на основе сложных оксидов и карбидов титана и кремния, доказывают возможность получения на их основе композитов, в которых наличие наноструктуры обеспечивает достижение новых свойств материалов. Выполненные теоретические и экспериментальные исследования являются основой для проектирования композиционных материалов с заданными свойствами.

Авторы выражают признательность сотрудникам Института геологии Коми НЦ УрО РАН С.Т.Неверову и В.Н.Филиппову за помощь в проведении аналитических работ.

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ 03-03-33074, Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Госконтракт №594р/8172)*, Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Основы фундаментальных исследований нанотехнологий и наноматериалов».

Литература

1. Бутягин П.Ю. Химическая физика твердого тела. М.:Изд-во МГУ, 2006. 272 с.
2. Мэтьюз Ф., Ролингс Р. Композитные материалы. Механика и технология. М.: Техносфера, 2004. 408 с.
3. Суздалев И.П. Нанотехнология: физико-химия кластеров, наноструктур и наноматериалов. М.: КомКнига, 2006. 592 с.
4. Дудкин Б.Н., Зайнуллин Г.Г., Кривошапкин П.В. и др. Влияние наночастиц и нановолокон оксида алюминия на свойства эпоксидных композиций // Физика и химия стекла, 2008. Т. 34. № 2. С. 241-243.
5. Жабров В.А., Лукьянов Г.Н., Марголин В.И. и др. Введение в нанотехнологию. М.:МГИЭМ, 2007. 293 с.
6. Сергеев Г.Б. Нанохимия. М.:Изд-во МГУ, 2003. 288 с.
7. Суздалев И.П. Многофункциональные наноматериалы // Успехи химии, 2009. Т.78. №3. С.266-301.
8. Модифицирование эпоксидангидридных полимеров оксидом алюминия/П.А.Ситников, И.Н.Васенева, А.Г.Белых, М.С.Федосеев, А.В.Кучин // Журнал прикладной химии, 2008. Т.81. Вып.5. С.789-792.
9. Ситников П.А., Кучин А.В., Васенева И.Н., Шевченко О.Н., Белых А.Г., Рябов Ю.И. Разработка эпоксидных матриц для конструктивных композитов с повышенной теплостойкостью // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология, 2007. Т. 50. № 3. С. 41-44.
10. Шевченко В.Я., Мадисон А.Е., Шудегов В.Е. Структурное многообразие наноматериала // Физика и химия стекла, 2003. Т.29, №6. С. 801-808.
11. Голдин Б.А., Рябов Ю.И., Истомин П.В. Восстановительный твердофазный синтез карбосилицида титана Ti_3SiC_2 // Неорганические материалы, 1997. Т. 33. № 6. С. 691-693.
12. Голдин Б.А., Рябов Ю.И., Истомин П.В. Петрогенетика порошков, керамики и композитов. Сыктывкар, 2006. 276 с.
13. Истомин П.В., Надуткин А.В., Рябов Ю.И., Голдин Б.А. Получение Ti_3SiC_2 // Известия РАН. Неорганические материалы, 2006. Т. 42. № 3. С. 292-297.
14. Керамические материалы на основе Ti_3SiC_2 для изделий сложной формы / А.В. Надуткин, П.В. Истомин, Ю.И. Рябов, Б.А. Голдин, А.В. Сметкин, Г.П. Швейкин // Конструкции из композиционных материалов, 2007. Вып. 1. С. 50-56.
15. Рябов Ю.И. Карботермическое восстановление оксидов при получении новых карбидных материалов // Конструкции из композиционных материалов, 2006. Вып. 4. С. 43-46.
16. Bowles J. F. W. Definition and range of composition of naturally occurring minerals with the pseudobrookite structure // Am. Mineral, 1988. Vol. 73. № 11-12. P. 1377-1383.

17. *G.Eriksson, A.D.Pelton, E.Woermann, A.Ender.* Measurement and thermodynamic evaluation of phase equilibria in the Fe–Ti–O system // *Berich. Bunsen. Gesell.* 1996.Vol. 100. P. 1839-1849.
18. *Hirota K., Bradt R. C.* Sintering and synthesis of the pseudobrookite oxide (Fe_2TiO_5) by the solid state reaction // *Anal. Sci.* 1991. Vol. 7 (suppl). P. 1275-1278.
19. *Guo W. Q., Malus S., Ryan D. H., Altounian Z.* Crystal structure and cation distributions in the FeTi_2O_5 – Fe_2TiO_5 solid solution series // *J. Phys.: Condens. Matter*, 1999. Vol. 11. № 33. P. 6337-6346.
20. *Kozuka H., Kajimura M.* Sol-gel preparation and photoelectrochemical properties of Fe_2TiO_5 thin films // *J. Sol-Gel Sci. Techn*, 2001. Vol. 22. № 1-2. P. 125-132.
21. *Pesl J., Eriş R. H.* High-temperature phase relations and thermodynamics in the iron-titanium-oxygen system // *Metall. Mater. Trans. B*, 1999. Vol. 30B. № 8. P. 695-705.
22. *Teller R. G., Antonio M. R., Grau A. E., Guñguin M., Kostiner E.* The chemistry of the thermal decomposition of pseudobrookite ferrous titanium oxides // *J. Solid State Chem*, 1990. Vol. 88. №2. P. 351-367.
23. *Gupta S. K., Rajakumar V., Grieveson P.* Phase transformations during heating of ilmenite concentrates // *Metall. Mater. Trans. B*, 1991. Vol. 22B. № 10. P. 711-716.
24. *Pistorius P. C., Coetzee C.* Physicochemical aspects of titanium slag production and solidification // *Metall. Mater. Trans B*, 2003. Vol. 34B. № 10. P. 581-588.
25. *Dondi M., Matteucci F., Cruciani G., Gasparotto G., Tobaldi D. M.* Pseudobrookite ceramic pigments: Crystal structural, optical and technological properties // *Solid State Sci*, 2007. Vol. 9. № 5. P. 362-369.
26. *Pandey R. K., Stern H., Geerts W. J., Padmini P., Kale P., Dou J., Schad R.* Room temperature magnetic-semiconductors in modified iron titanates: their properties and potential micro-electronic devices // *Adv. Sci. Techn*, 2008. Vol. 54. P. 216-222.
27. *Teller R. G., Antonio M. R., Grau A. E., Guñguin M., Kostiner E.* Structural analysis of metastable pseudobrookite ferrous titanium oxides with neutron diffraction and Mössbauer spectroscopy // *J. Solid State Chem*, 1990. Vol. 88. №2. P. 334-350.
28. *Madare M. A., Salvi S. V.* Magnetic behaviour of “lithiated” Fe_2TiO_5 // *Turk. J. Phys*, 2005. Vol. 29. № 1. P. 25-31.
29. *Gennari F. C., Andrade Gamboa J. J., Pasquevich D. M.* Formation of pseudobrookite through gaseous chlorides and by solid-state reaction // *J. Mater. Sci*, 1998. Vol. 33. № 6. P. 1563-1569.
30. *Игнатъев В. Д., Бурцев И.Н.* Лейкоксен Тимана: минералогия и проблемы технологии. СПб.: Наука, 1997. 215 с.
31. *Kraus W., Nolze G.* POWDER CELL – a program for the representation and manipulation of crystal structures and calculation of the resulting X-ray powder patterns // *J. Appl. Cryst*, 1996. Vol. 29. № 3. P. 301-303.
32. *Belsky A., Hellenbrandt M., Karen V. L., Luksch P.* New developments in the Inorganic Crystal Structure Database (ICSD): accessibility in support of materials research and design // *Acta Cryst. B*, 2002. Vol. 58. №3. P. 364-369.
33. *Navrotsky A.* Thermodynamics of formation of some compounds with the pseudobrookite structure and of the Fe_2TiO_5 – Ti_3O_5 solid solution series//*Am. Mineral*, 1975. Vol. 60. № 3-4. P. 249-256.
34. *Thacker C., Liang Y., Peng Q., Hess P.* The stability and major element partitioning of ilmenite and armalcolite during lunar cumulate mantle overturn // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2009. Vol. 73. № 3. P. 820-836.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 631.417.2 : 541.6 : 543.429.22 : 543.429.23

ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ В ПОЧВАХ

В.А. БЕЗНОСИКОВ, Е.Д. ЛОДЫГИН

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г.Сыктывкар

Методами ^{13}C -ЯМР и ЭПР спектроскопии изучен состав гумусовых веществ (ГВ) почв таежной зоны, определены основные функциональные группы и молекулярные фрагменты. Основу молекулы гуминовых кислот (ГК) образует ядро, сформированное ароматическими и гетероциклическими кольцами. Ядро окружено периферическими однозамещенными и двузамещенными алифатическими цепочками, более гидрофильными по сравнению с ядром. Конституционная часть молекулы ГК – функциональные группы, главным образом карбоксильные и фенолгидроксильные, определяющие кислотный характер ГК, способность к катионному обмену и комплексообразованию.

Ключевые слова: гумусовые вещества, структурно-функциональный состав

V.A. BEZNOSIKOV, E.D. LODYGIN. HIGH-MOLECULAR ORGANIC SUBSTANCES IN SOILS

Using the methods of ^{13}C -NMR and EPR spectroscopy we have studied the composition of humic substances in taiga zone, identified their principal functional groups and molecular fragments. The humic acid (HA) molecule is constituted of a nucleus formed by aromatic and heterocyclic rings. The nucleus is surrounded by periphery monosubstituted and twice-substituted aliphatic chains which are more hydrophilic than the nucleus is. Most HA functional groups are carboxylic and phenol-hydroxyl groups. Functional groups make HAs acid and able for cation exchange and complex formation.

Key words: humic substances, structure-functional composition

Интерес к высокомолекулярным гумусовым веществам непрерывно растет, причем у специалистов не только в области почвоведения и агрономии, но и некоторых отраслей знаний, довольно далеко отстоящих от проблем почвоведения. В частности, исследования гумусовых кислот оказываются необходимыми при решении многих проблем палеогеографии и палеоклиматологии, инженерной геологии, океанологии, медицины, физиологии и геохимии, а также некоторых технических вопросов [1].

Фундаментальные работы отечественных ученых И.В. Тюрина, М.М. Кононовой, Л.В. Александровой, В.В. Пономаревой, Д.С. Орлова и многих исследователей зарубежных стран, в их числе В. Фляйг (ФРГ), Ф. Дюшофур (Франция), Т. Хаяси (Япония), М. Шнитцер (Канада), Ф. Стевенсон (США), Б. Хейес (Англия) и другие создали учение о природе и свойствах органического вещества почв. Органические соединения определяют практически все важные свойства почв. Истории изучения гумусовых кислот современными физико-химическими методами посвящен ряд обзорных работ [2, 3, 4-6, 7, 8].

В составе почвенного гумуса центральное место занимают специфические высокомолекулярные соединения: гуминовые кислоты и фульвокислоты (ФК). Особая роль гуминовых кислот в почвообразовании определяется их термодинамической

и биохимической устойчивостью. Существовая в почвах тысячи лет (по радиоуглеродному методу до 25–35 тыс. лет) [9, 10], ГК придают им стабильность, своеобразную буферность, определенный биохимический фон. И хотя неспецифические компоненты органического вещества часто более активны и лабильны, могут определять конкретную биохимическую ситуацию в каждый конкретный отрезок времени. Именно с гумусовыми кислотами связаны важнейшие типовые признаки почв [11]. В вопросе о механизме образования и принципах строения гумусовых веществ многие положения остаются дискуссионными, хотя достигнуты существенные успехи, которые в значительной мере достигнуты в результате тесной кооперации исследований в области биохимии процесса образования ГВ с изучением их природы и строения [12, 13].

Исследования последних лет привнесли в химию гумуса много новых положений, имеющих принципиальное значение для понимания и развития теории почвообразования, диагностики и классификации почв, а также для решения прикладных задач. Преобладающая часть публикаций посвящена формированию, свойствам ГК и ФК, как наиболее характерных и важных продуктов гумификации. В современный период развития почвоведения одной из актуальных проблем в фундаментальном познании

органического вещества является изучение структурно-функциональных параметров гумусовых соединений, перехода от традиционного анализа его «фракционно-группового» состава на «молекулярно-фрагментарный» уровень исследований и создания теоретических основ науки о сложных по составу, структуре природных высокомолекулярных соединениях. Создание таких основ предопределено наличием колоссального эмпирического материала и огромными успехами современных методов спектроскопического анализа высокого разрешения.

Более того, современный этап развития теоретического почвоведения характеризуется усилением интереса к фундаментальной концепции – изучению элементарных почвообразовательных процессов (ЭПП) как основы современных представлений о сущности иерархии механизмов почвообразования. Эта концепция позволяет расшифровать статику почвенного профиля и дать процессную интерпретацию свойствам почв. В настоящее время в вопросах химии почв актуальной проблемой является выяснение ЭПП и их реального вклада в совокупность других профилеобразующих процессов. Одни из важнейших профилеобразующих компонентов в почвах – высокомолекулярные органические соединения: гуминовые и фульвокислоты. ГК являются аккумулятивным компонентом гумуса, а количество фульвокислот связывается с ними согласно термодинамической обстановке, в которой происходит формирование системы гумусовых веществ. Поэтому ГК и их соотношение с ФК выступают маркерами процессов педогенеза. Трансформация органического вещества (педоморфизм органической массы по Герасимову) логично рассматривается как гумификация – гумусообразование, т.е. разложение с образованием промежуточных (предгумусовых) веществ и собственно гумуса. В почвах эти группы веществ присутствуют в разных соотношениях, причем органическая часть почвы постоянно возобновляется и преобразуется, чутко реагируя на изменение природно-зональных условий. Зональные биоклиматические условия почвообразования приводят к существенным изменениям состава и свойств высокомолекулярных гумусовых веществ. Однако гетерогенность этих классов соединений в условиях почвенной среды, а также широко используемые классические методы анализа не позволяют с достаточной степенью уверенности судить об этих изменениях.

Несмотря на обилие работ в области изучения гумуса зональных почв [1, 12 – 20] структурно-функциональные параметры высокомолекулярных соединений органического вещества почв таежной зоны европейского Северо-Востока России являются наименее изученными. Исследования, результаты которых представлены в данной работе, направлены на изучение структурной характеристики почвенного органического вещества, реакционной способности гумусовых кислот.

Объекты и методы

Объектами исследований послужили подзолистые (глееподзолистые, типичные подзолистые, дерново-подзолистые) и болотно-подзолистые (тор-

фянисто-подзолисто-глееватые) почвы, сформированные на покровных суглинках. Препараты ГК и ФК были выделены по методике М.М. Кононовой и Н.П. Бельчиковой [21]. Выделение кислот проводили из воздушно-сухих образцов почв путем двукратной экстракции смесью 0.1 н NaOH и 0.1 М $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$. Далее к щелочному экстракту добавляли насыщенный раствор Na_2SO_4 (20% от объема экстракта) для коагуляции коллоидных частиц. Центрифугировали в течение 2 час. при 5000 об./мин. Затем серной кислотой осаждали ГК, а ФК очищали на активированном угле (марка АГ-3) по Форситу [22] и обессоливали пропусканием через катионит КУ-2 в H^+ -форме. Элементный состав гумусовых кислот определяли на CHNS-O-элементном анализаторе EA 1110 (Италия), зольность препаратов – прокаливанием при 600°C. ^{13}C -ЯМР спектры препаратов гумусовых веществ регистрировали на импульсном ЯМР спектрометре Bruker CXP-100 с рабочей частотой 25.18 МГц в твердофазной CP/MAS – технике с вращением образца под «магическим» углом. Для регистрации ЭПР спектров исследованных препаратов гумусовых веществ применялся спектрометр SE/X2547 Radiopan при СВЧ мощности в резонаторе 20–40 мВт и частоте СВЧ 9.372 ГГц. В качестве эталона использовали дифенилпикрилгидразил с известным содержанием радикалов. Концентрацию парамагнитных центров в образцах определяли методом сравнения относительных интенсивностей сигналов образца и эталона по значениям формулы $(\Delta\text{H})^2 \cdot Y$, где ΔH – ширина, а Y – амплитуда линии. Абсолютная ошибка определения концентрации свободных радикалов методом ЭПР составляет 10–20%.

Результаты и их обсуждение

Проведенные систематические исследования физико-химических, структурных и функциональных показателей ГВ, выполненные в рамках единого методологического подхода, позволили выявить закономерности состава и свойств органического вещества почв, сформированных на покровных суглинках таежной зоны европейского Северо-Востока России. Гумусовые кислоты представляют собой полисопряженные системы с широким спектром функциональных групп и молекулярных фрагментов. На основании исследований молекулярного строения гумусовых веществ почв методом ^{13}C -ЯМР спектроскопии [23,24] идентифицированы следующие функциональные группы и молекулярные фрагменты: карбоксильные ($-\text{COOR}$); карбонильные ($-\text{C}=\text{O}$); CH_3- , CH_2- , $\text{CH}-$ алифатические; $-\text{C-OR}$ спиртов, эфиров и углеводов; фенольные (Ar-OH); хинонные ($\text{Ar}=\text{O}$); ароматические ($\text{Ar}-$), что свидетельствует о большой сложности строения гумусовых веществ и полифункциональных свойствах, обуславливающих их активное участие в почвенных процессах.

Наличие карбоксильных, гидроксильных, карбонильных групп в сочетании с ароматическими структурами обеспечивает способность гумусовых кислот вступать в обменные и донорно-акцептор-

ные взаимодействия, образовывать водородные связи, активно участвовать в сорбционных процессах. Формирование структурно-функциональных параметров гумусовых веществ в автоморфных типичных подзолистых почвах происходит в своеобразных условиях почвообразования. Это приводит к образованию из мохово-лесной подстилки низкомолекулярных легкоподвижных гумусовых веществ, обогащенных кислородсодержащими функциональными группами (гидроксильные, карбонильные и карбоксильные). Они способствуют мобилизации минеральных соединений в подзолистом горизонте и их вымыванию с образованием под маломощной грубогумусной подстилкой элювиального подзолистого горизонта.

В подтипе торфянисто-подзолисто-глеевой почвы избыточное увлажнение и анаэробные условия, длительные восстановительные процессы и кратковременный окислительный режим усиливают образование из мохово-травяной подстилки гумусовых веществ, имеющих более низкую степень ароматичности и содержащих в своей структуре, в основном, неокисленные алифатические фрагменты. Однако значительно большее количество свободных и связанных с полуторфными оксидами фракций ГК и ФК (по сравнению с типичными подзолистыми почвами) в сочетании с промывным водным режимом и глеевыми процессами в кислой среде приводит к более интенсивному процессу подзолообразования.

Оценка относительного содержания атомов углерода основных функциональных групп и молекулярных фрагментов в препаратах ГК и ФК подзолистых и болотно-подзолистых почв проведена нами интегрированием линий поглощения в соответствующих диапазонах химических сдвигов (табл. 1).

*Химические сдвиги атомов C^{13}
молекулярных фрагментов гумусовых кислот*

Химический сдвиг, ppm	Тип молекулярных фрагментов
0-47	C, H-замещенные алифатические фрагменты
47-60	метоксильные, O, N-замещенные алифатические фрагменты
60-105	алифатические фрагменты, дважды замещенные гетероатомами (в том числе углеводные)
105-144	C, H-замещенные ароматические фрагменты
144-164	O, N-замещенные ароматические фрагменты
164-183	карбоксильные группы и их производные
183-190	хинонные группы
190-204	группы альдегидов и кетонов

Для стандартизации количественных характеристик макромолекул ГВ в качестве интегрального показателя использовали отношение углерода ароматических структур к углероду алифатических

цепей и процентный показатель ароматичности [7]. Сигналы от ароматических структур в этом случае суммировали по областям 105–164 и 183–190 ppm, алифатических – 0–105 и 164–183 ppm (табл. 2).

Анализ молекулярной структуры гумусовых веществ показал, что макромолекулы ГК исследованных почв содержат в своем составе значительное количество каркасных ароматических фрагментов (до 44.6 %) с относительно небольшой долей углеводной периферии, о чем свидетельствуют более высокие значения отношений Ar/AL по сравнению с ФК. Высокая ароматичность ГК обуславливает их повышенную устойчивость. В углеродном скелете фульвокислот преобладают алифатические цепочки и структуры типа углеводов, аминокислот (до 77.8 %), что определяет их высокую растворимость и низкую гидрофобность. Сравнительный анализ структурного состава гуминовых кислот подзолистых и болотно-подзолистых почв показал, что исследованные препараты ГК сезонно промерзающих почв европейского Северо-Востока более обогащены ароматическими структурами по сравнению с мерзлотными подзолами (Spodic Cryosols) и менее – с ГК почв южных регионов (серыми лесными, черноземами).

Полученные аналитические материалы позволили выявить влияние гидроморфизма на молекулярную структуру гумусовых соединений исследуемых почв. Избыточное увлажнение заметно влияет не только на количество накапливаемых гумусовых соединений, но и оказывает воздействие на их молекулярную структуру, а именно, обуславливает накопление в гидроморфной торфянисто-подзолисто-глеевой почве гумусовых веществ, обогащенных алифатическими структурами. На наш взгляд, такая взаимосвязь обусловлена тем, что при восстановлении соединений железа, марганца, азота и серы преимущественно окисляются спиртовые ($-C-OH$) и альдегидные ($-C=O$) фрагменты гумусовых веществ.

При сравнении молекулярной структуры ГК подзолистых и дерново-подзолистых почв следует отметить, что ГК, выделенные из дерново-подзолистой почвы, несколько обогащены ароматическими фрагментами (табл. 2). Кроме того, происходит увеличение относительного содержания кислородсодержащих функциональных групп ($-COOR$) в структуре ГК дерново-подзолистой почвы. Данный факт объясняется тем, что в дерново-подзолистой почве складываются более благоприятные условия, способствующие процессу гумификации растительных остатков. Изменение молекулярного состава фульвокислот при переходе от подзолистых почв к дерново-подзолистым еще более наглядно. Содержание кислородсодержащих групп выше в препаратах ФК, выделенных из подзолистых почв. Это обуславливает их большую кислотность, растворимость в воде и способность к обменным реакциям и, как следствие – высокую агрес-

Таблица 1

Таблица 2

**Содержание (%) молекулярных фрагментов
гуминовых кислот почв (по данным ^{13}C -ЯМР)**

Горизонт (глубина, см)	Химический сдвиг, ppm								Ar AL	Ароматичность, %
	0-47	47-60	60-105	105-144	144-164	164-183	183-190	190-204		
Типичная подзолистая										
A ₀ (0-5)	<u>22.4</u>	<u>8.1</u>	<u>12.8</u>	<u>33.5</u>	<u>10.0</u>	<u>11.3</u>	<u>0.5</u>	<u>1.4</u>	<u>0.79</u>	<u>44.0</u>
	23.3	6.6	23.2	18.6	7.4	19.6	0.6	0.7	0.36	26.6
A ₁ A ₂ h (5-7)	<u>40.7</u>	<u>8.6</u>	<u>8.9</u>	<u>18.8</u>	<u>7.1</u>	<u>12.1</u>	<u>1.7</u>	<u>2.1</u>	<u>0.38</u>	<u>27.6</u>
	25.1	6.4	18.6	10.3	4.2	25.0	3.2	7.2	0.22	17.7
Торфянисто-подзолисто-глееватая										
O ₁ (0-8)	<u>23.2</u>	<u>6.0</u>	<u>11.8</u>	<u>22.4</u>	<u>8.8</u>	<u>17.0</u>	<u>4.3</u>	<u>6.5</u>	<u>0.55</u>	<u>35.5</u>
	19.5	2.4	20.2	12.9	4.2	26.3	5.1	9.4	0.29	22.2
A ₂ hg (12-20)	<u>50.5</u>	<u>2.8</u>	<u>7.3</u>	<u>16.9</u>	<u>4.7</u>	<u>12.8</u>	<u>2.7</u>	<u>2.3</u>	<u>0.32</u>	<u>24.3</u>
	31.2	2.7	17.9	8.7	3.3	27.1	2.5	6.6	0.17	14.5
Дерново-подзолистая										
A _{дер} (0-4)	<u>33.6</u>	<u>23.7</u>	<u>3.7</u>	<u>16.0</u>	<u>6.3</u>	<u>12.8</u>	<u>1.5</u>	<u>2.4</u>	<u>0.31</u>	<u>24.1</u>
	25.8	51.9	2.4	7.2	2.6	7.7	0.9	1.5	0.12	10.8

Примечание: над чертой – данные для препаратов гуминовых кислот, под чертой – для фульвокислот; все расчеты приведены на обеззоленные препараты.

сивность по отношению к почвенным минералам, что способствует интенсивному процессу оподзоливания элювиального горизонта.

В процессе освоения типичных подзолистых почв в пахотном горизонте происходят значительные изменения: снижается кислотность, повышается степень насыщенности почвенно-поглощающего комплекса основаниями. Это приводит к увеличению количества гуминовых кислот и изменению содержания функциональных групп в их составе, выражающемуся в относительном уменьшении карбоксильных функциональных групп и повышении доли ароматических молекулярных фрагментов с развитой системой конденсированных ароматических ядер, что делает гумусовые кислоты менее агрессивными и способствует их накоплению в пахотном горизонте.

Результаты, полученные методом ^{13}C -ЯМР спектроскопии, согласуются с данными элементного состава гумусовых кислот. Анализ элементного состава препаратов гумусовых кислот показал, что ГК и ФК типичной подзолистой почвы более гумифицированы по сравнению с гумусовыми кислотами торфянисто-подзолисто-глееватой почвы. Это обуславливает низкие значения атомных отношений $(\text{H}/\text{C})_{\text{исп}}$ и высокие O/C в препаратах ГК и ФК типичной подзолистой почвы. Уменьшение отношения $(\text{H}/\text{C})_{\text{исп}}$ ука-

зывает на возрастание во всех исследованных почвах доли ароматических фрагментов в структуре ГК при переходе от органических горизонтов к минеральным.

Расчет степени окисленности показал, что ГК подзолистых и торфянисто-подзолисто-глееватых почв слабо восстановлены (W от -0.91 до -0.09). ФК этих почв представляют собой слабо окисленные соединения со степенью окисленности от $+0.40$ до $+0.76$. Установлено, что с нарастанием степени гумификации гумусовых кислот в минеральных горизонтах повышается степень их окисленности. Отмечена пониженная степень окисленности ФК подзолистых почв и повышенная торфянисто-подзолисто-глееватых, а для ГК характерна противоположная закономерность. Подобная особенность трансформации молекул ГК определяется интенсивностью микробиологической деятельности почв. При повышенной биологической активности происходит быстрое разрушение неспецифических соединений и простых гумусовых веществ. Поэтому высокая биологическая активность подзолистых почв по сравнению с торфянисто-подзолисто-глееватыми способствует окислению молекул ГК, что приводит к образованию и накоплению устойчивых кислородсодержащих продуктов. ФК в подобных условиях являются одними из предельно высоких доступных соединений для почвенных микро-организмов и поэтому быстро ими разрушаются. Это приводит к постоянному их обновлению. В результате ФК типичных подзолистых почв представлены молодыми и менее окисленными фрагментами.

На основании проведенных исследований получен массив данных по элементному составу

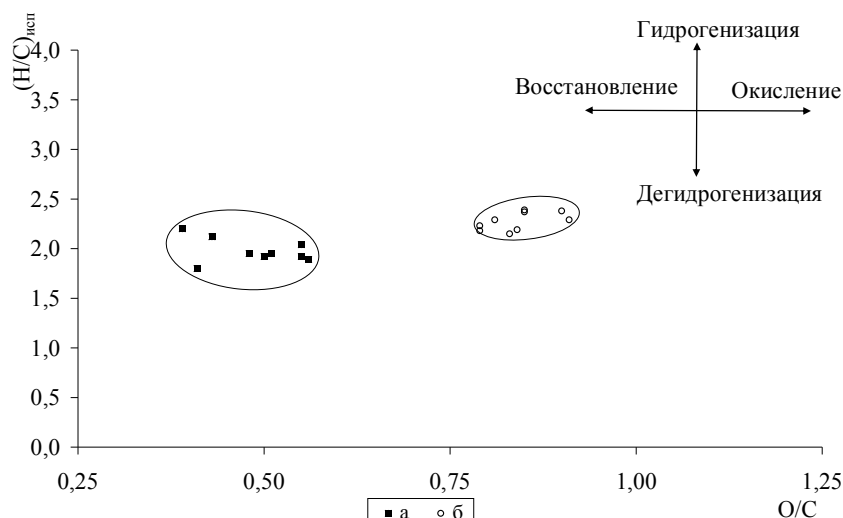


Рис. 1. Атомные соотношения элементов в препаратах гуминовых (а) и фульвокислот (б).

препаратов гумусовых кислот почв разного генезиса. Графико-статистический анализ гумусовых веществ типичных подзолистых, торфянисто-подзолисто-глееватых и пахотных подзолистых почв по Д. ван Кревелену подтверждает более высокую окисленность и низкую обуглероженность ФК по сравнению с ГК. Это указывает на значительную замещенность ароматических колец и развитие боковых алифатических цепей (рис. 1). Результаты элементного анализа гумусовых кислот пахотной подзолистой почвы также подтверждают, что сельскохозяйственное освоение приводит к увеличению доли ароматических фрагментов, выражающемуся в уменьшении отношения $(H/C)_{исп}$ по сравнению с целинными аналогами.

Исследования молекулярно-массового распределения препаратов гумусовых веществ, выделенных из подзолистых, глееподзолистых и торфянисто-подзолисто-глееватых почв, свидетельствуют, что ГК содержат три фракции с разной молекулярной массой: >150 kDa, 73-80 kDa и 13-23 kDa; ФК – две фракции: >5 kDa, 1-2 kDa (табл. 3, 4). Невысокая молекулярная масса ФК способствует их лучшей растворимости и миграционной способности.

Гуминовые кислоты автоморфных почв характеризуются высоким содержанием низкомолекулярных фракций, а доля высокомолекулярной фракции в ГК подстилки в 1.5–2 раза выше, чем в ГК подзолистого горизонта. Оценено влияние сельскохозяйственного использования почв на фракционный состав гумусовых соединений. Отмечено резкое увеличение доли высокомолекулярной фракции в препаратах ГК пахотной подзолистой почвы – в 2–4 раза по сравнению с ГК целинных подзолистых почв. Это может быть обусловлено как природой поступающих растительных остатков, так и повышенной микробиологической активностью освоенных почв.

Исследована парамагнитная активность гумусовых кислот, которая характеризует зрелость и сформированность гумусовых веществ, их устойчивость к деструкции и минерализации под воздействием биотических и абиотических факторов. Свободные радикалы гуминовых кислот, обладая большим запасом энергии и высокой активностью, играют важную роль в химических реакциях между органическими, органоминеральными и минеральными веществами. В ГК исследованных почв содержание свободных радикалов в 1.5–5 раз больше, чем в препаратах фульвокислот, что обуславливает их высокую способность к реакциям полимеризации и комплексообразования по радикальному механизму (рис. 2, 3). Содержание свободных радикалов в препаратах гуминовых кислот уменьшается по профилю исследованных почв. Это свидетельствует о более высокой устойчивости их молекул в минеральных горизонтах по сравнению с гуминовыми кислотами органогенных горизонтов.

По содержанию парамагнитных центров в препаратах ГК и ФК выявлена близость подзолистых поверхностно-глееватых почв к типичным подзолистым. Усиление степени гидроморфизма приводит к повышению концентрации свободных радикалов в структуре гумусовых кислот.

Сельскохозяйственное использование почв снижает парамагнитную активность их гумусовых соединений по сравнению с целинными аналогами более, чем на 20 % и приводит к накоплению в пахотном горизонте более гумифицированных и биотермодинамически устойчивых соединений [25].

Закключение

Методами ^{13}C -ЯМР и ЭПР спектроскопии изучен качественный и количественный составы гу-

Таблица 3

Средние молекулярные массы фульвокислот и их содержание (G-25, элюент – дистиллированная вода)

Горизонт (глубина, см)	Фракция I		Фракция II	
	M, kDa	Массовая доля, %	M, kDa	Массовая доля, %
Типичная подзолистая				
A ₀ (0-5)	> 5	23.2	1.2	76.8
A ₂ (7-10)	> 5	30.4	1.6	69.6
Глееподзолистая				
A ₀ (0-5)	> 5	36.0	2.2	64.0
A _{2g} (5-10)	> 5	28.0	1.6	72.0

Таблица 4

Средние молекулярные массы фракций гуминовых кислот и их относительное содержание (G-100, элюент – Tris-HCl-буфер, pH = 8.2)

Горизонт (глубина, см)	Фракция I		Фракция II		Фракция III	
	M, kDa	Массовая доля, %	M, kDa	Массовая доля, %	M, kDa	Массовая доля, %
Типичная подзолистая						
A ₀ (0-5)	>150	21.29	80.2	15.81	16.7	62.90
A ₂ (7-10)	>150	13.02	80.2	17.36	16.4	69.62
Торфянисто-подзолисто-глееватая						
A _{2hg} (12-20)	>150	9.83	73.2	26.8	13.4	63.37
Пахотная подзолистая						
A _{пах} (0-30)	>150	39.97	78.7	13.46	22.8	46.57

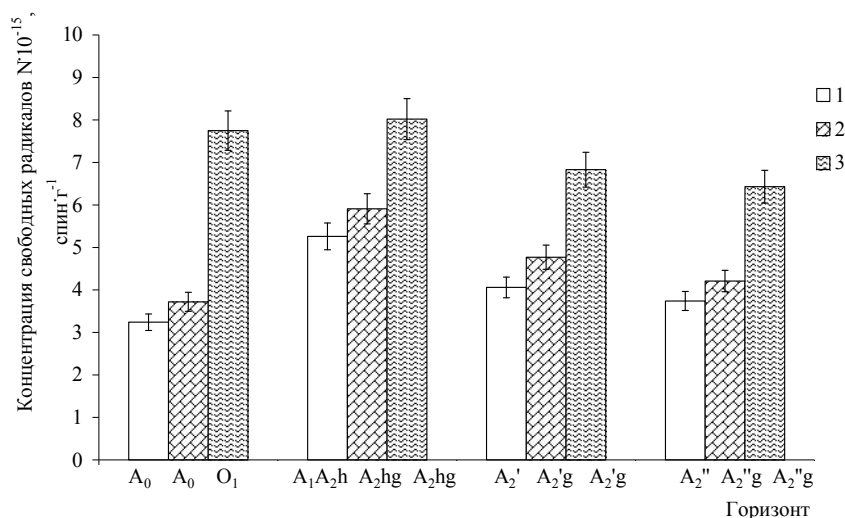


Рис. 2. Содержание свободных радикалов в препаратах гуминовых кислот почв разной степени гидроморфизма: 1 – подзолистая, 2 – подзолистая поверхностно-глееватая и 3 – торфянисто-подзолисто-глееватая ($n = 5$, $P = 0.95$).

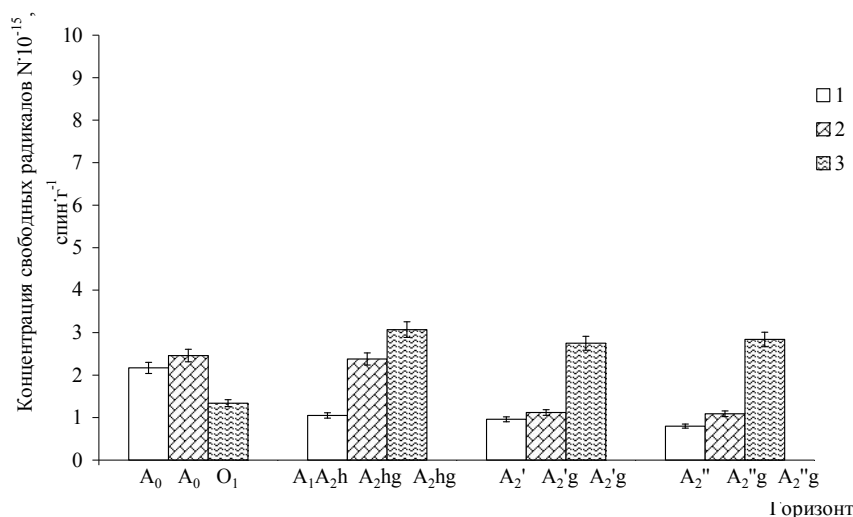


Рис. 3. Содержание свободных радикалов в препаратах фульвокислот почв разной степени гидроморфизма: 1 – подзолистая, 2 – подзолистая поверхностно-глееватая и 3 – торфянисто-подзолисто-глееватая ($n = 5$, $P = 0.95$).

мумовых веществ почв таежной зоны, определены основные функциональные группы и молекулярные фрагменты. Основу молекулы ГК образует ядро, сформированное ароматическими и гетероциклическими кольцами. Ядро окружено периферическими однозамещенными и двузамещенными алифатическими цепочками, более гидрофильными по сравнению с ядром. Конституционная часть молекулы ГК – функциональные группы, главным образом карбоксильные и фенолгидроксильные, определяющие кислотный характер ГК и способность к катионному обмену и комплексообразованию. Ароматическое ядро – комплексная стабилизирующая структура, обеспечивающая устойчивость почвенного гумуса. ГК по сравнению с ФК содержат меньше кислородсодержащих функциональных групп и больше ароматических соединений, т.е. гидрофильно-липофильный баланс ГК смещен в гидрофобную сторону, а ФК – в гидрофильную. Разли-

чающиеся по растворимости ФК и ГК выполняют противоположные геохимические функции. Фульвокислоты повышают миграционную способность элементов в почве, а гуминовые – представляют собой мощный геохимический барьер. Гидрофобность ароматических структур ядра гумусовых веществ позволит оценить экологическую устойчивость гумуса. Исследования динамичной периферийной части гумусовых кислот являются основой для диагностики процессов почвообразования и степени деградации почвенного органического вещества при антропогенных нагрузках. Дальнейшие исследования структурно-функциональных параметров гумусовых веществ позволят расшифровать внутримолекулярный «порядок», который ранее считался «хаосом», и перейти на количественный уровень описания взаимосвязи структура – молекулярная масса. Разработка указанных теоретических параметров является основой при параметрической оценке экологического потенциала почв, разработке теории устойчивости почв – важной составной части теории устойчивости наземных экосистем и биосферы в целом, реконструкции природной среды, а также создания веществ (препаратов) с контролируемым составом и воспроизводимыми показателями, что открывает пути для практического применения ГВ: в области охраны окружающей среды – детоксикации поллютантов, в сельском хозяйстве – расширение номенклатуры стимуляторов роста и развития растений.

Работа выполнена при финансовой поддержке ОБН РАН и гранта РФФИ (№ 07-04-00285).

Литература

1. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во МГУ, 1990. 325 с.
2. Степанов А.А., Жаркова Л.В., Степанова Е.А. Применение ^1H -ЯМР спектроскопии для характеристики гуминовых веществ // Почвоведение, 1997. № 2. С. 173-177.
3. Чуков С.Н. Структурно-функциональные параметры органического вещества почв в условиях антропогенного воздействия. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2001. 216 с.
4. Cozzolino A., Conte P., Piccolo A. Conformational changes of humic substances induced by

- some hydroxy-, keto-, and sulfonic acids // *Soil Biol. Biochem.*, 2001. Vol. 33. P. 563-571.
5. Koch B.P., Witt M., Engbrodt R. et al. Molecular formulae of marine and terrigenous dissolved organic matter detected by electrospray ionization Fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2005. Vol. 69. P. 3299-3308.
 6. Kudryavtsev A.V., Perminova I.V., Petrosyan V.S. Size-exclusion chromatographic descriptors of humic substances // *Analyt. Chim. Acta*, 2000. Vol. 407. P. 193-202.
 7. Preston C.M. Applications of NMR to soil organic matter analysis: history and prospects // *Soil Sci.*, 1996. Vol. 161. № 3. P. 144-166.
 8. Wilson M.A. NMR Techniques and applications in geochemistry and soil chemistry. Oxford (UK): Pergamon Press, 1987. 248 p.
 9. Герасимов И.П., Чичагова О.А. Некоторые вопросы радиоуглеродного датирования почвенного гумуса // *Почвоведение*, 1971. № 10. С. 3-11.
 10. Nagao S., Aramaki T., Fujitake N. et al. Radiocarbon of dissolved humic substances in river waters from the Chernobyl area // *Nuclear instruments and methods in physics research. Section B: Beam interactions with materials and atoms*, 2004. Vol. 223-224. P. 848-853.
 11. Орлов Д.С. Биохимические принципы и правила гумусообразования // *Почвоведение*, 1988. № 7. С. 83-91.
 12. Орлов Д.С. Органическое вещество почв России // *Почвоведение*, 1998. № 9. С. 1049-1057.
 13. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И. Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука, 1996. 256 с.
 14. Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Л., 1980. 287 с.
 15. Арчегова И.Б. Гумусообразование на севере европейской территории СССР. Л., 1985. 137 с.
 16. Забоева И.В. Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар, 1975. 344 с.
 17. Кононова М.М. Органическое вещество и плодородие почв // *Почвоведение*, 1984. № 8. С. 6-20.
 18. Пономарева В.В. Условия водноминерального питания растений, типы растительности и почвообразование // *География, генезис и плодородие почв*. Л., 1972. С. 24-57.
 19. Слобода А.В. Некоторые закономерности содержания, состава и свойств гумусовых веществ в почвах Коми АССР // *Биологические исследования в Коми АССР*. Сыктывкар, 1968. С. 38-46.
 20. Тюрин И.В. Органическое вещество почвы и его роль в плодородии. М.: Наука, 1965. 319 с.
 21. Кононова М.М., Бельчикова Н.П. Ускоренные методы определения состава гумуса // *Почвоведение*, 1961. № 10. С. 75-87.
 22. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса. М.: Изд-во МГУ, 1981. 272 с.
 23. Лодыгин Е.Д., Безносиков В.А. Изучение молекулярной структуры гумусовых кислот подзолистых и болотно-подзолистых почв методом ^{13}C -ЯМР спектроскопии // *Почвоведение*, 2003. № 9. С. 1085-1094.
 24. Лодыгин Е.Д., Безносиков В.А., Ванчикова Е.В. Функциональные группы фульвокислот торфянисто-подзолисто-глеевой почвы // *Почвоведение*, 2001. № 4. С. 430-435.
 25. Лодыгин Е.Д., Безносиков В.А., Чуков С.Н. Парамагнитные свойства гумусовых кислот подзолистых и болотно-подзолистых почв // *Вестн. СПбГУ*, 2002. Сер. 3. Биология. Вып. 2. С. 100-106.

ХОД РОСТА СМЕШАННЫХ КУЛЬТУР СОСНЫ СКРУЧЕННОЙ И СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ

Б.В. РАЕВСКИЙ

Институт леса Карельского НЦ РАН, г.Петрозаводск

Изучены сохранность, устойчивость, рост и развитие ряда вариантов сосны скрученной и обыкновенной в испытательных культурах на юге Карелии. Показано, что сосна скрученная (*Pinus contorta* ssp. *latifolia* S. Watson) как экзот оказывается способной не только к успешной акклиматизации, но отчасти и натурализации в почвенно-климатических условиях подзоны средней тайги Карелии. В пределах исследованного возрастного периода (20 лет) усредненное по опыту преимущество сосны скрученной по производительности перед аборигенной сосной составило 37,1% при оценке по среднепериодическому приросту за последние четыре года.

Ключевые слова: культуры сосны, акклиматизация, Карелия

B.V. RAEVSKY. GROWTH AND DEVELOPMENT OF LODGEPOLE PINE AND SCOTCH PINE PROVENANCES IN MIXED PLANTINGS IN SOUTH KARELIA

Survival, stability and growth pattern of lodgepole pine and Scotch pine provenances in mixed stand experiment has been investigated over 20 year period. It has been revealed that *Pinus contorta* ssp. *latifolia* as an exotic proved not only to be able to adapt successfully to soil and climate conditions of South Karelia but is in process of naturalization considering the growth of its "karelian" provenances. Considering the stem volume growth of exotic versus indigenous pine within the scope of 20 year period since planting the superiority of lodgepole pine has been assessed as equal to 37,1% if calculated using maximum mean annual increment values.

Key words: Pine provenances, acclimatization, Karelia

Выбор сосны скрученной (*Pinus contorta* ssp. *latifolia* S. Watson) в качестве объекта интродукции на европейский Север России был обусловлен, прежде всего, положительным шведским опытом ее разведения и стремлением применить его при создании постоянной лесосырьевой базы целлюлозно-бумажной промышленности в европейско-уральской зоне бывшего СССР. Источниками семенного материала были старые финские культуры экзота в Карелии, а также шведские семенные коллекции, собранные непосредственно в пределах естественного ареала (Канада). В Карелии [1] за период с 1982 по 1996 г. нами было заложено около 22 га опытных объектов с участием сосны скрученной. Учитывая опыт культивирования сосны скрученной в Скандинавии и нашей стране, этот вид рассматривается как весьма перспективный объект интродукции.

Объекты и методика исследований

Объект изучения – смешанные испытательные культуры сосен скрученной и обыкновенной, созданные в 1988 г. в Видлицком лесничестве Олонцкого лесхоза. Тип леса – черничный, почва – подзолистая супесчаная подстилаемая суглинками в условиях моренного полого-волнистого рельефа. Исследования были организованы с использованием стационарно-динамического метода [2]. Данный метод предусматривает периодическое (раз в три-

пять лет) изучение хода роста лесных культур на постоянных пробных площадях (ППП) до возрастов количественной, технической и естественной спелости. ППП были заложены с таким учетом, чтобы выявить влияние на устойчивость и продуктивность культур таких факторов, как: биологические особенности видов (экзот – сосна скрученная, абориген – сосна обыкновенная); вид посадочного материала (однолетние тепличные сеянцы, трехлетние перешколенные саженцы); генетические особенности вариантов.

При исследовании древостоя на пробе определялись фактическое среднее расстояние между рядами, общее количество рядов и их протяженность, расстояние между растениями в ряду. На основании этих данных вычислялась фактическая исходная густота культур при посадке. В последующие годы сохранность культур определялась как отношение количества сохранившихся растений к общему числу высаженных на момент исследования. Уточнялся возраст культур: календарный (лесокультурный) – число вегетационных сезонов, прошедших с момента создания культур; биологический – лесокультурный возраст плюс возраст посадочного материала.

Диаметр на высоте груди (1,3 м) замерялся стандартной шведской мерной вилкой с точностью до 1 мм. Деревья высотой менее 1,3 м учитывались отдельно по их числу. Одновременно описывалось

само дерево. Глазомерно оценивалась стройность ствола по четырехбалльной шкале: 1 – прямой; 2 – слабоискривленный; 3 – сильноискривленный; 4 – кустовидный (осевой побег не выражен). Для определения величины потенциального отпада отдельно учитывались экземпляры, отставшие в росте и с закрытой вершиной, а также явно выраженные двойчатки.

Повреждения в культурах фиксировались одновременно с замером диаметра. Отмечались деревья, наклоненные и поваленные под воздействием снеговой и ветровой нагрузки (снеговал, снеголом, ветровал, бурелом). Отдельно фиксировались повреждения (слом вершины, откусывание ветвей, обдир коры), причиненные крупными млекопитающими и грызунами. Отмечались повреждения побегов и хвои вследствие болезней и вредителей и неблагоприятных погодных факторов. Одновременно с замером диаметра по наличию созревающих шишек велся учет «плодоносящих» деревьев и параметра «плодоношения» как качественного альтернативного признака. Применительно к представителям рода сосна термин плодоношение применяется традиционно, поэтому далее по тексту он употребляется без кавычек.

Для построения графика высот отдельно по видам посадочного материала (саженцы и сеянцы) были измерены высоты у 100 (2х50 шт.) растений сосны обыкновенной и сосны скрученной. Замер высот осуществлялся высотомером ВН-1 с точностью ± 20 см. Объемы стволов определялись по таблицам Казиминова и Кабанова [3]. Поскольку для сосны скрученной специальных таблиц не разработано, то объемы ее стволов вычислялись по таблице для сосны обыкновенной.

Общая площадь участка культур – 13,3 га, в том числе площадь опыта 5,9 га. Ряды ориентированы по длинной стороне (433 м) в направлении Юг-Север. На опытной площади один гектар был заложен трехлетними перешколенными саженцами (1т+2), а остальная часть – однолетними тепличными сеянцами с открытой корневой системой. Посадочный материал выращивался в базисном питомнике Олонецкого лесхоза.

Первоначально (1997, 2002 гг.) ППП-1 площадью 1,0 га включила в себя все варианты обоих видов, заложенных трехлетними саженцами (1т+2). В 2006 г. прилегающие к дороге крайние два ряда были исключены, и в целом площадь пробы уменьшена до 0,5 га. Для характеристики культур, созданных тепличными однолетками, в 2002 г. заложены две пробные площади (ППП-2 и ППП-3) по 0,5 га. В итоге площадь сплошного перечета в 2006 г. составила 1,5 га или 25,4% от общей площади опыта.

Результаты исследований

В статье представлены результаты очередного этапа начатых ещё в 1988 г. исследований хода роста происхождений сосны скрученной в данных испытательных культурах [1, 4]. В 1997 г. на ППП-1 сохранность сосны скрученной составила 72%, сосны обыкновенной – 70. В 2002 и 2006 гг. сохранность экзота равнялась 70,2 и 65,4%, а у аборигенной сосны – 67,4 и 61,4% соответственно.

На остальной площади (культуры созданы однолетними сеянцами) в 1997 г. показатель сохранности у обоих видов составил 64%. По данным учета 2002 г. на ППП-1 и ППП-2 погибших растений отмечено не было, а в 2006 г. учтен только один усохший экземпляр сосны обыкновенной. Поэтому в итоге общий показатель сохранности культур из сеянцев остался на уровне 1997 г. (64%) и стал практически таким же, как и на ППП-1.

В 2002 г. при отбивке пробных площадей в натуре были уточнены общая площадь опыта и схема размещения посадочного материала. Испытательные культуры обычно закладываются по схеме 3 х 1 м с густотой не менее 3300 шт/га. Фактически же среднее расстояние между рядами на опытном участке составило 4,3 м вместо положенных 3,0 м. Поэтому исходная густота культур оказалась заниженной: по саженцам – в 1,8 раза (1852 шт/га), по сеянцам – в 2,2 (1513 шт/га). В настоящее время на заложенном саженцами участке сформировалось смешанное насаждение, имеющее структуру древостоя 6С об. 4С скруч. по числу стволов и практически такую же структуру (5,6С об. 4,4С скруч.) по запасу. На остальной площади (4,9 га) соотношение пород по числу стволов было практически равным – 5,2С скруч. 4,8С об. 4,1С об. Структура древостоя по запасу выглядела немного иначе – 5,9С скруч. 4,1С об.

Посадочный материал выращивался из семян различных селекционных категорий (нормальные и улучшенные). Шишки сосны обыкновенной собирались отдельно по клонам на прививочной лесосеменной плантации (ЛСП) Олонецкого лесхоза. Контролем к аборигенной сосне являлся вариант, выращенный из общего образца семян сосны обыкновенной с той же самой лесосеменной плантации. Формально такие семена считаются генетически улучшенными. Сосна скрученная имела как местное карельское (Имплахти, Сортавала), так и непосредственно канадское происхождение (табл. 1).

В данном случае под местным «карельским» происхождением или вариантами сосны скрученной понимались образцы семян, собранные в старых финских культурах в юго-западной части Республики Карелия (Северное Приладожье). Остальные варианты сосны скрученной – это образцы семян популяционного сбора (нормальные семена) из естественных насаждений ее природного ареала. Как следует из табл. 1, клоны сосны обыкновенной с Олонецкой ЛСП имеют различное географическое происхождение.

Все варианты экзота из Канады происходят из восточной части его ареала, из одной административной провинции Альберта, расположенной на 7...5° южнее по отношению к месту испытаний в Карелии. Как это часто бывает в отношении старых интродукционных посадок, точное происхождение семян, использованных для их создания, неизвестно. Однако в нашем случае уместно сослаться на мнение Вейссенберга [5], изучившего состояние старых посадок сосны скрученной в южной Финляндии. В частности, он писал следующее: «Большинство насаждений были созданы в конце 20-х, начале 30-х годов... Семенной материал, за двумя исключениями, происходил из достаточно ограниченного региона (49-52° с.ш. и 112-110° з.д.). Два

Таблица 1

**Происхождение семенного материала
или материнских деревьев-клонов (сосны обыкновенной)**

Вариант	Место происхождения	Широта, град. с.ш.	Долгота, град.*	Высота над ур.м, м	Климатип (подвид у сосны обыкновенной)
Сосна обыкновенная (Карелия)					
Чупа	Лоухский р-н	66°10'	33°00'	150	lapponica
Ругозеро	Муезерский р-н	64°05'	32°40'	150	lapponica
Олонец	Олонецкий р-н	61°00'	33°00'	100	sylvestris
Контроль	Олонецкий р-н	61°00'	33°00'	100	sylvestris
Сосна скрученная					
Импилхти (Карелия)	Питкяранский р-н	61°40'	31°10'	100	Нет данных
Сортавала (Карелия)	Сортавальский р-н	61°43'	30°45'	100	---«»---«»---
S23A8560230 (Канада)	Hines Creek	56°10'	118°30'	825	Fort St. John
S23A8560231 (Канада)	Saddle Hills	55°44'	119°40'	609	---«»---«»---
S23A8560229 (Канада)	Cutbank	54°35'	119°00'	1066	---«»---«»---
S23A8560227 (Канада)	Swan Hills	54°30'	115°30'	1066	Alberta
S23A8560228 (Канада)	Marlbroedson	53°55'	116°50'	1036	---«»---«»---

*Для Республики Карелия дана долгота восточная, а для Канады – западная.

Таблица 2

**Агроклиматические показатели части естественного
и интродукционного ареалов сосны скрученной**

Показатели	Канада, провинция Альберта	Республика Карелия, Олонецкий р-н
Географические координаты района	50-56° с.ш., 112-120° з.д.	61-62° с.ш., 30-33° в.д.
Высота над ур.м, м	600-1220	50-100
Средняя температура °С:		
Годовая	2,0	2,4
Января	-15	-10,3
Июля	16	16,1
Годовые осадки, мм	760	584
Безморозный период, дни	75	111
Сумма температур ≥5°	1600	1893
Продолжительность вегетационного периода, дни	160	158
Индекс континентальности	40-50	36-42

вышеуказанных исключения происходят из района с координатами 55-57° с.ш. и 119-117° з.д....». Таким образом, можно практически с абсолютной точностью утверждать, что все семь включенных в опыт вариантов сосны скрученной происходят из канадской провинции Альберта и представляют ее внутриконтинентальный подвид *latifolia*.

Анализ основных агроклиматических показателей соответствующих частей естественного и интродукционного ареалов (табл. 2) свидетельствует в пользу их значительного сходства, хотя в климате восточных предгорий Скалистых гор континентальные черты выражены более отчетливо.

Разведение сосны скрученной в Карелии означает перенос ее в условия умеренно-континентального климата с элементами морского, для которого в начале и конце зимнего периода характерны обильные осадки в виде тяжелого мокрого снега, что может создавать проблемы, связанные с биомеханической устойчивостью растений. Это подтверждается большим опытом разведения данного экзота в Швеции [6, 7].

Поскольку на участке, созданном саженцами (ППП №1), сосна скрученная была представлена только вариантом «Сортавала» в четырех повторностях (рядах), оптимальным представляется рассмотрение данных по росту культур в целом по видам (табл. 3, рис. 1).

Как уже упоминалось в предыдущих публикациях [1, 4], с первых лет жизни сосна скрученная росла быстрее сосны обыкновенной. Некоторое преимущество экзота по диаметру у корневой шейки и высоте отмечалось уже на этапе однолетних тепличных сеянцев, а также на момент выкопки трехлетних саженцев из школьного отделения. Различия между видами на всех возрастных этапах были статистически достоверными, но не одинаковыми по величине. Наибольшая относительная разница по высоте между аборигенной сосной и экзотом имела место в трехлетних культурах (биологический возраст – шесть лет) (рис.1). Далее как бы наметилась тенденция к ее уменьшению. По результатам замеров 2002 г. (биологический возраст 18 лет) можно было ожидать, что в ближайшие четыре-пять вегетационных сезонов аборигенная сосна догонит экзот. Однако этого не произошло, и в 2006 г. (биологический возраст 22 года) сосна скрученная по-прежнему статистически достоверно превосходит сосну обыкновенную по высоте и диаметру на 10,5 и 6,4% соответственно.

Сбор данных на пробе проводился в 1997, 2002 и 2006 гг. (табл. 4). Анализируемый общий 9-летний промежуток можно разбить на пяти- (1997-2002 гг.) и четырехлетний (2002-2006 гг.) временные отрезки. Динамика основных таксационных показателей исследуемых сосен за 9-летний период убедительно свидетельствует об активном росте и дифференциации древостоев. Общий запас на участке за пятилетие увеличился в 3,8 раза, а за следующие четыре года – в 1,7. Аналогичной была тенденция и в отношении среднего объема ствола.

Таблица 3

**Основные биометрические характеристики
сосен скрученной и обыкновенной на ППП-1**

Порода	Число наблюдений	Диаметр, см	Коэффициент вариации диаметра, %	Достоверность различий, (T-test)*	Высота, м
1997 г.					
Сосна скрученная	320	5,7±0,10	30,0	10,15	4,1±0,05
Сосна обыкновенная	501	4,4±0,08	42,3	-	3,3±0,04
2002 г.					
Сосна скрученная	313	9,2±0,10	27,9	4,51	6,4±0,05
Сосна обыкновенная	482	8,3±0,13	35,1	-	6,0±0,05
2006 г.					
Сосна скрученная	293	11,6±0,20	25,8	2,69	8,3±0,50
Сосна обыкновенная	439	10,9±0,20	32,2	-	7,5±0,40

* $T_{st} = \{2,0-2,6-3,3\}$

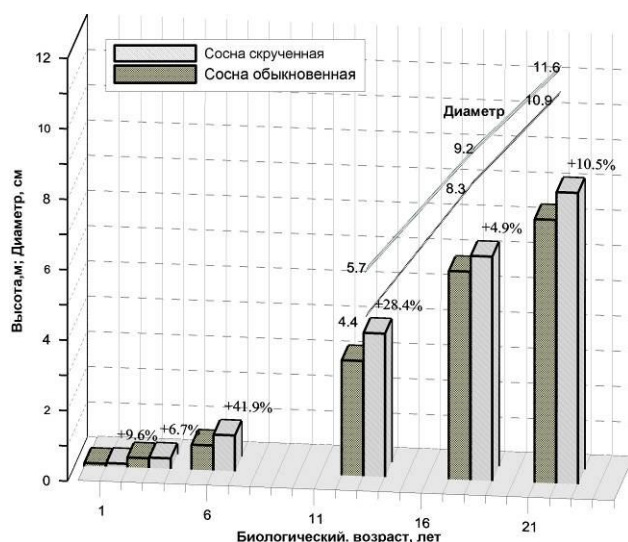


Рис.1. Ход роста сосен скрученной и обыкновенной в высоту и по диаметру (ППП-1).

Причем, если у сосны скрученной за указанные временные промежутки он вырос в 3,4 и 1,9 раза, то у сосны обыкновенной – в 4,6 и 1,9 раза соответственно. Дело в том, что в 1997 г. разница по среднему объему ствола между видами была максимальной (61,1% в пользу экзота). В 2002 и 2006 гг. она сократилась до 18,5 и 16,5%, соответственно. Аборигенный вид явно начал догонять экзота. К 19-летнему возрасту культур (биологический возраст 22 года) на участке сформировалось смешанное насаждение, имеющее следующие характеристики: состав и структура – 6С обыкн.4С скруч.; относительная полнота – 0,67; запас – 69,2 м³/га; густота – 1460 ств./га; средние диаметр и высота – 11,2 см и 7,8 м. По данным учета 2002 г., доля особей с закрытой вершиной, т.е. в той или иной мере угнетенных, у сосны обыкновенной оказалась почти в два раза больше, чем у сосны скрученной. С этим связывался и более высокий коэффициент вариации ее диамет-

ра (см. табл. 3). Соответственно был сделан прогноз об увеличении в ближайшие годы объема естественного отпада у аборигенного вида. Это подтверждают данные табл. 4: в 2002 и 2006 гг. у сосны скрученной отпад по числу стволов составил 2,5 и 6,7%, а у сосны обыкновенной – 3,8 и 8,9% соответственно.

Кроме процесса естественного изреживания древостоя в наблюдаемую величину отпада весомый вклад вносит целый комплекс биотических и абиотических факторов (рис. 2). Во-первых, следует затронуть проблему устойчивости культур к ветровой и снеговой нагрузкам. Как отмечает в своей обзорной работе Б. Елфинг с соавторами [6], сосна скрученная быстро растет, развивая с первых лет жизни мощную, тяжелую крону с длинной хвоей. Но при этом приходящаяся на ствол относительная доля фитомассы у нее меньше, чем у сосны обыкновенной. В этом главная причина ее меньшей механической устойчивости по сравнению с аборигенной сосной. В условиях умеренного климата с элементами морского, который характерен для стран Северной Европы и Северо-Запада России, данная особенность начинает играть существенную роль. Если же к указанным биологическим особенностям добавляются специфические, связанные с низким качеством посадки, лесокультурные проблемы, а также чрезмерная крупность посадочного материала, то со временем, по мере увеличения размеров и массы растений, их устойчивость к внешним нагрузкам снижается. При отклонении стволика от вертикали деревца продолжают расти, что и приводит к искривлению ствола.

Причины, снизившие стройность ствола на заложенном саженцами участке, подробно обсуждались в одной из предыдущих публикаций [1]. Основная часть снеговальных растений была учтена еще в 1997 г., позднее к ним добавились буквально единичные стволы. Практически все они в 2002 г. еще относились к категории растущих и начали активно переходить в отпад только к 2006 г. При вычислении показателя стройности ствола данная категория не учитывалась. В целом сосны скрученной и обыкновенной на ППП-1 по обобщенной (1997-2006 гг.) оценке стройности ствола и доле снеговальных особей различались несущественно – 1,72; 6,1% и 1,75; 7,2% соответственно.

Средняя (1997-2006 гг.) доля двойчаток у сосны скрученной – 3,3% против 0,8 у сосны обыкновенной. У интродукта двойчатки встречаются практически во всех ступенях толщины. Отдельно следует остановиться на характере повреждения саженцев крупными млекопитающими, преимущественно лосем. Встречались повреждения двух типов: характерный слом вершины и обгладывание (погрызы, обдир) коры со стволов (рис. 2). В целом частота этих повреждений была незначительной. У сосны обыкновенной в 2006 г. чаще отмечен слом вершины (1,4%), а у сосны скрученной – обдир коры (1,4%). Наличие рядом с территорией опыта ме-

Таблица 4

**Основные таксационные показатели сосен
скрученной и обыкновенной (ППП-1)**

Показатели	Сосна скрученная			Сосна обыкновенная		
	1997 г.	2002 г.	2006 г.	1997 г.	2002 г.	2006 г.
Число стволов	640	624	582	1002	964	878
Запас, м ³ /га	5,260	17,241	30,176	5,099	22,447	39,046
Средний объем, м ³	0,0082	0,0276	0,0518	0,0051	0,0233	0,0445
Средний диа- метр, см	5,7	9,2	11,6	4,4	8,3	10,9
Средняя высо- та, м	4,1	6,4	8,3	3,3	5,9	7,5
Относительная полнота	0,14	0,23	0,27	0,18	0,32	0,40
Стройность, балл	1,89	1,77	1,72	1,78	1,79	1,70
Отпад (число стволов/запас, м ³ /га)	—	16	42	—	38	86
	—	0,056	0,621	—	0,142	0,806

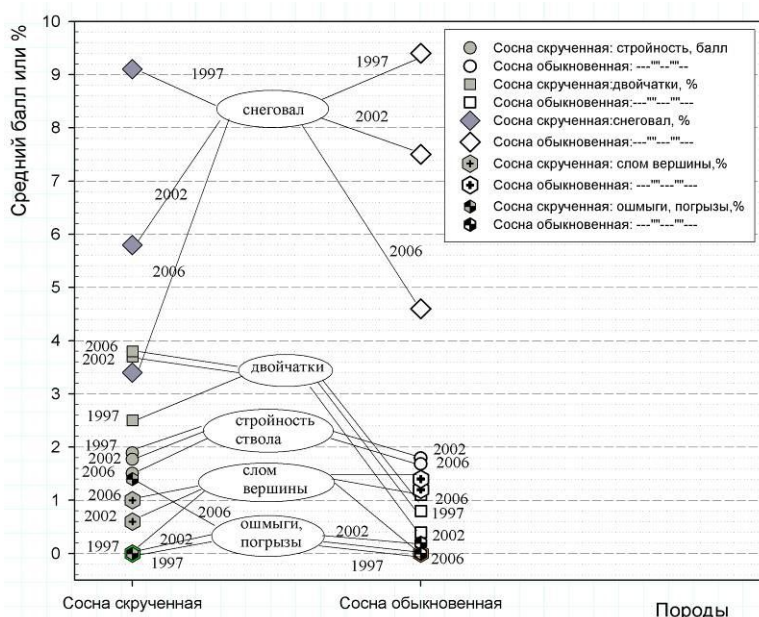


Рис.2. Признаки, характеризующие устойчивость пород к комплексу повреждающих факторов.

двеей берлоги привело к тому, что некоторые стволы были ободраны и наклонены медведем. От числа всех живых стволов на ППП-1 доля поврежденных крупными млекопитающими деревьев у сосны обыкновенной составила 1,4%, а у сосны скрученной – 2,4.

Для сосны скрученной характерно раннее вступление в репродуктивную фазу онтогенеза (примерно с пятилетнего возраста). В 1997 г. имели плодоношение 42,5% деревьев, в 2002 г. – 60,3, а в 2006 г. – 78,4%. Для сосны обыкновенной этот показатель равнялся 8,6; 8,7 и 53,8% соответственно. По мере увеличения ступени толщины доля плодоносящих особей у обоих видов в ступени увеличивалась, достигая 80–100% в

господствующей части древостоя. Тем не менее, различия между ними в интенсивности плодоношения были очевидны. Только в 2006 г. кривая распределения доли плодоносящих деревьев по ступеням толщины (в % от общего числа деревьев элемента леса) у сосны обыкновенной стала похожей на таковую у сосны скрученной (рис. 3). Выявленные особенности биологии экзота создают весьма благоприятные предпосылки для формирования на базе опытных культур постоянных лесосеменных участков этой породы.

Обработка данных отдельно по пробным площадям ППП-2 и ППП-3 показала, что исследуемые совокупности биологически и статистически однородны. Поэтому первичный материал был объединен в один массив данных и все последующие выводы распространяются на весь участок культур (4,9 га), заложенный однолетними тепличными сеянцами с открытой корневой системой. Показатели роста и развития созданного сеянцами фрагмента культур довольно существенно отличались от соответствующих параметров фрагмента, заложенного саженцами, хотя следует отметить и ряд общих моментов (рис. 4, табл. 5). Анализ ростовых показателей 15-летних культур в 2002 г. давал основания ожидать, что в следующем пятилетии аборигенная сосна по основным биометрическим показателям догонит интродуцируемый вид. Однако этого не случилось, и в 2006 г. сосна скрученная статистически достоверно превосходила сосну обыкновенную по диаметру на 12,9%, а высоте и среднему объему ствола – на 10,9 и 31,7% соответственно. Как уже отмечалось, на данном участке сформировалось смешанное насаждение со следующими характеристиками: состав и структура – 5,2С скруч. 4,8С обыкн. по числу стволов, по запасу – 5,9С скруч. 4,1С обыкн.; густота – 1139 шт./га; относительная полнота – 0,44; запас – 43,11 м³; средние диаметр и высота – 9,9 см и 7,5 м.

Следует сказать, что исследованные варианты культур обеих сосен демонстрируют довольно ровные показатели роста по диаметру (табл. 6). У сосны обыкновенной один отстающий вариант «Ругозеро», а у сосны скрученной – один лидирующий – «S23A8560227». У сосны скрученной была выше доля двойчаток и снеговальных стволов, а у сосны обыкновенной – выше доля особей со сломанной вершиной. Оценка стройности ствола у обоих видов была высокой, причем сосна скрученная даже немного опережала аборигенный вид по данному показателю. При этом у сосны скрученной показатель стройности с увеличением диаметра менялся незначительно, в то время как у сосны обыкновенной был отмечен выраженный тренд – с увеличением ступени толщины качество ствола заметно росло. Ну и, конечно, одна

Таблица 6

**Основные характеристики сосен
скрученной и обыкновенной на ППП-2 и ППП-3**

Вариант	N	Диаметр, см	Высота, м	Объем среднего дерева, м ³	Стройность ствола, балл	Двойчатки, %	Снеговал, %	Слом вершины, %	Обдир коры, %	Запас, м ³ /га
Сосна обыкновенная										
24 Чупа	81	9,3	7,1	0,033	1,25	—	1,2	2,5	—	2,6
Ругозеро	114	8,7	7,0	0,029	1,32	0,9	—	2,6	1,8	3,3
2 Олонец	210	9,3	7,1	0,032	1,24	1,0	—	2,4	0,5	6,7
3 Олонец	65	9,8	7,2	0,038	1,31	3,1	—	4,6	—	2,5
Контроль	77	9,7	7,1	0,035	1,32	—	—	—	—	2,7
Среднее (итого)	547	9,3	7,1	0,033	1,28	0,9	0,2	2,6	2,4	17,8
Сосна скрученная										
Импла- лахти	219	10,2	7,8	0,041	1,25	0,9	5,5	0,9	1,4	8,9
Сорта- вала	73	10,6	7,9	0,046	1,24	4,1	11,0	1,4	11,0	3,4
S23A856 0230	74	10,5	7,9	0,043	1,45	—	—	—	—	3,2
S23A856 0231	57	10,6	8,0	0,042	1,23	—	—	3,5	3,5	2,4
S23A856 0229	14	9,5	7,6	0,033	1,14	—	—	7,1	—	0,5
S23A856 0227	54	11,5	8,2	0,051	1,07	—	—	—	—	2,7
S23A856 0228	101	10,6	8,0	0,042	1,15	1,0	1,0	2,0	1,0	4,3
Среднее (итого)	592	10,5	7,9	0,043	1,22	1,2	3,7	1,4	2,4	25,3

Примечание. Жирным курсивом отмечены варианты, имеющие статистически достоверное отличие от общего среднего по породе; — нет данных.

из самых заметных особенностей экзота — это раннее вступление растений в репродуктивную стадию развития. На ППП-1 различие по плодоношению между видами уже менее заметно, а на ППП -2 и ППП-3 оно еще велико. В целом, доля плодоносящих растений у аборигенной сосны примерно в два раза меньше, чем у экзота (табл. 5). Анализируя набор исследованных качественных признаков, необходимо отметить, что культуры в целом находятся в хорошем состоянии, а имеющиеся повреждения незначительны (табл. 6).

Еще в 1997 г. для заложенных сеянцами культуры были отмечены высокое качество ствола, отсутствие снеговала и хороший рост. Высказано предположение, что в скором времени созданные сеянцами и саженцами участки культур по биометрическим показателям сравняются. Кроме того, обработка данных за 2002 г. показала, что разрыв между экзотом и аборигенной сосной значительно

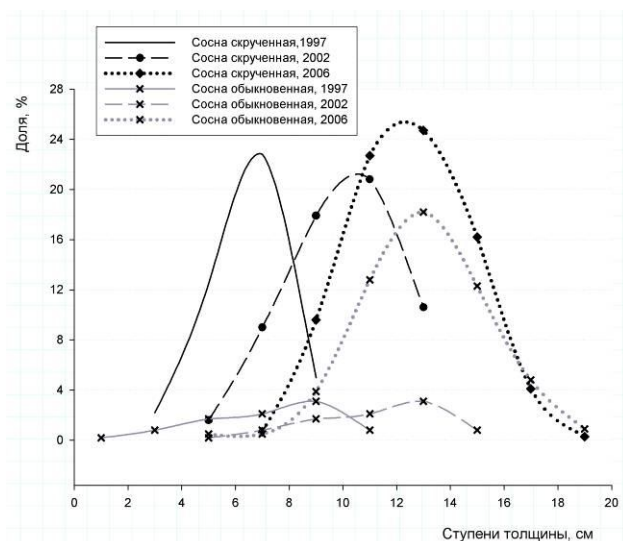


Рис.3. Распределение плодоносящих деревьев по ступеням толщины, % от их общего числа по породам (ППП-1).

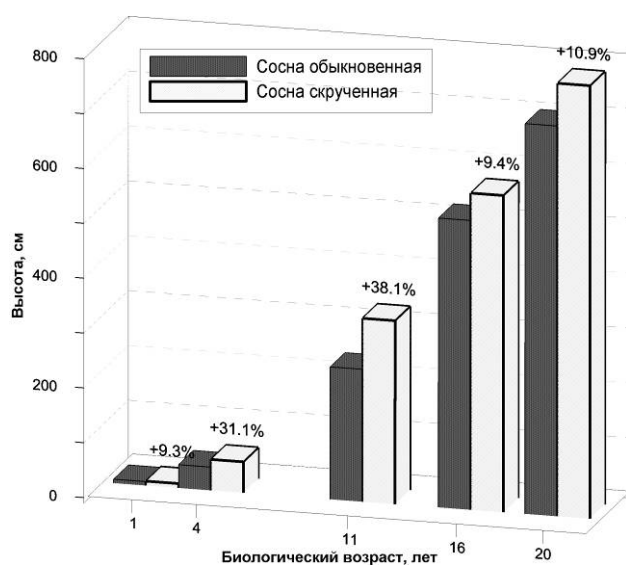


Рис. 4. Ход роста сосен скрученной и обыкновенной в высоту (ППП-2, ППП-3).

Таблица 5

**Основные таксационные показатели сосен
скрученной и обыкновенной, ППП-2 и ППП-3**

Показатели	Сосна скрученная	Сосна обыкновенная
<u>Число стволов, шт</u>	<u>592</u>	<u>547</u>
запас, м ³ /га	25,3	17,8
<u>Плодоносящие особи, шт.</u>	<u>474</u>	<u>232</u>
%	80,1	42,4
Стройность, балл	1,22	1,28
Средний объем ствола, м ³	0,04281	0,03248
Средний диаметр, см	10,5	9,3
Средняя высота, м	7,92	7,14
Относительная полнота	0,24	0,20

Таблица 7

**Динамика таксационных характеристик
18-летних культур сосны скрученной
и сосны обыкновенной в зависимости от вида
посадочного материала**

Годы учета	Сосна обыкновенная			Сосна скрученная		
	Объем среднего дерева, м ³	Запас на 1га, м ³	Среднепериодич. прирост, м ³ /га	Объем среднего дерева, м ³	Запас на 1га, м ³	Среднепериодич. прирост, м ³ /га
Саженцы (1т+2)						
1997	0,005	8,5	5,83	0,0082	13,2	6,02
2002	0,023	37,4	7,25	0,0276	43,1	8,47
2006	0,045	65,1		0,0518	75,4	
Темп роста (2002-2006), %	91,0	74,0	24,4	87,7	75,0	40,7
Сеянцы (1т)						
2002	0,018	21,0	4,01	0,0229	26,1	5,66
2006	0,033	37,0		0,0428	48,7	
Темп роста, %	85,7	76,6		86,9	86,6	
Сеянцы по отношению к саженцам, %						
2002	-24,9	-44,0	-44,7	-17,0	-39,4	-33,2
2006	-27,0	-43,1		-17,4	-35,4	

сократился. Это давало повод ожидать, что к моменту следующего обследования сосна обыкновенная догонит сосну скрученную. Однако ни того, ни другого события пока не произошло (табл. 7).

В табл. 7 дана сравнительная оценка продуктивности культур по породам и категориям посадочного материала. Текущий годичный (среднепериодический) прирост рассчитан по формуле: изменение запаса плюс отпад, деленное на число лет соответствующего периода. Если говорить о саженцах, то, как следует из таблицы, темп роста обоих видов сосны практически одинаков, однако текущий годичный прирост за последнее четырехлетие у интродуцента был выше на 16,8%. По сеянцам картина несколько иная. По темпам увеличения всех таксационных показателей экзот имеет стабильное преимущество, а по величине прироста разница между видами достигает 41,1%. В целом превосходство интродуцента по приросту на опытном участке составило 37,1%. Следует упомянуть, что оценка сосны скрученной как более продуктивной породы по объему стволовой древесины (+36% по сравнению с аборигенной сосной) в работах Елфинга и других исследованиях [6, 8] рассчитана именно по величине максимального среднепериодического прироста. Данные табл. 7 также свиде-

тельствуют о том, что относительная разница между сеянцами и саженцами сохраняется. Иными словами, созданные перешколенными трехлетними саженцами культуры имеют более высокую сохранность, диаметр и высоту. Такого рода положительный эффект применения крупномерного посадочного материала хорошо известен. Однако по другим показателям картина не столь однозначна (табл. 8).

Таблица 8

**Качество ствола и повреждаемость культур
сосен скрученной и обыкновенной по видам
посадочного материала**

Вариант	Стройность ствола, балл	Двойчатки, %	Снеговал, %	Слом вершины, %	Обдир коры, %
Сосна обыкновенная					
Сеянцы	1,28	0,9	0,2	2,6	2,4
Саженцы	1,68	1,1	4,6	1,4	0
Сосна скрученная					
Сеянцы	1,22	1,2	3,7	1,4	2,4
Саженцы	1,51	3,8	3,4	1,0	1,4

Культуры из сеянцев отличаются лучшим качеством ствола, но сохранность у них ниже. Известно, что при прочих равных условиях более мелкий посадочный материал предполагает большее количество уходов. В нашем случае они сильнее пострадали от пося. Очевидно, что использование крупномерного материала позволяет культурам быстрее выходить из зоны риска. Можно сказать, что для сосны скрученной вопросы крупности посадочного материала, соотношения развития надземной и подземной частей дерева, густоты посадки даже более актуальны, чем для сосны обыкновенной, так как жесткость ствола и биомеханическая устойчивость у нее ниже. Искривление же стволиков в молодом возрасте в дальнейшем повышает вероятность ветровала и снеговала, что в конце концов сказывается на всех таксационных параметрах древостоя и в первую очередь на его товарности.

Применительно к искусственному лесовосстановлению в таежной зоне преодоление так называемого «фактора времени» подразумевает формирование различными методами и способами хвойных молодняков, обладающих ускоренным ростом. Описанные культуры сосны созданы в относительно благоприятных почвенно-климатических условиях средней подзоны тайги на юго-западе Карелии. Согласно рекомендациями ЛенНИЛХ [9], на момент исследования производительность культур оценена по I,5 классу бонитета. Следует отметить, что интенсивный рост культур достигнут без применения удобрений и химического ухода, а только за счет правильного выбора лесокультурной площади в смысле ее соответствия эколого-биологическим свойствам высаживаемых пород, хорошей очистки лесосеки, обработки почвы дисковым орудием (ПДН-1), использования качественного посадочного материала и проведения своевременных уходов механическим способом.

Заключение

Исследованиями на опытном участке выявлено, что акклиматизация экзота из провинции Альберта (Канада), несмотря на свое относительно южное происхождение (5...7° южнее места испытаний) и перенос в существенно менее континентальные климатические условия, показала хорошую сохранность, удовлетворительную устойчивость к комплексу биотических и абиотических факторов среды, быстрый рост и ускоренный переход к генеративной стадии развития. Аналогичные выводы могут быть сделаны и в отношении карельских вариантов «Сортавала» и «Импилехти».

Таким образом, сосна скрученная (*Pinus contorta* ssp. *latifolia* S. Watson) оказалась способной не только к успешной акклиматизации, но отчасти и к натурализации в почвенно-климатических условиях подзоны средней тайги Карелии. При совместном выращивании с аборигенной сосной обыкновенной она успешно встраивается в систему связей формирующегося культурфитоценоза и становится его органической частью. В пределах исследованного возрастного периода усредненное по опыту преимущество сосны скрученной перед аборигенной сосной по производительности составило 37,1% при оценке по среднепериодическому приросту за последние четыре года. Есть основания считать, что использование сосны скрученной как пионерной скороспелой породы в смеси с аборигенной сосной обыкновенной в средней подзоне тайги Карелии целесообразно при создании лесосырьевых плантаций для получения как балансовой, так и крупной пиловочной древесины.

Литература

1. Раевский Б.В., Мордась А.А. Рост и продуктивность испытательных культур сосны скрученной в южной Карелии // Лесной журнал, 2000. №5-6. С.74-81.
2. Огиевский В.В., Хиров А.А. Обследование и исследование лесных культур. М.: Лесная промышленность, 1964. 52 с.
3. Лесотаксационные таблицы/ Сост. Н.И. Казимиров, В.В. Кабанов. Петрозаводск, 1976. 32 с.
4. Раевский Б.В., Мордась А.А. Ход роста культур сосны скрученной в подзоне средней тайги // Лесной журнал, 2005. №1-2. С. 22-32.
5. Seventy years experience of lodgepole pine in Finland / K. von Weissenberg // Proceedings of the IUFRO joint meeting of working parties. Canada: Vancouver, 1978. Vol. 2. 24 p.
6. Elfving B., Ericsson T., Rosvall O. The introduction of lodgepole pine for wood production in Sweden – a review // Forest Ecology and Management, 2001. Vol. 141. P. 15-29.
7. Ericsson T. Lodgepole pine (*Pinus contorta* var. *latifolia*) breeding in Sweden. Umea: Swed. Univer. of Agricult. Sciences, 1994. 33 p.
8. Volume yield superiority of lodgepole pine compared to Scots pine in Sweden / Elfving B., Norgren O. // *Pinus contorta* from untamed forest to domesticated crop. Umea, 1992. P. 69-80.
9. Прогнозные таблицы хода роста плантационных культур. Л.: ЛенНИИЛХ, 1988. 37 с.

ПИГМЕНТНЫЙ КОМПЛЕКС РАСТЕНИЙ ПРИРОДНОЙ ФЛОРЫ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА

Т.К.ГОЛОВКО, И.В.ДАЛЬКЭ, О.В.ДЫМОВА, И.Г.ЗАХОЖИЙ, Г.Н.ТАБАЛЕНКОВА

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г.Сыктывкар

Исследовано содержание и соотношение фотосинтетических пигментов в листьях 120 видов растений, произрастающих на Приполярном Урале, Южном Тимане и в бассейне среднего течения р. Вычегда. Выявлены межвидовые различия, показаны изменения содержания пигментов в зависимости от типа жизненной формы и географической принадлежности. Установлено увеличение относительного содержания каротиноидов в ряду бореальные – гипоарктические – арктоальпийские виды. Полученные данные расширяют представления о пигментном комплексе растений природной флоры Севера и могут быть использованы для ранней диагностики состояния их фотосинтетического аппарата.

Ключевые слова: фотосинтетический аппарат, каротиноиды, хлорофиллы, адаптация

T.K.GOLOVKO, I.V.DALKE, O.V.DYMOVA, I.G.ZAKHOZHIIY, G.N.TABALENKOVA. PIGMENT COMPLEX OF NATURAL FLORA PLANTS OF THE EUROPEAN NORTH-EAST

The content and ratio of photosynthetic pigments in leaves of 120 species, growing in the SubPolar Ural Mountains, the South Tyman, in the middle stream river-basin of Vychegda, was investigated. The significant differentiation of species on the green and yellow content was revealed. At advancement to the North the increasing of the relative content of carotenoids in a row boreal – hypoarctic – arctalpine species was revealed. As a whole, these results extend our knowledge about mechanisms of adaptation of pigment apparatus and photosynthetic function realization in plants under cold climate environments.

Key words: photosynthetic apparatus, carotenoids (Car), chlorophylls (Chl), adaptation

Исследования флористического разнообразия на функциональном уровне необходимы для понимания приспособления растений к условиям существования, распространения видов, прогнозирования динамики растительности при глобальном изменении климата и обострении проблем региональной экологии. Для характеристики функционального состояния растений наиболее информативными считаются показатели фотосинтетического аппарата [1-3], а среди них состав, содержание и соотношение пигментов [4-6].

Пигменты занимают центральное место в фотосинтезе, обеспечивая поглощение и запасание солнечной энергии. К настоящему времени детально исследованы спектральные свойства и биосинтез основных фотосинтетических пигментов, разработана концепция антенных комплексов и реакционных центров, выявлены фундаментальные механизмы фотосинтеза [7]. Вместе с тем, значительное разнообразие таксонов растений и экологических условий их обитания определяют актуальность изучения роли пигментов в устойчивости и регуляции активности фотосинтетического аппарата. Количественное содержание и качественный состав пигментов, изменение их соотношения в листьях – важные и чувствительные показатели физиологического состояния растений и их

фотосинтетического аппарата, направленности адаптивных реакций при воздействии стрессовых условий. Однако современные сведения о пигментной системе растений разных ботанико-географических зон, которые можно найти в научной литературе, немногочисленны и противоречивы [6, 8-11].

Цель настоящей работы – исследовать пигментный комплекс растений природной флоры Севера и экспериментально обосновать выдвинутую авторами концепцию о повышении роли пигментного комплекса в обеспечении устойчивости и продуктивности растений в холодном климате.

На Севере растения произрастают на бедных и кислых почвах, при недостатке тепла, резких суточных и сезонных перепадах температуры, своеобразном световом режиме. В этих условиях фотосинтетическая система растений испытывает дополнительное напряжение, что не может не сказываться и на пигментном аппарате.

Районы, материал и методы исследования

Сбор материала проводили в 2004–2009 гг. во время экспедиционных выездов в Корткеросский, Сысольский и Княжпогостский районы Республики Коми (бассейн среднего течения р. Вычегда), на Юж-

Таблица 1

Продолжение табл.1

Список видов растений по районам исследований

№	Приполярный Урал	Южный Тиман	Бассейн среднего течения р. Вычегда
1.	<i>Achillea nigrescens</i> (E. Mey) Rydb Тысячелистник темнеющий	<i>Aconitum septen- trionale</i> Koelle. Аконит высокий	<i>Abies sibirica</i> Le- deb. Пихта сибирская
2.	<i>Alchemilla mur- beckiana</i> Buser Манжетка Мурбека	<i>Antennaria dioica</i> (L.) Gaertn. Кошачья лапка двудомная	<i>Achillea millefolium</i> L. Тысячелистник обыкновенный
3.	<i>Amoria repens</i> (L.) C. Presl Клевер ползучий	<i>Aster sibiricus</i> L. Астра сибирская	<i>Aconitum septen- trionale</i> Koelle Аконит высокий
4.	<i>Arctous alpina</i> (L.) Niedz. Толокнянка аль- пийская	<i>Astragalus danicus</i> Retz. Астрагал датский	<i>Alchemilla</i> sp. Манжетка
5.	<i>Artemisia tilesii</i> Ledeb. Полынь Тилезиуса	<i>Calamagrostis</i> <i>epigeios</i> (L.) Roth Вейник наземный	<i>Alisma plantago- aquatica</i> L. Частуха-подорож- никовая
6.	<i>Astragalus frigidus</i> (L.) A. Gray Астрагал холодный	<i>Caltha palustris</i> L. Калужница болот- ная	<i>Antennaria dioica</i> (L.) Gaertn. Кошачья лапка двудомная
7.	<i>Astragalus</i> <i>norvegicus</i> Grauer Астрагал нор- вежский	<i>Cortusa matthioli</i> L. Кортуза Маттиоля	<i>Bistorta major</i> S.F. Gray Горец змеиный
8.	<i>Atragene sibirica</i> L. Княжик сибирский	<i>Cotoneaster melano- carpa</i> Lodd. Кизильник черно- плодный	<i>Bromopsis inermis</i> Leys. Кострец безостый
9.	<i>Betula nana</i> L. Береза карликовая	<i>Crepis sibirica</i> L. Скерда сибирская	<i>Butomus</i> <i>umbellatus</i> L. Сусак зонтичный
10.	<i>Bartsia alpina</i> L. Бартсия альпий- ская	<i>Cypripedium</i> <i>calceolus</i> L. Башмачок настоя- щий	<i>Calla palustris</i> L. Белокрыльник болотный
11.	<i>Calamagrostis</i> <i>purpurea</i> (Trin.) Trin. Вейник пурпурный	<i>Dactylorhiza fuchsii</i> (Druce) Soo Пальчатокоренник фучса	<i>Chenopodium album</i> L. Марь белая
12.	<i>Carex aquatilis</i> Wahlenb. Осока водная	<i>Dendranthema</i> <i>zawadskii</i> (Herbich) Tzvel. Дендрантема За- вадского	<i>Comarum palustre</i> L. Сабельник болот- ный
13.	<i>Cystopteris</i> <i>dickieana</i> R. Sim. Пузырник Дайка	<i>Diphasium com- planatum</i> (L.) Rothm. Плаун сплюсненный	<i>Deschampsia cesp- tosa</i> (L.) Beauv Щучка дернистая
14.	<i>Diapensia lapponi- ca</i> L. Диапенсия лап- ландская	<i>Dryas octopetala</i> L. Дриада восьмиле- пестная	<i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott. Щитовник мужской
15.	<i>Empetrum</i> <i>hermaphroditum</i> (Lange) Вороника гермаф- родитная	<i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott. Щитовник мужской	<i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski Пырей ползучий
16.	<i>Hedysarum</i> <i>arcticum</i> B. Fedtsh. Копеечник аркти- ческий	<i>Equisetum palustre</i> L. Хвощ болотный	<i>Empetrum nigrum</i> L. Вороника черная
17.	<i>Larix sibirica</i> Ledeb. Лиственница сиб- ирская	<i>Epipactis atrorubens</i> (Hoffm.) Besser. Дремлик темно- красный	<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim. Лабазник вязолист- ный
18.	<i>Decumbens</i> <i>ledum</i> L. Багульник стелю- щийся	<i>Geum rivale</i> L. Гравилат речной	<i>Galium boreale</i> L. Подмаренник се- верный
19.	<i>Lycopodium</i> <i>clavatum</i> L. Плаун булавовид- ный	<i>Gymnadenia conop- sea</i> (L.) R.Br. Кокушник комари- ный	<i>Gymnocarpium</i> <i>dryopteris</i> (L.) Голокучник трех- раздельный
20.	<i>Lycopodium annoti- num</i> L. Плаун годичный	<i>Gymnocarpium</i> <i>robertianum</i> (Hoffm.) Newm. Голокучник Роберта	<i>Hylotelephium</i> <i>triphylum</i> (Haw.) Holub Очиток пурпурный

№	Приполярный Урал	Южный Тиман	Бассейн среднего течения р. Вычегда
21.	<i>Pedicularis verti- cillata</i> L. Мытник мутовча- тый	<i>Juniperus commu- nis</i> L. Можжевельник обыкновенный	<i>Hypericum macula- tum</i> Crantz Зверобой пятни- стый
22.	<i>Pentaphylloides</i> <i>fruticosa</i> (L.) O. Schwarz. Курильский чай	<i>Lathyrus pratensis</i> L. Чина луговая	<i>Juniperus commu- nis</i> L. Можжевельник обыкновенный
23.	<i>Phyllodoce</i> <i>caerulea</i> (L.) Bab. Филлодоце голу- бая	<i>Lathyrus vernus</i> (L.) Bernh. Чина весенняя	<i>Ledum palustre</i> L. Багульник болот- ный
24.	<i>Pyrola rotundifo- lia</i> L. Грушанка круг- лолистная	<i>Lycopodium annot- inum</i> L. Плаун годичный	<i>Leontodon autum- nalis</i> L. Кульбаба щетини- стая
25.	<i>Rhodiola rosea</i> L. Родиола розовая	<i>Melica nutans</i> L. Перловник по- никий	<i>Lycopodium clava- tum</i> L. Плаун булавовид- ный
26.	<i>Rosa acicularis</i> Lindley. Шиповник игли- стый	<i>Paeonia anomala</i> L. Пион уклоняю- щийся	<i>Maianthemum</i> <i>bifolium</i> (L.) F.W. Schmidt Майник двулист- ный
27.	<i>Rubus</i> <i>chamaemorus</i> L. Морошка обык- новенная	<i>Paris quadrifolia</i> L. Вороний глаз	<i>Oxalis acetosella</i> L. Кислица обыкно- венная
28.	<i>Salix dasyclados</i> Wimm. Ива шерстисто- побеговая	<i>Parnassia palustris</i> L. Белозор болот- ный	<i>Paris quadrifolia</i> L. Вороний глаз
29.	<i>Salix nummulla- ria</i> L. Ива монетолист- ная	<i>Pedicularis verticil- lata</i> L. Мытник мутовча- тый	<i>Petasites spurius</i> (Retz.) Белокопытник ложный
30.	<i>Salix reticulata</i> L. Ива сетчатая	<i>Petasites radiatus</i> (J.F. Gmel.) Holub. Белокопытник лучистый	<i>Pimpinella saxi- fraga</i> L. Бедренец камне- ломка
31.	<i>Tanacetum bipin- natum</i> (L.) Sch. Bip. Пижма дважды- перистая	<i>Pinguicula vulga- ris</i> L. Жирянка обыкно- венная	<i>Pinus sibirica</i> Du Tour Сосна сибирская
32.	<i>Vaccinium myrti- lus</i> L. Черника обыкно- венная	<i>Pinus sibirica</i> Du Tour Сосна сибирская	<i>Plantago major</i> L. Подорожник большой
33.	<i>Vaccinium uligi- nosum</i> L. Голубика обык- новенная	<i>Plantago media</i> L. Подорожник сред- ний	<i>Polygonum avicu- lare</i> L. Горец птичий
34.	<i>Valeriana wolgen- sis</i> Kazak. Валериана волжская	<i>Polygonum vivipa- rum</i> L. Горец живородя- щий	<i>Pyrola rotundifolia</i> L. Грушанка круглоли- стная
35.	<i>Woodsia glabella</i> R.Br. Вудсия голая	<i>Pyrola rotundifolia</i> L. Грушанка кругло- листная	<i>Rorippa amphibia</i> (L.) Bess Жерушник земно- водный
36.		<i>Sanguisorba offic- inalis</i> L. Кровохлебка аптечная	<i>Rosa majalis</i> Herrm. Шиповник май- ский
37.		<i>Saussurea alpina</i> (L.) DC. Соссюрея аль- пийская	<i>Rubus saxatilis</i> L. Костяника обык- новенная
38.		<i>Saxifraga hirculus</i> L. Камнеломка бо- лотная	<i>Rubus</i> <i>chamaemorus</i> L. Морошка обыкно- венная
39.		<i>Thymus talijevii</i> Klok. et Shost. Чабрец Талиева	<i>Taraxacum offic- inale</i> Wigg. Одуванчик ле- карственный

№	Приполярный Урал	Южный Тиман	Бассейн среднего течения р. Вычегда
40.		<i>Tofieldia pusilla</i> L. Тофельдия крошечная	<i>Thalictrum simplex</i> L. Василистник простой
41.		<i>Tussilago farfara</i> L. Мать-и-мачеха обыкновенная	<i>Trifolium medium</i> L. Клевер средний
42.		<i>Vaccinium uliginosum</i> L. Голубика обыкновенная	<i>Trifolium pratense</i> L. Клевер луговой
43.		<i>Valeriana capitata</i> Pallas. Валериана головчатая	<i>Veronica longifolia</i> L. Вероника длиннолистная
44.		<i>Valeriana wolgensis</i> Kazak. Валериана волжская	<i>Vaccinium myrtillus</i> L. Черника обыкновенная
45.		<i>Vicia cracca</i> L. Горошек мышиный	<i>Vaccinium uliginosum</i> L. Голубика обыкновенная
46.		<i>Vicia sylvatica</i> L. Горошек лесной	<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L. Брусника обыкновенная
47.		<i>Woodsia glabella</i> R.Br. Вудсия голая	

Примечание: Латинские названия видов приведены по [16].

ный Тиман (окрестности пос. Нижняя Омра, заказник «Сойвинский») и Приполярный Урал (район верхнего течения р. Кожим, Национальный парк «Югыд ва»). Флора данных районов подробно охарактеризована в ряде публикаций [12–15]. Список видов растений, исследованных на содержание пигментов, для каждого района приведен в табл. 1.

Из данных табл. 2 видно, что Приполярный Урал (подзона крайне северной тайги) характеризуется наиболее суровым климатом и коротким вегетационным периодом. Существенно теплее климат в бассейне среднего течения р. Вычегда (подзона средней тайги). Район Южного Тимана, хотя и относится к этой же подзоне, отличается по температурной обеспеченности и продолжительности вегетационного периода. Образцы листьев для определения содержания пигментов отбирали с 20–30 растений в 3–5-кратной биологической повторности. В исследованиях использовали функционально зрелые листья. У вечнозеленых хвойных (*Abies sibirica*, *Juniperus communis*, *Pinus sibirica*) отбирали хвою второго года жизни, у *Vaccinium vitis-idaea*, *Pyrola rotundifolia* – листья текущего года, у *Empetrum nigrum* и *E. hermaphroditum*, *Lycopodium clavatum* и *L. annotinum*, *Diphasium complanatum* – побеги текущего года. Большинство растений в период отбора проб находились в фазе цветения. Фотосинтетические пигменты фиксировали кипящим 100%-ным ацетоном [17]. До транспортировки в лабораторию образцы хранили в темноте при t 5–7°C. Содержание зеленых и желтых пигментов определяли спектрофотометрически на приборе UV-1700 (Shimadzu, Япония) в ацетоновой вытяжке при длинах волн 662, 644 нм (хлорофиллы) и 470 нм (каротиноиды) [18]. Долю хлорофиллов светособирающего комплекса (ССК) рассчитывали по формуле [19]: $[(1.2 \text{ хл } b + \text{ хл } b) / \sum(\text{хл } a + \text{ хл } b)]$.

Средние климатические характеристики районов исследований [6]

Показатели	Приполярный Урал	Южный Тиман	Бассейн среднего течения р. Вычегда
Среднегодовая температура, °C	– 4.8	– 1.5	+ 1
Средняя температура июля, °C	+ 13	+ 15	+ 17
Сумма температур выше +5 °C	1070	1550	1800
Продолжительность вегетационного периода (выше +5 °C), сут	105–110	133	150
Продолжительность периода активного роста (выше +10 °C), сут	60–70	89	100–110
Сумма осадков за вегетационный период, мм	310–350	315–365	320–365

Данные обрабатывали статистически. В таблицах и на рисунках приведены средние величины со стандартной ошибкой.

Результаты и их обсуждение

Всего исследовано 120 видов сосудистых растений: на Приполярном Урале – 35, на Южном Тимане – 47, в среднем течении р. Вычегда – 46 видов. Соотношение изученных видов по принадлежности к жизненной форме и широтной географической группе в первом приближении отражает структуру флористических комплексов исследованных районов. Большинство из них – травы и относятся к бореальной широтной группе.

Пигментный комплекс растений Приполярного Урала. Анализ полученных данных выявил существенную дифференциацию видов по накоплению фотосинтетических пигментов (рис. 1). Это отчетливо проявляется по диапазону варьирования концентрации хлорофиллов (1.5–14 мг/г сухой массы) и каротиноидов (0.5–5 мг/г сухой массы). Среди исследованных видов повышенным содержанием зеленых пигментов характеризовались бобовые (*Astragalus norvegicus* и *A. frigidus*, *Hedysarum arcticum*). Очень низкое накопление фонда хлорофиллов (< 2.5 мг/г) было отмечено у деревьев (*Larix sibirica*), кустарничков (*Diapensia lapponica*, *Empetrum hermaphroditum*, *Phyllocladus caerulea*, *Ledum decumbens*, *Vaccinium uliginosum*) и некоторых травянистых растений (*Lycopodium clavatum* и *L. annotinum*). У более чем 60% исследованных видов содержание зеленых пигментов в листьях составляло 3–6 мг/г сухой массы. Такие величины можно рассматривать как сравнительно низкие.

Величина соотношения хлорофиллов *a/b* варьировала в пределах 2–3.5 и лишь у отдельных видов (*Bartsia alpina*, *Salix dasyclados*, *Astragalus frigidus* и *Hedysarum arcticum*) была несколько выше – 3.8–4.0. Доля хлорофиллов, принадлежащих светособирающему комплексу, у большинства видов

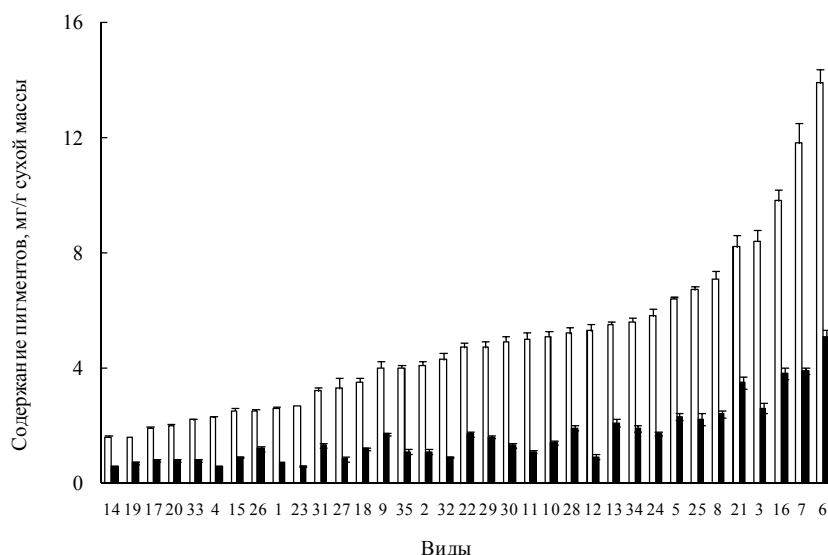


Рис. 1. Содержание хлорофиллов (светлые столбцы) и каротиноидов (темные столбцы) в листьях растений Приполярного Урала. Название вида см. под соответствующим номером в табл. 1.

растений Приполярного Урала составляла 55–65%. Небольшим пулом пигментов ССК (43–45%) отличались *Bartsia alpina*, *Astragalus frigidus* и *Hedysarum arcticum*, а из древесных растений – *Salix dasyclados*. Только у двух видов – *Arctous alpina* и *Pyrola rotundifolia* – значительная часть пигментного фонда (70–80%) представлена антенными хлорофиллами.

Концентрация желтых пигментов была выше у растений, содержащих больше зеленых пигментов, о чем свидетельствует тесная прямая связь этих показателей (рис. 2, а). У большинства исследованных видов содержание каротиноидов составляло 1.5–2.5 мг/г сухой массы. Низкий уровень накопления желтых пигментов (0.6–0.8 мг/г сухой массы) отмечен у *Diapensia lapponica*, *Arctous alpina*, *Phyllodoce caerulea*, *Achillea nigrescens*, *Lycopodium clavatum* и *L. annotinum* и *Vaccinium uliginosum*. В то же время у некоторых бобовых (*Hedysarum arcticum*, *Astragalus frigidus*) и *Pedicularis verticillata* их содержание достигало 4–5 мг/г сухой массы.

По полученным нами данным, величина соотношения хлорофиллы/каротиноиды (хл/кар) равнялась в среднем 2.5–3.0. Исключение составили *Carex aquatilis*, *Calamagrostis purpurea* и *Arctous alpina*, у которых величина соотношения хл/кар – 4–5.

Сгруппировав виды по жизненной форме (папоротники, плауны, травы, кустарнички, кустарники и деревья), выявили среди этих групп растения как с низким, так и с высоким уровнями накопления хлорофиллов и каротиноидов. Особенно это характерно для травянистых многолетников, среди которых найдены виды с низким (*Achillea nigrescens*) и высоким (*Astragalus frigidus*) содержанием фотосинтетических пигментов. В целом, многолетние травянистые растения и, прежде всего, из семейства бобовые, содержали больше хлорофиллов и каротиноидов по сравнению с группой растений древесной жизненной формы (рис. 3, а).

Среди кустарников сравнительно высоким накоплением зеленых пигментов (4–5 мг/г сухой массы) характеризуются виды рода *Salix*, *Betula nana* и *Pentaphylloides fruticosa*. Им не уступают папоротники. У плаунов концентрация пигментов низкая.

Сопоставление растений, принадлежащих к разным широтным группам (рис. 4, а), показывает, что арктические, арктоальпийские и гипоарктические виды не уступают бореальным по уровню накопления хлорофиллов и каротиноидов. Судя по величине соотношения хлорофиллы/каротиноиды, у группы арктических и арктоальпийских видов (2.9) относительное содержание желтых пигментов несколько ниже, чем у бореальных (3.2).

В целом, изучение пигментного аппарата растений Приполярного Урала показало, что содержание и соотношение фотосинтетических пигментов значительно варьируют в зависимости от вида и жизненной формы, и в меньшей степени – от географической группы.

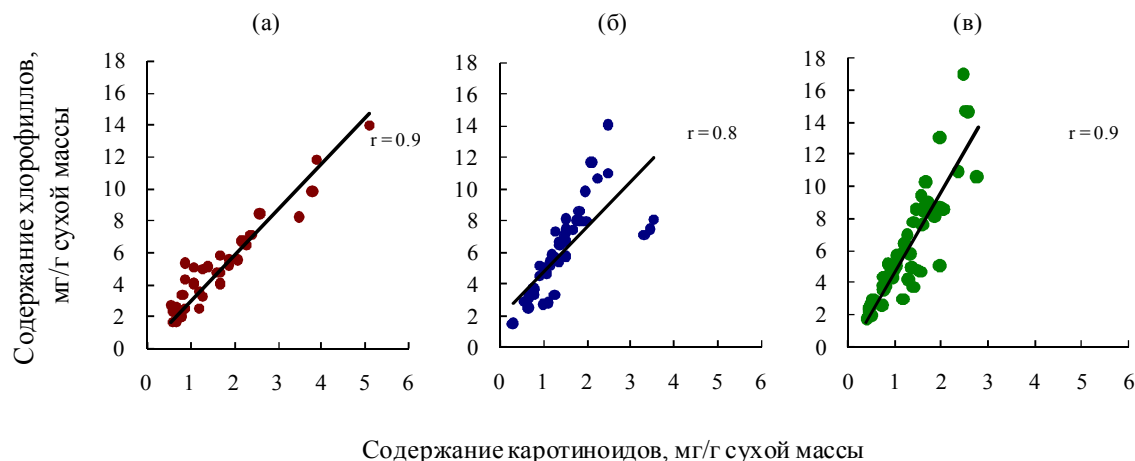


Рис. 2. Связь между содержанием хлорофиллов и каротиноидов в листьях растений Приполярного Урала (а), Южного Тимана (б), бассейна среднего течения р. Вычегда (в).

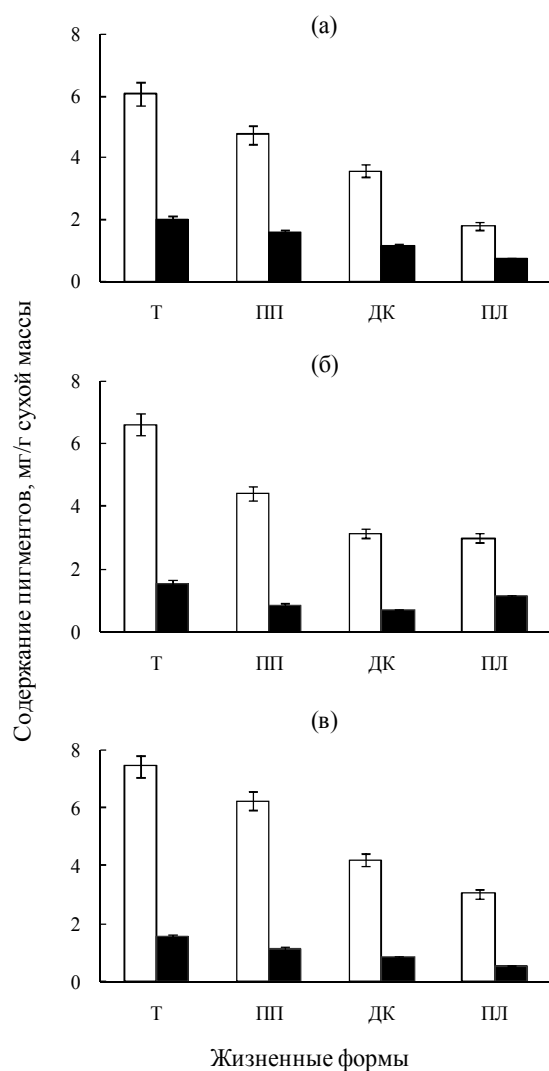


Рис. 3. Содержание хлорофиллов (светлые столбцы) и каротиноидов (темные столбцы) в листьях растений Приполярного Урала (а), Южного Тимана (б), бассейна среднего течения р. Вычегда (в). Жизненные формы: Т – травянистые, ПП – папоротники, ДК – древесные (деревья, кустарники и кустарнички), ПЛ – плауны.

Следует отметить, что в подавляющем большинстве растения данного района характеризуются сравнительно невысокими концентрациями хлорофиллов.

Пигментный аппарат растений Южного Тимана. Среди 47 видов растений, обитающих преимущественно на выходах известняков, 74% относятся к бореальной широтной группе, остальные являются представителями арктической, арктоальпийской и гипоарктической фракций. Виды северных элементов флоры встречаются, главным образом, в скальных флористических комплексах.

Исследованные виды существенно различались по содержанию зеленых пигментов в листьях. Минимальные концентрации хлорофиллов составляли 1.5–2, максимальные достигали 12–14 мг/г сухой массы (рис. 5). Сравнительно низким накоплением пигментов отличались хвойные деревья (*Pinus sibirica*), кустарнички сем. Ericaceae (*Vaccinium uliginosum*) и некоторые виды трав (*Pedicularis verticillata*, *Dendranthema zawadskii*). Высоким было содержание пигментов у представителей семейств

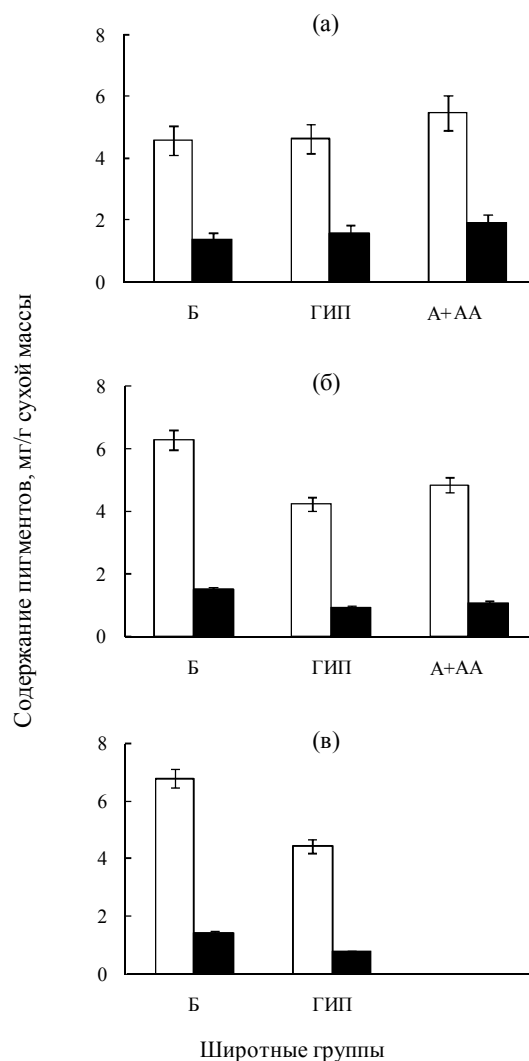


Рис. 4. Содержание хлорофиллов (светлые столбцы) и каротиноидов (темные столбцы) в листьях растений Приполярного Урала (а), Южного Тимана (б), бассейна среднего течения р. Вычегда (в). Широтные группы: Б – бореальная, ГИП – гипоарктическая, А – арктическая, АА – арктоальпийская.

триллиевые (*Paris quadrifolia*), орхидные (*Cypripedium calceolus*), астровые (*Crepis sibirica*, *Petasites radiatus*), розоцветные (*Geum rivale*) и бобовые (*Lathyrus pratensis*, *Vicia cracca* и *V. sylvatica*).

Величина соотношения хлорофиллов а и b находилась в пределах 2.4–3.1 и лишь у отдельных видов (*Gymnadenia conopsea*, *Pedicularis verticillata*, *Thymus taljievii*) была несколько выше (3.6–3.9). Доля хлорофиллов, принадлежащих светособирающему комплексу (ССК), у большинства видов растений составляла 50–65%. Только у одного вида – *Pinguicula vulgaris* – значительная часть пигментного фонда (75%) была представлена антенными хлорофиллами, что компенсирует сравнительно низкий уровень накопления зеленых пигментов.

Обнаружена сильная положительная связь между содержанием зеленых и желтых пигментов (рис. 2, б). На фоне значительных межвидовых различий в концентрации каротиноидов (0.3–2.5 мг/г сухой массы) у большинства видов величина соотношения хлорофиллы/каротиноиды составляла 4–5.

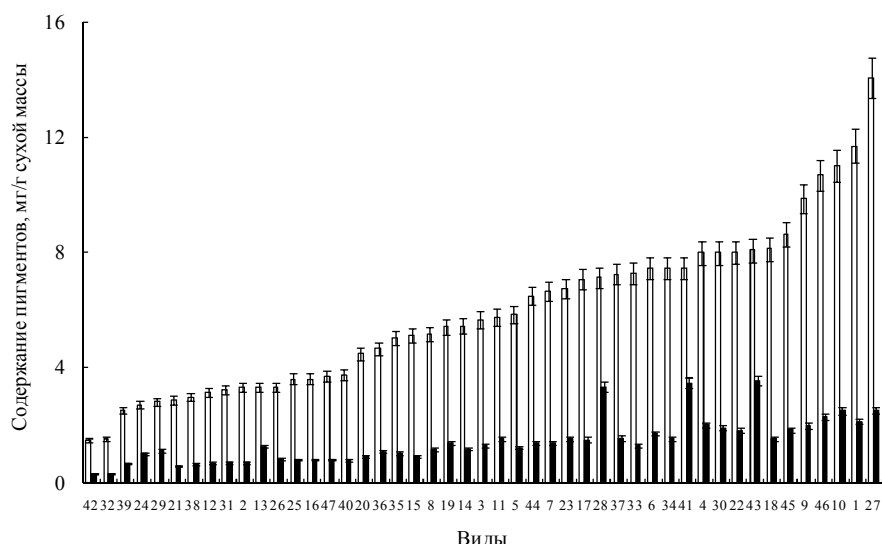


Рис. 5. Содержание хлорофиллов (светлые столбцы) и каротиноидов (темные столбцы) в листьях растений Южного Тимана. Название вида см. под соответствующим номером в табл. 1.

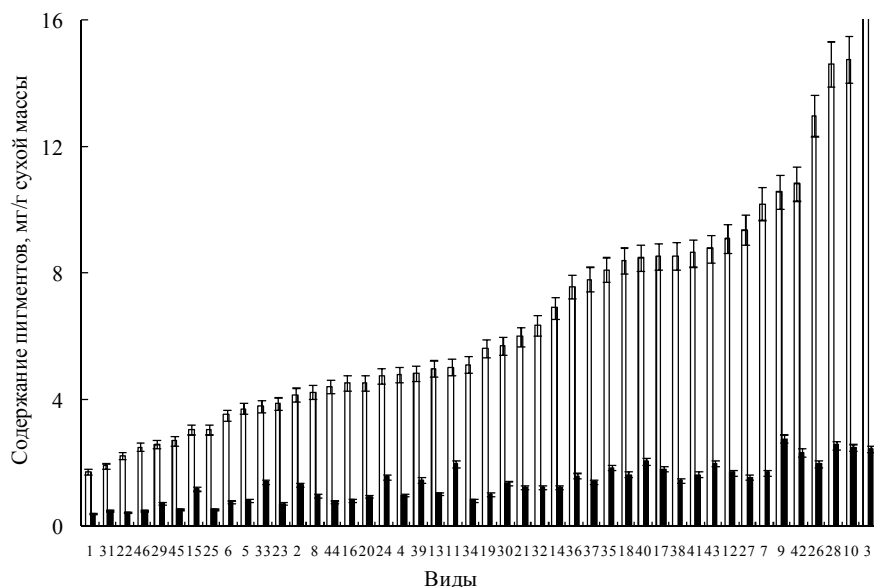


Рис. 6. Содержание хлорофиллов (светлые столбцы) и каротиноидов (темные столбцы) в листьях растений бассейна среднего течения р. Вычегда. Название вида см. под соответствующим номером в табл. 1.

В целом, значения концентраций хлорофиллов и каротиноидов в листьях травянистых семенных растений были выше, чем у папоротников и представителей древесной жизненной формы. Наименьшим накоплением фотосинтетических пигментов отличались плауны (рис. 3, б).

Сопоставление растений, принадлежащих разным широтным группам, показывает, что арктоальпийские и гипоарктические виды уступают бореальным по накоплению фотосинтетических пигментов (рис. 4, б). Однако у арктоальпийских видов относительное содержание желтых пигментов несколько выше, чем у растений бореальной широтной группы. Об этом свидетельствуют величины соотношения хлорофиллы/каротиноиды (3.7 и 4.1 соответственно).

Пигментный комплекс луговых и лесных растений среднего течения бассейна р. Вычегда. Исследовано 46 видов луговых и лесных растений, произрастающих в окрестностях сел Подтыбок (Корткеросский р-н), Межадор (Сысольский р-н) и Серегово (Княжпогостский р-н). Определения содержания фотосинтетических пигментов показали, что в листьях большинства видов концентрация зеленых пигментов была довольно высокой ($> 4-5$ мг/г сухой массы), а у некоторых растений (*Aconitum septentrionale*, *Calla palustris*, *Paris quadrifolia*) превышала 14 мг/г сухой массы (рис. 6). Доля хлорофиллов, принадлежащих светособирающему комплексу, варьировала от 44 до 74%. Прослеживалась тесная связь между содержанием зеленых и желтых пигментов, несмотря на сильно выраженные видовые различия (рис. 2, в). Исследованные растения содержали в четыре-восемь раз меньше желтых пигментов, чем зеленых. Сравнительно низким накоплением каротиноидов отличались *Lysorodium clavatum*, *Vaccinium vitis-idaea*, *V. myrtillus* и *Pinus sibirica*. Существенно выше было содержание желтых пигментов у *Thalictrum simplex*, *Alisma plantago-aquatica*, *Aconitum septentrionale* и некоторых других видов.

Во флоре среднего течения р. Вычегда, как и в других районах исследований, по накоплению пигментов выделялись травы (рис. 3, в). Существенно ниже было содержание

хлорофиллов и каротиноидов в листьях растений древесной жизненной формы и плаунов.

Сопоставление растений, принадлежащих разным широтным группам, показывает, что гипоарктические виды уступают бореальным по накоплению фотосинтетических пигментов в среднем на 30% (рис. 4, в).

Итак, в ходе проведенных исследований установлено, что большинство изученных видов растений характеризуются пониженным соотношением $chl\ a/b$. Это означает, что большая часть хлорофиллов принадлежит светособирающему комплексу фотосистем. Как показали наши данные, доля хлорофиллов, локализованных в ССК, варьировала в пределах 55–65% от общего фонда зеленых пигментов. По мнению некоторых авторов [6],

повышенное содержание антенного хлорофилла компенсирует низкий уровень накопления зеленых пигментов. Мы связываем это с адаптацией фотосинтетического аппарата к световым условиям обитания. По-видимому, за счет увеличения доли пигментов-светосборщиков, растения высоких широт более эффективно используют свет в период «белых» ночей и обеспечивают большую суточную продолжительность положительного газообмена. Нельзя также исключить влияния того факта, что среди исследованных видов высока доля лесных трав, обитающих в условиях затенения. Адаптация к таким условиям связана с повышением доли антенных хлорофиллов, выполняющих функцию светосборщиков.

Нами выявлено, что уровень накопления каротиноидов в листьях растений из всех исследованных районов тесно коррелировал с содержанием хлорофиллов. Это согласуется с данными И.А. Поповой с соавторами [11], которые также обнаружили соответствие между количеством зеленых и желтых пигментов в фотосинтетическом аппарате растений различных ботанико-географических зон. В ряде работ [6,11] приведены значения данного соотношения для растений разных регионов. По показателю хлорофиллы/каротиноиды растения Приполярного Урала (3.1) ближе всего к высокогорным растениям Восточного Памира, растения Южного Тимана (4.3) – к арктическим растениям Таймыра, а виды, произрастающие в бассейне среднего течения р. Вычегда (4.8), – к бореальным видам умеренной зоны (рис. 7).

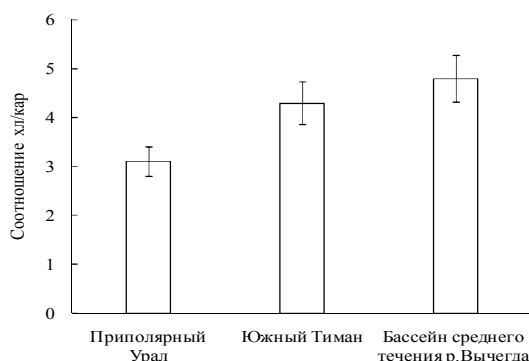


Рис. 7. Соотношение зеленых и желтых пигментов в листьях растений природной флоры.

Каротиноиды играют важную роль в фотосинтезе, выполняют функции светосборщиков и фотопротекторов [19, 20]. Поэтому относительно высокий уровень желтых пигментов в листьях исследованных растений и, прежде всего, принадлежащих к группе арктоальпийских видов, можно рассматривать как адаптивную реакцию, направленную на повышение устойчивости фотосинтетического аппарата, предотвращение его фотодинамической деструкции в суровых северных условиях. В отличие от растений Приполярного Урала, пигментный аппарат видов, произрастающих в подзоне средней тайги, характеризуется более высоким соотношением хлорофиллы/каротиноиды и, следовательно, низким относительным содержанием желтых пигментов. Это подтверждает нашу гипотезу об особой роли каротиноидов в устойчивости

фотосинтетического аппарата растений подзоны крайне северной тайги (Приполярный Урал). Следует также иметь в виду, что каротиноиды, помимо защитной роли выполняют функции светосборщиков, поглощая свет в сине-фиолетовой области спектра. Как компоненты антенного комплекса, они способствуют более эффективному использованию солнечной радиации в течение короткого северного лета.

Таким образом, предложена и экспериментально обоснована концепция о повышении роли пигментного комплекса в обеспечении устойчивости и продуктивности растений в холодном климате. Дан анализ количественного и качественного состава фотосинтетических пигментов 120 видов растений. На фоне значительных межвидовых различий в концентрации фотосинтетических пигментов выявлено увеличение относительного содержания каротиноидов в ряду бореальные – гипоарктические – аркто-альпийские виды. В целом, полученные результаты существенно расширяют представления о пигментном комплексе растений природной флоры Севера и могут быть использованы для ранней диагностики состояния их фотосинтетического аппарата.

Исследования выполнены при поддержке грантов фонда РФФИ (04-04-48255; 07-04-00436) и гранта по программе Президиума РАН «Биологическое разнообразие».

Литература

1. Головкин Т.К. Актуальные вопросы экофизиологии растений // Структурно-функциональные особенности биосистем Севера (особи, популяции, сообщества): Матер. конф. Ч. I. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2005. С. 88-91.
2. Заленский О.В. Эколого-физиологические аспекты изучения фотосинтеза. (37-е Тимирязевские чтения). Л.: Наука, 1977. 56 с.
3. Пьянков В.И., Мокроносов А.Т. Основные тенденции изменения растительности Земли в связи с глобальным потеплением климата // Физиология растений, 1993. Т. 40, № 4. С. 515-531.
4. Дымова О.В., Головкин Т.К. Состояние пигментного аппарата растений живучки ползучей в связи с адаптацией к световым условиям произрастания // Физиология растений, 2007. Т. 54, № 1. С. 47-53.
5. Любименко В.Н. Избранные труды. Т.2. Работы по фотосинтезу и пигментам растений / Под ред. Н.А.Любинского. Киев: Академия наук Украинской ССР, 1963. 681 с.
6. Maslova T.G., Popova I.A. Adaptive Properties of the Pigment Systems // Photosynthetica, 1993. Vol. 29. P. 195-203.
7. Blankenship R.E. Molecular Mechanisms of Photosynthesis. Blackwell Science, 2002. 321 p.
8. Корнюшенко Г.А., Соловьева Л.В. Экологический анализ содержания пигментов в листьях горно-тундровых кустарничков // Ботанический журнал, 1992. Т. 77, № 8. С. 55-77.
9. Лукьянова Л.М., Марковская Е.Ф., Булычева Т.М. Газообмен и пигментная система растений Кольской Субарктики (Хибинский горный массив). Апатиты, 1986. 127 с.

10. Маслова Т.Г., Попова И.А., Корнюшенко Г.А., Королева О.Я. Развитие представлений о функционировании виолаксантинового цикла в фотосинтезе // Физиология растений, 1996. Т. 43, №3. С. 437-449.
11. Попова И. А., Маслова Т.Г., Попова О.Ф. Особенности пигментного аппарата растений разных ботанико-географических зон // Эколого-физиологические исследования фотосинтеза и дыхания растений. Л.: Наука, 1989. С. 115-130.
12. Биологическое разнообразие особо охраняемых природных территорий Республики Коми. Вып. 4: Охраняемые природные комплексы Тимана (Часть I). Сыктывкар, 2006. С. 155-160. (Коми научный центр УрО РАН).
13. Лесорастительное районирование Республики Коми // Леса Республики Коми / Г.М.Козубов, В.А.Мартыненко, С.В.Дегтева, Э.П.Галенко, И.В.Забоева. М.: Издательско-производственный центр «Дизайн. Информация. Картография», 1999. С. 257-288.
14. Мартыненко В.А. Флора северной и средней подзон тайги европейского Северо-Востока: Автореф. дис. ... докт.биол.наук. Екатеринбург, 1996. 34 с.
15. Мартыненко В.А., Дегтева С.В. Конспект флоры национального парка «Югыд ва» (Республика Коми). Екатеринбург, 2003. 108 с.
16. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья, 1995. 992 с.
17. Сапожников Д.И., Маслова Т.Г., Попова О.Ф. и др. Метод фиксации и хранения листьев для количественного определения пигментов пластид // Ботанический журнал, 1978. Т.63, №11. С.1586-1592.
18. Маслова Т.Г., Попова И.А., Попова О.Ф. Критическая оценка спектрофотометрического метода количественного определения каротиноидов // Физиология растений, 1986. Т.33. Вып.3. С.615-619.
19. Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and Carotenoids Pigments of Photosynthetic Biomembranes // Methods in Enzymology. V.148 / Ed. Colowick S.P., Kaplan N.O. San-Diego e.a., 1987. P.350-382.
20. Cuttriss A., Pogson B. Carotenoids // Plant Pigments and Their Manipulation / Ed. K. M. Davies. Blackwell Publishing, Oxford, 2004. P. 57-91.
21. Demmig-Adams B., Adams W.W. Photoprotection and Other Responses of Plants to High Light Stress // Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol., 1992. Vol. 43. P. 599-626.

ВЛИЯНИЕ ШИРОТНОГО ФАКТОРА НА ОРГАНИЗМ ПОДРОСТКОВ-СЕВЕРЯН

Ю.Г. СОЛОНИН, Е.Р. БОЙКО, Н.Г. ВАРЛАМОВА, Т.В. ЕСЕВА, О.А. КЕТКИНА, Т.П. ЛОГИНОВА, О.И. ПАРШУКОВА, Н.Н. ПОТОЛИЦЫНА

Институт физиологии Коми НЦ УрО РАН, г.Сыктывкар

Показано, что широтный фактор в пределах Севера проявляет свое физиологическое влияние на организм человека уже при разнице места постоянного нахождения всего на 2 градуса. У подростков 14-15 лет, проживающих на более высокой широте – 62° и 64°, снижены центральная температура тела, жизненная емкость легких, переносимость гипоксемии, качество регуляции гемодинамики при кратковременной физической нагрузке. По целому ряду показателей у подростков-северян выявляются половые различия.

Ключевые слова: подростки-северяне, широтный фактор, кардиореспираторная система, внутренняя среда

Yu.G. SOLONIN, E.R. BOJKO, N.G. VARLAMOVA, T.V. ESEVA, O.A. KETKINA, T.P. LOGINOVA, O.I. PARSHUKOVA, N.N. POTOLITSYNA. INFLUENCE OF LATITUDE FACTOR ON ORGANISM OF ADOLESCENCES-NORTHERNERS

Complex investigations of adolescences (14-15 years old) living in the Komi Republic at 62 and 64° latitudes have been carried out. It was shown that the latitude factor in the North affected human organism already at 2 degrees difference of residence place. The decrease of central body temperature, vital capacity of lungs, tolerance to hypoxemia, quality of hemodynamic regulation at short-term physical activity was shown in adolescences living at high latitudes. The sexual distinctions in adolescences-northerners were revealed by lots of parameters.

Key words: adolescences-northerners, latitude factor, cardiorespiratory system, internal environment

Географические и климатические особенности проживания на разных широтах Земли оказывают влияние на физиологические функции человека, и это влияние обнаруживается как при транс-широтных перемещениях людей [1], так и при сопоставлении физиологического статуса у постоянных жителей разных широт [2-8].

При районировании территорий Севера по зонам дискомфорта в первую очередь возникает вопрос о влиянии широтного фактора на организм человека. Широтный фактор определяется углом падения солнечных лучей и включает целый ряд составляющих параметров среды: световой климат (инфракрасная, видимая и ультрафиолетовая радиация), температуру почвы и окружающих предметов, температуру и влажность воздуха, ветер, барометрическое давление, осадки, растительный покров и пр. Ранее одним из нас [5], изучение влияния широтного фактора на организм человека как одного из актуальных направлений экологической физиологии человека, было предложено называть «широтная физиология».

В ряде работ показано, что продвижение к полюсу места проживания в пределах Севера всего на 5° значимо и негативно влияет на физиологический статус как взрослых жителей [9], так и детей школьного возраста [3, 10].

Для теории и практики интересно найти ту минимальную разницу по широте, которая имеет

физиологическую значимость. Этот вопрос в свое время затрагивал Г.М.Данишевский [11], когда у чувствительных людей (метеоролабильные кардиопаты) он обнаружил сосудистые реакции при перемещении к Северу всего на 2° широты.

Цель настоящей работы – сравнить некоторые физиологические и биохимические показатели у подростков-северян, проживающих на территории Республики Коми и разделенных всего двумя градусами географической широты, для выявления возможного влияния широтного фактора на растущий организм.

Методика

Обследованы подростки 14-15 лет – учащиеся двух средних школ: одна из них находится в Сыктывкаре (62° с.ш.), вторая – в Сосногорске (64° с.ш.). Под наблюдение взяты 28 мальчиков и 28 девочек (г.Сыктывкар) и 24 мальчика и 29 девочек (г.Сосногорск). По данным планового медосмотра большинство из подростков отнесено ко 2-й группе здоровья [12], имеющей некоторые функциональные и морфофункциональные отклонения. Их половое развитие соответствовало возрастным нормам.

Все подростки были ознакомлены с целью и методами данного обследования и ими дано добровольное согласие на участие; получено также согласие родителей и преподавателей. Исследова-

ние одобрено локальным комитетом по биоэтике при Институте физиологии Коми НЦ УрО РАН. Перед обследованием все участники получали доступную и подробную инструкцию. Методом опроса у подростков выявляли состав семьи, семейный климат, посещаемость спортивных секций, наличие вредных привычек, особенности их питания. В социальном плане и по наличию вредных привычек и характеру питания заметной разницы между группами сравнения не отмечено.

Обследование включало анкетирование, измерение антропометрических и физиометрических показателей, физиологические исследования в покое и при физической нагрузке, психофизиологическое тестирование и изучение психоэмоционального статуса, забор крови для биохимических исследований.

По данным роста и массы тела вычисляли индекс массы тела (ИМТ). Силу мышц кисти измеряли пружинным динамометром и рассчитывали динамометрический индекс (ДИ), равный отношению силы к массе тела. Температуру тела в ушной раковине определяли электронным инфракрасным термометром UT-101 (фирма A&D Company, Япония).

Частоту сердечных сокращений (ЧСС) измеряли пальпаторно, систолическое (СД) и диастолическое артериальное давление (ДД) определяли по методу Короткова. Вычисляли пульсовое давление (ПД), среднелинейное давление (СДД) по Хикемму, «двойное произведение» (ДП) по Робинсону, вегетативный индекс Кердо (ВИК). В качестве физической нагрузки предъявлялась проба Мартинес-Кушелевского (20 приседаний за 30 с) с измерением ЧСС до нагрузки и сразу после ее окончания до полного восстановления ЧСС.

Проводили пробы с задержкой дыхания (Штанге и Генчи). Жизненную емкость легких (ЖЕЛ) определяли сухим спирометром и рассчитывали «жизненный индекс» (ЖИ), т.е. отношение ЖЕЛ к массе тела. Вычисляли кардиореспираторный индекс Скибинской (КРИС) и уровень физического здоровья по Апанасенко.

Функции внешнего дыхания в покое сидя и при форсированном режиме дыхания определяли на микропроцессорном спирографе СПМ-01-«Р-Д»: частоту дыхания (ЧД), дыхательный объем (ДО), минутный объем дыхания (МОД), резервный объем вдоха (РОВд), резервный объем выдоха (РОВвд), дополнительный объем (ДопО), сумму РОВд и ДопО (Евд), форсированную ЖЕЛ (ФЖЕЛ).

Функцию внимания определяли с помощью пробы Шульте-Платонова, регистрируя время поиска черных и красных цифр в заданном порядке, субъективные состояния «самочувствие», «активность», «настроение» – по известному методу САН.

Регистрировали время простой зрительно-моторной реакции (ЗМР), критическую частоту слияния световых мельканий (КЧСМ) с помощью компьютерного комплекса для психофизиологического тестирования «НС-ПсихоТест» (фирма «НейроСофт», г.Иваново).

Забор крови осуществляли утром натощак из локтевой вены в вакутайнеры «Bekton Dickinson BP» (Англия). Сразу после забора крови готовился гемолизат (в разведении 1:10) для определения

показателей обеспеченности витамином В1 и витамином В2 [13]. После этого кровь центрифугировали, а сыворотку отбирали и замораживали. Образцы гемолизатов и сывороток крови хранили до выполнения анализа в замороженном состоянии при -20° С.

Обеспеченность организма витамином В1 оценивали по так называемому ТДФ-эффекту, т.е. по приросту активности эритроцитарного тиамин-зависимого фермента транскетолазы до и после добавления тиаминдифосфата [14]. Об обеспеченности организма витамином В2 судили по ФАД-эффекту, т.е. по приросту активности эритроцитарного рибофлавин-зависимого фермента глутатионредуктазы [14, 15]. Концентрацию в сыворотке крови витаминов А и Е определяли флуориметрически [15], а концентрацию селена – флуориметрическим методом с 2,3-диаминонафталином [16].

Материалы обработаны статистически с применением программы «Биостат» (версия 4.03). Сравнение выборок проведено с использованием критерия t Стьюдента.

Результаты и их обсуждение

Экологическая обстановка в местах проживания сравниваемых групп подростков существенно не различалась. По материалам Государственных докладов о состоянии окружающей природной среды Республики Коми за последние пять лет (2003-2007 гг.) в атмосферном воздухе городов Сыктывкара и Сосногорска среднегодовые концентрации таких общераспространенных загрязнителей, как диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота не превышали ПДК. По другим примесям, характерным для Сыктывкара (сероводород и метилмеркаптан) и Сосногорска (сажа и углеводороды), также не наблюдалось отклонений от существующих нормативов.

Разница между городами по широте размещения невелика (всего 2°), но и она сказывается на основных климатических параметрах. Во время проведения обследования подростков в октябре наружная температура воздуха составляла в Сыктывкаре около 5°С, а в Сосногорске около 0°С. По данным СНиП 23-01-99 «Строительная климатология», средняя температура воздуха в октябре в Сыктывкаре 0,3°С, в Ухте (рядом с Сосногорском) -1,4°С. Соответственно в названных пунктах среднегодовая температура воздуха – 0,4° и -1,1°С, длительность периодов с температурой ниже 0°С – 177 и 189 суток, длительность периодов с температурой ниже 10°С – 265 и 280 суток. По методике, предложенной А.Л.Максимовым [4], интегральная оценка дискомфорта проживания в Сыктывкаре составляет 61 балл, а в Сосногорске 51,7 (чем меньше баллов, тем суровее климат).

Сравнение показателей (мальчиков) на разных широтах (см. таблицу) свидетельствует, что у проживающих всего на 2° ближе к полюсу, статистически значимо ниже температура тела, ЧСС в покое и при нагрузке, время задержки дыхания на вдохе, ЖЕЛ, ЖИ, содержание селена в крови. В то же время у них статистически значимо выше ПД и показатели САН. Можно также отметить и тенденцию к повышению у них СД, времени восстановления ЧСС после нагрузки и к снижению ДП, ВИК, показателей РОВд, Евд и теста Шульте-Платонова.

Сравнение показателей ($M \pm m$) у подростков-северян, проживающих на разных широтах

Показатели	Мальчики		Девочки	
	62° с.ш. (n=28)	64° с.ш. (n=24)	62° с.ш. (n=28)	64° с.ш. (n=29)
Рост, см	167.2 ± 1.7#	168.9 ± 1.8	162.3 ± 1.1	163.1 ± 1.4
Масса тела, кг	56.3 ± 2.5	56.1 ± 2.0	56.2 ± 2.2	52.8 ± 1.5
ИМТ, кг/м²	20.2 ± 0.72#	19.5 ± 0.44	22.6 ± 0.99	19.8 ± 0.48*
Сила кисти, кг	34.9 ± 1.7#	35.3 ± 1.8#	24.2 ± 1.1	23.5 ± 0.8
ДИ, %	61 ± 2.2#	62 ± 1.5#	43 ± 1.9	44 ± 1.3
Температура тела, °C	36.5 ± 0.08	36.3 ± 0.03*	36.6 ± 0.09	36.2 ± 0.03*
СД, мм рт.ст.	116 ± 2.4	123 ± 3.3#	114 ± 2.1	110 ± 2.1
ДД, мм рт.ст.	69 ± 1.5	67 ± 1.8#	71 ± 1.3	63 ± 1.4*
ПД, мм рт.ст.	47 ± 1.9	56 ± 2.9*#	43 ± 1.6	47 ± 2.0
СДД, мм рт.ст.	84 ± 1.6	85 ± 1.9#	85 ± 1.4	79 ± 1.4*
ЧСС, уд/мин:				
покой	83 ± 2.5	74 ± 1.9*	77 ± 1.8	78 ± 2.1
нагрузка	129 ± 2.8	119 ± 1.7*	133 ± 2.2	121 ± 2.3*
прирост	46 ± 1.9#	45 ± 1.5	56 ± 2.4	43 ± 2.0*
Время восстановления ЧСС, с	117 ± 5.2	130 ± 7.5#	118 ± 5.1	158 ± 5.2*
ДП	97 ± 4.1	91 ± 3.9	88 ± 2.7	87 ± 3.3
ВИК, %	16.0 ± 2.7#	9.5 ± 2.7#	6.1 ± 2.8	18.7 ± 2.4*
Проба Штанге, с	51 ± 2.9	54 ± 3.2#	45 ± 2.0	35 ± 1.7*
Проба Генчи, с	30 ± 2.9	17 ± 0.9*	30 ± 1.5	18 ± 1.0*
ЖЕЛ, мл	4518 ± 191#	3870 ± 178*#	3410 ± 137	3024 ± 72*
ЖИ, мл/кг	80 ± 1.6#	68 ± 1.9*#	60 ± 2.4	58 ± 1.2
КРИС, усл.ед.	29 ± 2.3#	29 ± 2.6#	20 ± 1.4	14 ± 0.9*
УФЗ, баллы	8.4 ± 0.8	7.7 ± 0.8	7.9 ± 0.8	6.8 ± 0.6
ЧД, цикл/мин	17 ± 0.7	16 ± 0.8	17 ± 0.9	16 ± 1.4
ДО, л	0.83 ± 0.05	0.76 ± 0.08	0.74 ± 0.09	0.73 ± 0.11
МОД, л	13.1 ± 0.72	13.0 ± 0.91	11.4 ± 0.75	11.9 ± 1.42
Ровд, л	1.20 ± 0.19	0.90 ± 0.16#	0.98 ± 0.13	0.56 ± 0.19
Ровыд, л	3.02 ± 0.19#	3.24 ± 0.32#	2.34 ± 0.16	2.42 ± 0.33
ДопО, л	0.36 ± 0.07	0.40 ± 0.07	0.34 ± 0.05	0.33 ± 0.08
Евд, л	1.62 ± 0.23	1.26 ± 0.19	1.25 ± 0.16	0.90 ± 0.22
ФЖЕЛ, л/с	3.94 ± 0.19#	3.83 ± 0.36#	3.23 ± 0.14	2.81 ± 0.20
Тест Шульте-Платонова, с	127 ± 5.4	113 ± 6.1	117 ± 5.7	100 ± 3.9*
Время ЗМР, мс	216 ± 2.4	210 ± 3.8	222 ± 4.0	209 ± 3.4*
КЧСМ, Гц	39.0 ± 0.5	40.2 ± 0.3	37.6 ± 0.5	39.5 ± 0.3*
Тест САН, баллы:				
самочувствие	52.3 ± 1.7	57.1 ± 1.3*	53.3 ± 1.4	54.8 ± 1.3
активность	45.1 ± 1.7	52.1 ± 1.4*	49.5 ± 1.8	49.4 ± 1.5
настроение	54.7 ± 1.7	60.3 ± 1.4*	56.6 ± 2.1	55.9 ± 2.6
Вит. В1, усл.ед.	1.19 ± 0.05#	1.08 ± 0.03	1.05 ± 0.01	1.12 ± 0.04
Вит. В2, усл.ед.	1.07 ± 0.02	1.14 ± 0.06	1.01 ± 0.01	1.28 ± 0.05*
Вит. А, мкг/дл	40.6 ± 3.4	49.5 ± 5.4	47.6 ± 4.2	58.6 ± 6.2
Вит. Е, мкг/мл	9.7 ± 0.54	9.0 ± 0.55#	10.9 ± 0.73	12.1 ± 1.00
Селен, мкг/л	84 ± 3.2#	75 ± 1.2*	71 ± 2.3	75 ± 1.1

Примечание. Различия статистически значимы ($p < 0.05$): * – между группами сравнения; # – по полу в каждой группе.

У девочек на более высокой широте проживания по сравнению с их сверстницами на широте 62° статистически значимо дольше время восстановления ЧСС после нагрузки, ВИК. У них же статистически значимо ниже ИМТ, температура тела, ДД, СДД, ЧСС при нагрузке, прирост ЧСС при нагрузке, время задержки дыхания на вдохе и выдохе, ЖЕЛ, КРИС, время ЗМР и время выполнения пробы на внимание. Надо отметить и тенденцию у них к снижению массы тела, РОвд, Евд, ФЖЕЛ, РОвыд и увеличению КЧСМ и содержания витамина А в крови.

Следует подчеркнуть, что аналогичные широтные различия были обнаружены при сопоставлении жителей, проживающих на широтах с разницей в 5° [3, 9, 10], причем по большему числу показателей.

По другим показателям между разными широтными группами не было значимых или заметных различий.

Статистически значимые половые различия между подростками на широте 62° отмечаются по росту, ИМТ, силе, ДИ, рабочему приросту ЧСС, ВИК, ЖЕЛ, ЖИ, КРИС, ДопО, ФЖЕЛ, содержанию в крови витамина В1 и селена. Различия по полу обнаруживаются и на широте 64° по таким показателям, как сила, ДИ, СД, ДД, ПД, СДД, время восстановления ЧСС, ВИК, время задержки дыхания на вдохе, ЖЕЛ, ЖИ, КРИС, РОвд, РОвыд, ФЖЕЛ, содержание витамина Е в крови.

Заключение

Широтный фактор в пределах Севера проявляет свое физиологическое влияние на организм человека уже при разнице места проживания всего на 2°. У подростков, проживающих на широте 64°, по сравнению с подростками-жителями 62° с.ш., снижены центральная температура тела (установочная точка терморегуляции находится на более низком уровне), ЖЕЛ и время задержки дыхания (снижение переносимости гипоксемии), реакция ЧСС на кратковременную физическую нагрузку и замедлено восстановление ЧСС (ухудшение регуляции гемодинамики при нагрузочном тестировании). У подростков-северян по целому ряду показателей выявляются половые различия.

Литература

1. *Кривошеков С.Г., Охотников С.В.* Производственные миграции и здоровье человека на Севере. Москва-Новосибирск, 2000. 118 с.
2. *Бойко Е.Р.* Физиолого-биохимические основы жизнедеятельности человека на Севере. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 191 с.
3. *Евдокимов В.Г., Рогачевская О.В., Варламова Н.Г.* Модулирующее влияние факторов Севера на кардиореспираторную систему человека в онтогенезе. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 257 с.
4. *Максимов А.Л.* Концептуальные и методические подходы к комплексному районированию территорий с экстремальными условиями проживания: препринт. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2006. 54 с.
5. *Солонин Ю.Г.* Гемодинамика, выносливость и психомоторика у жителей разных широт в контрастные периоды года // *Физиология человека*, 1996. Т. 22. № 3. С. 113-117.
6. *Ткачев А.В., Бойко Е.Р., Губкина З.Д. и др.* Эндокринная система и обмен веществ у человека на Севере. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1992. 156 с.
7. *Peter I., Otremski I., Livshits G.* Geographic variation in vascular mortality in Eurasia: spatial autocorrelation analysis of mortality variables and risk factors // *Ann. Hum. Biol.*, 1996. Vol. 23. No 6. P. 471-490.
8. *Rostand S.G.* Ultraviolet light may contribute to geographic and racial blood pressure differences // *Hypertension*, 1997. Vol. 30. No 2. P. 150-156.
9. *Солонин Ю.Г.* Широтные особенности физиологических функций у жителей Севера // *Физиология человека*, 1994. Т. 20. № 6. С. 137-143.
10. *Солонин Ю.Г.* Физическое здоровье школьников Севера // *Школа здоровья*, 1996. Т. 3. № 1. С. 5-13.
11. *Данишевский Г.М.* Акклиматизация человека на Севере (с очерком краевой патологии и гигиены). М.: Медгиз, 1955. 358 с.
12. *О комплексной оценке состояния здоровья детей.* Приказ Минздрава РФ от 30 декабря 2003 г., № 621.
13. *Патент 2138815 РФ.* Способ определения обеспеченности организма витамином В₁ в скринирующих исследованиях / Е.Р.Бойко, А.Г.Соловьев, П.И.Сидоров, И.А.Кирпич; Заявл. 24.04.97; Опубл. 27.09.99.
14. *Теоретические и клинические аспекты науки о питании* / Отв. ред. М.Н.Волгарев. М.: Типография ХОЗУ Миннефтепрома, 1987. 217 с.
15. *Спиричев В.В., Коденцова В.М., Вржесинская О.А. и др.* Методы оценки витаминной обеспеченности населения (учебно-методическое пособие). М., 2001. 68 с.
16. *Голубкина Н.А.* Флуориметрический метод определения селена // *Журнал аналитической химии*, 1995. Т. 50. С. 492-497.

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СОДЕРЖАНИЕ СЕЛЕНА В СЫВОРОТКЕ КРОВИ ЖИТЕЛЕЙ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА

О.И. ПАРШУКОВА

Институт физиологии Коми НЦ УрО РАН, г.Сыктывкар

Исследовали поло-возрастную, годовую динамику уровня селена в организме жителей европейского Севера России (204 женщины, 176 мужчин). Показано, что у жителей европейского Севера количество лиц с дефицитом селена в сыворотке крови составляет: у женщин – 32%, мужчин – 18. Выраженное снижение содержания селена в сыворотке крови у северян отмечается с мая по август, с наиболее низкими значениями в июле. У оленеводов выявлено меньшее количество лиц с дефицитом селена в организме (19% женщин, 14 – мужчин), по сравнению с людьми, проживающих в городе (51% женщин, 32 – мужчин).

Ключевые слова: север, селен, человек

O.I. PARSHUKOVA. THE INFLUENCE OF CLIMATOGRAPHIC FACTORS ON CONTENTS OF THE SELENIUM IN BLOOD SERUM OF INHABITANTS OF THE EUROPEAN NORTH

The sex, age and annual dynamics of selenium level in organism of inhabitants of the Russia European North were researched (204 women, 176 men). It was shown that amount of inhabitants of the European North with selenium deficient was 32% women and 18% men. Significant reduction of the selenium level in serum in Northerners is found from May to August with the lowest level in July. Amount of persons with selenium deficient was decreased among reindeer-breeders (19% women, 14% men) in contrast with people living in city (51% women, 32% men).

Key words: north, selenium, people

Своеобразные климато-географические особенности Севера (низкие температуры, контрастная фотопериодика, резкие перепады барометрического давления, дисбаланс микроэлементов в питьевой воде и др.) сказываются на физиологических процессах в организме человека, приводя к изменению структуры гомеостаза и истощению резервных потенциалов [1].

Проблема дефицита селена в организме человека с каждым годом обретает все большую актуальность, поскольку у 80% населения в ряде социальных групп выявляется снижение обеспеченности этим микроэлементом [2]. К основным факторам, способным значительно повлиять на дефицит селена в организме человека, относятся: низкое качество питания и недостаточное поступление селена с пищей, нарушение обмена в организме, нейтрализация вредных веществ, алкоголизм [3]. В организме северян описан «полярный адаптивный метаболический тип», представляющий собой особый вариант гормонально-метаболических взаимоотношений [4,5,1]. В настоящее время практически не изучены особенности селеновой обеспеченности северян как в сезонном аспекте, так и с учетом гендерных и возрастных особенностей. Цель исследования – изучение содержания селена в крови жителей Республики Коми.

Материалы и методы

Обследованы практически здоровые (без хронических заболеваний) жители европейского Севера России, проживающие в различных регионах Республики Коми. Изучение поло-возрастной динамики проведено на группе из 339 человек: 184 женщины, 155 мужчин. Исследование сезонной динамики обеспеченности организма селеном выполнено на группе здоровых юношей, жителей европейского Севера (18-20 лет, n=20) – военнослужащих Сыктывкарского гарнизона из подразделения учебного полка комендантской роты. Сравнительное исследование селенового статуса у жителей европейского Севера проведено в марте на группе коренных жителей Ижемского района Республики Коми (35-45 лет), ведущих традиционный образ жизни – занимающихся оленеводством (n=41). Для сравнения была обследована группа практически здоровых коми, того же возраста, проживающих в городе (n=84).

Содержание селена в сыворотке определяли флуориметрическим методом с 2,3-диаминонафталином [6]. В качестве стандарта органической формы селена использовали сыворотку крови с известным содержанием селена «Seronorm Trace Elements Serum, Lot MI0181» (Норвегия).

Результаты исследований

Среднегрупповой уровень селена в крови у женщин, проживающих на европейском Севере, составил $68,6 \pm 11,6$ мкг/л, у мужчин несколько выше – $72,1 \pm 13,9$ мкг/л ($p < 0,001$). Проведенное нами исследование гендерных особенностей содержания селена в сыворотке крови у жителей европейского Севера выявило, что среди женщин-северянок встречаемость лиц со сниженным уровнем сывороточного селена в крови выше, чем среди мужчин (см. таблицу).

Содержание селена в сыворотке крови у жителей европейского Севера

Возрастная группа, лет	Женщины			Мужчины		
	M $\pm$ SD, мкг/л	n	% лиц с дефицитом	M $\pm$ SD, мкг/л	n	% лиц с дефицитом
14-15	70,6 $\pm$ 11,7	26	31,0	84,5 $\pm$ 16,7***	28	1,0
18-22	69,3 $\pm$ 10,4	61	33,2	81,2 $\pm$ 12,5***	41	5,2
35-45	63,9 $\pm$ 9,2	40	46,0	65,7 $\pm$ 10,5##	44	31,2
Старше 60	72,0 $\pm$ 11,3##	57	15,1	71,4 $\pm$ 14,7	42	24,4

Примечание: Достоверность различий в группе: – по сравнению с предыдущей возрастной группой, ## $p < 0,001$; – у мужчин по сравнению с женщинами одного и того же возраста, *** $p < 0,001$.

В то же время имеются существенные гендерные различия в подростковом (14-15 лет) и юношеском возрасте (18-22 лет). Это соответствует данным литературы [7], согласно которым у мальчиков подросткового возраста отмечаются более высокие уровни селена в сыворотке крови, по сравнению с девочками.

По нашим данным, у женщин и мужчин в возрасте после 35 лет содержание селена в сыворотке крови различалось незначительно. Возможно, это связано с особенностями метаболизма северян, их «биологическим возрастом», поскольку известно, что продолжительность жизни жителей Севера на 10-15 лет меньше по сравнению с аналогичными показателями в средних широтах [8]. Согласно результатам наших исследований высокая распространенность дефицита селена наблюдается во всех возрастных группах взрослого населения европейского Севера.

У солдат, проходящих военную службу по призыву на европейском Севере, выявлена значительная флуктуация показателей селена в сыворотке крови в течение года. Причем содержание сывороточного селена находилось ниже среднеширотных нормативов (80-140 мкг/л) большую часть года. С октября по март наблюдалось постепенное увеличение уровня селена. С марта по июль у обследованных солдат прослеживалось выраженное снижение содержания селена в крови, причем минимальные значения ($54,1 \pm 6,9$ мкг/л) выявлены в июле (рис.1).

Аналогичная ситуация у жителей европейского Севера складывается и по другим компонентам антиоксидантной системы: ферментам и витаминам [9,10].

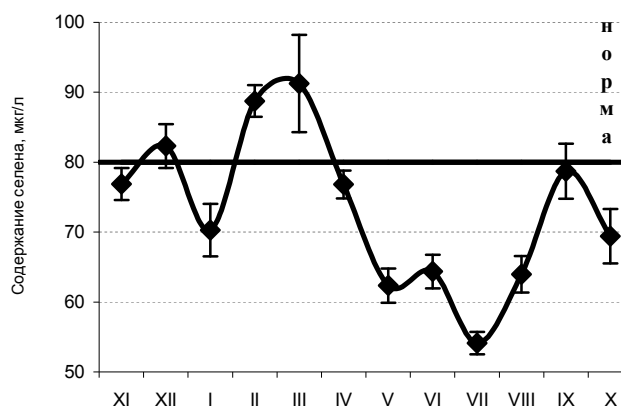


Рис.1. Годовая динамика показателей селена в крови у военнослужащих европейского Севера.

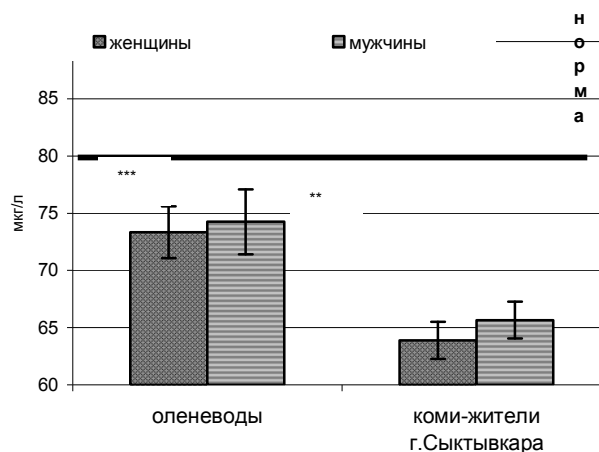


Рис. 2. Уровень селена в сыворотке крови у разных социальных групп.

Примечание. Достоверность различий в группе олениководов по сравнению с городскими жителями ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Наши исследования показали, что у олениководов и городских коми-жителей содержание сывороточного селена в крови по полу различий не имело (рис. 2). В целом, у коми-олениководов, ведущих традиционный образ жизни, наблюдали более благоприятную ситуацию с показателями селена в сыворотке крови по сравнению с коми, проживающими в городе.

По данным А.В. Ткачева и др. [8], у коренного населения европейского Севера прослеживается активизация системы гипотиз-щитовидная железа, по сравнению с мало адаптированными этносами. Можно предположить, что более высокие показатели селена в сыворотке крови у коми-олениководов, по сравнению с коми-жителями города, могут быть связаны с функциональной ролью этого микроэлемента в гормоногенезе тиреоидных гормонов. Кроме того, следует отметить, что особенностью рациона питания олениководов является высокое потребление мяса, что приводит к увеличению поступления селена в организм коренных жителей Севера. В целом, повышенное содержание селена в сыворотке крови является благоприятным условием эффективного функционирования антиоксидантной системы у коми, ведущих традиционный образ жизни, по сравнению с коми-жителями города.

Таким образом, у жителей европейского Севера количество лиц с дефицитом селена в сыворотке крови составляет: у женщин – 32% и у мужчин – 18. Возрастные особенности показателей селена у мужчин и женщин в условиях Севера имеют сходный характер. Значительное снижение уровня селена у северян отмечено в возрасте 35-45 лет. На европейском Севере фактор сезонности оказывает значительное влияние на показатели уровня селена в сыворотке крови у юношей. В организме жителей Севера его уровень в течение года существенно меняется. Выраженное снижение содержания селена в сыворотке крови у северян отмечается с мая по август, с наиболее низкими значениями в июле. Меньшее количество лиц с дефицитом селена в организме выявлено у коми, занятых в оленеводстве (19% у женщин и 14 – у мужчин) в сравнении с коми, проживающих в городе (51% у женщин и 32 – у мужчин).

Литература

1. *Хаснулин В.И.* Введение в полярную медицину. Новосибирск: Наука, 1998. 337 с.
2. *Золотов П.А.* Селен во благо и во вред // Медицинская газета, 1998. 10 июня.
3. *Авцын А.П., Жаворонков А.А., Рош М.А., Строчкова Л.С.* Микроэлементозы человека. М.: Медицина, 1991. 496 с.
4. *Авцын А.П., Жаворонков А.А., Марачев А.Г. и др.* Патология человека на Севере. М.: Медицина, 1985. 416 с.
5. *Бойко Е.Р.* Физиолого-биохимические основы жизнедеятельности человека на Севере. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 190 с.
6. *Лебедев П.А., Лебедев А.А.* Модификация спектрофлуориметрического метода определения селена крови // Химико-фармакологический журнал, 1996. Т.30. №10. С. 54-55.
7. *Wang W.C., Makela A.L., Nanto V.* Serum selenium levels in diabetic children. A follow up study during selenium-enriched agricultural fertilization in Finland // Biol. Trace. Elem. Res, 1995. Vol. 47. №3. P. 355-364.
8. *Ткачев А.В., Кляркина И.М., Исаев А.И.* Влияние гормональной активности щитовидной железы и инсулярного аппарата на уровень глюкозы у человека на Севере // Рос. физиол. журнал им. И.М. Сеченова, 1998. Т.84. № 5-6. С. 521-526.
9. *Бойко Е.Р., Потолицына Н.Н.* Особенности витаминного статуса и специфика проведения витаминизации у населения европейского Севера России // Север: наука и перспективы инновационного развития. Сыктывкар, 2006. С.358-370.
10. *Власова О.С.* Роль биологически активных элементов в регуляции углеводного обмена у детей и подростков европейского Севера. Архангельск, 2006. 19 с.

УДК 550.42

МИКРОПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ АЛМАЗЫ (ПРИРОДНЫЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ)

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

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, г.Сыктывкар

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

Исследованы синтетические алмазные микрополикристаллические агрегаты, полученные в системе Н–С–О–Fe при условии высокой концентрации в зоне реакции углеродной фазы со структурой графита и компонента (металл-катализатор, водород и т. п.), облегчающего прямую трансформацию производных углерода со слоистой структурой в тетраэдрическую. Эксперименты проводились на основе оригинальных схем алмазного синтеза. Вид поверхностей скола искусственных полизернистых алмазов оказался близким к таковому у природных бразильских карбонадо.

Ключевые слова: синтез, микрополикристаллические алмазы, агрегаты, металл-катализатор, карбонадо, флюид

V.A. PETROVSKY, A.E. SUKHAREV, V.N. FILIPPOV, V.P. FILONENKO. MICROPOLYCRYSTALLINE DIAMONDS (NATURAL AND EXPERIMENTAL SYSTEMS)

The synthetic diamond micropolycrystalline units obtained in N-C-O-Fe system under high concentration in the zone of reaction of the carbon phase with the structure of graphite and a component (metal-catalyst, hydrogen, etc.), facilitating direct transformation of carbon derivatives with layered structure in tetrahedral are investigated. Experiments were conducted on the basis of original schemes of diamond synthesis. The cloven surfaces of artificial polygranular diamonds were close to those in natural Brazilian carbonado.

Key words: synthesis, micropolycrystalline diamonds, units, metal-catalyst, carbonado, fluid

Проблема генезиса природных микрополикристаллических алмазов – карбонадо уже более 100 лет привлекает внимание не только специалистов-алмазников, но и геологов широкого профиля. Она затрагивает самые общие и фундаментальные вопросы минерало- и породообразования, включая и теоретические вопросы классифицирования иерархических систем «минерал – горная порода». Карбонадо представляет собой наиболее типичный пример таких объектов. Их природа во многом остается дискуссионной, а количество гипотез об образовании скорее не сокращается, а увеличивается.

Современное представление о химизме материнских алмазообразующих сред и особенностях минералообразования в них базируются на совокупности минералогических [1] и экспериментально полученных физико-химических [2] аргументов. Как известно, генезис карбонадо связывают с быстрой кристаллизацией [3] из гипотетического углерод-углеводородного флюида в присутствии металло-катализаторов (МК) и совместно с оксидными, силикатными и возможно карбонатными минералами [4, 5]. Особенности сколов бразильских карбонадо и полученных нами синтетических аналогов оказа-

лись столь сходными [6], что это дало основание предположить реализацию в природе РТ-условий, подобных экспериментальным (8–10 ГПа, 1400–1600 °С), тем более, что синтез поликристаллов не требует длительной выдержки. Отсюда вытекает задача получения посредством экспериментов с модельной системой «графит + металл-катализатор» конкретных данных о вероятных физико-химических условиях и механизмах образования природных микрополикристаллических алмазов [7]. При этом мы не ограничиваем роль МК лишь ускорением процесса превращения графита в алмаз, а распространяем ее и на образование особой поликристаллической структуры таких объектов. В этой связи особенно загадочными представляются вопросы о форме углеродной компоненты, способной превратиться в алмазный микроагрегат, и о том, какие именно соединения могут активировать, а затем и интенсифицировать этот процесс. Известно, что превращение графита и графитоподобных фаз в алмаз, так же как и другие фазовые переходы, могут протекать по двум принципиально различным механизмам – реконструктивному, или мартенситному бездиффузионному [8]. В первом

случае при каталитическом превращении все происходит диффузионно [5] и следующим образом (рис. 1, А): 1) сначала графит растворяется в металлическом расплаве с образованием метастабильных карбидных комплексов; 2) затем карбидные комплексы, обладающие элементами симметрии графита, металла и алмаза, способствуют диффузии углерода сквозь металлическую пленку к растущему кристаллу; 3) наконец, в адсорбционном пограничном слое карбидные комплексы в ходе взаимодействия с фононами кристалла (седловая точка АК на поверхности потенциальной энергии) изменяют свою симметрию. Это приводит к разделению углерода и металла: первый встраивается в структуру алмаза, а второй остается в металлической пленке.

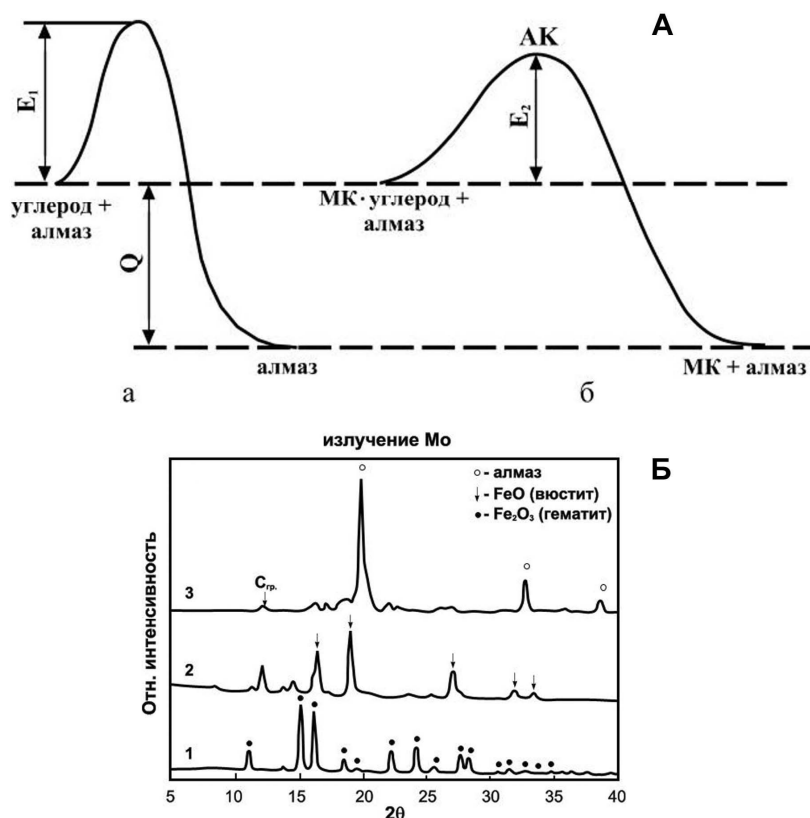


Рис. 1. Физико-химические характеристики процесса карбонадообразования.

А – изменение потенциальной энергии вдоль координаты кристаллогенетического процесса алмазообразования [10] в случаях без МК (а) и с участием МК (б): E_1 – энергия активации при прямом встраивании углерода в матрицу алмаза, E_2 – энергия активации при переходе от исходного состояния системы (МК × графит + алмаз) к конечному (МК + алмаз), Q – тепловой эффект.

Б – рентгеновские дифрактограммы, отвечающие отдельным стадиям синтеза микрополикристаллического алмаза: 1 – исходный порошок Fe₂O₃, 2 – нижняя часть стержня-катализатора после синтеза, 3 – синтезированный алмаз.

Однако этот много раз повторяющийся алгоритм можно считать справедливым только для условий относительно низких скоростей роста алмазных монокристаллов. Образование микрополикристаллических алмазов типа карбонадо требует проявления другого механизма, а именно механизма кристаллоориентированного превращения графита

в алмаз, обусловленного бездиффузионной перестройкой слоистой решетки графита в тетраэдрическую путем гофрировки или продольного изгиба слоев [5]. Возможность, по крайней мере частичной, реализации мартенситного превращения графита в ходе синтеза алмаза подтверждается такими экспериментальными фактами, как высокая скорость соответствующего превращения, обязательность использования в экспериментах хорошо окристаллизованного графита, наследование алмазом характерных особенностей графита. Для природных микрокристаллических объектов подобным подтверждением может служить присутствие в них включений лонсдейлита, который может быть получен путем прямой трансформации графита. Особенности мартенситных переходов графит – лонсдейлит – алмаз рассмотрены в ряде работ [9, 10].

Образование синтетических микрополикристаллических алмазов типа карбонадо определяется несколькими основными факторами: параметрами термобарического воздействия (давление, температура), типом углеродного материала и катализатора, характером их взаимного расположения [5]. Стандартной схемой является введение металлического стержня-катализатора (рис. 2, А) в среду графитовой заготовки, которая претерпевает превращение в алмазный агрегат при прохождении через нее «волны» жидкого катализатора. В этом случае происходит одновременное падение давления в рабочей зоне камеры из-за резкого уменьшения объема кристаллизующегося вещества при фазовом переходе графит – алмаз и снижение активности катализатора, поскольку он частично захватывается растущим алмазом. В таком синтезе участвует только фиксированное количество катализатора, попавшего в образующийся алмазный агрегат в начальный момент синтеза. В процессе роста алмаза концентрация углерода на поверхности раздела графит – алмаз быстро снижается и рост алмаза прекращается. При использовании такой схемы размер алмазных кристаллитов на поверхности «карбонадо» оказывается существенно большим, чем вблизи стержня-катализатора.

В качестве одного из примеров рассмотрим использование схемы, в которой нижняя часть стержня-катализатора представляла собой смесь оксида железа Fe₂O₃ с графитом МГ ОСЧ в равных весовых пропорциях, а верхнюю часть составлял порошок железа [9]. В данной серии опытов был применен рентгеноструктурный анализ исходного оксида железа, стержня-катализатора после окончания опы-

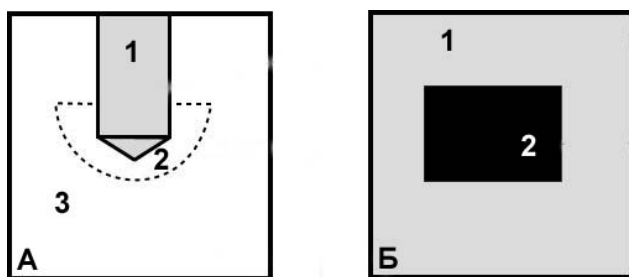


Рис. 2. Схема снаряжения ячеек высокого давления для получения синтетического аналога карбонадо.

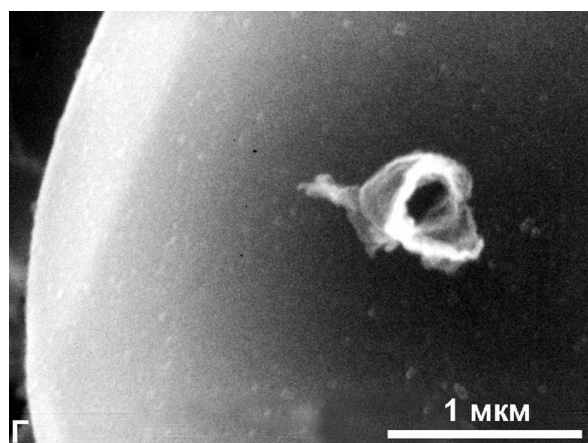
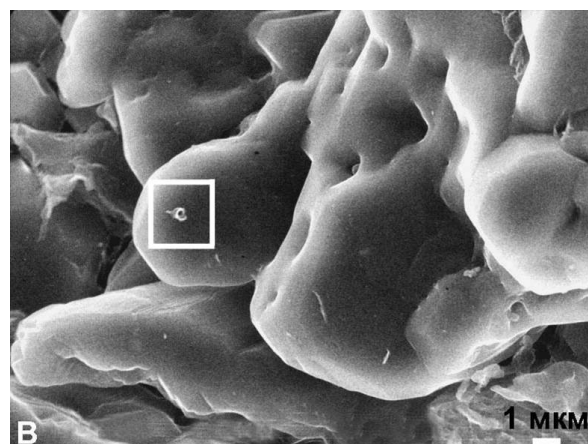
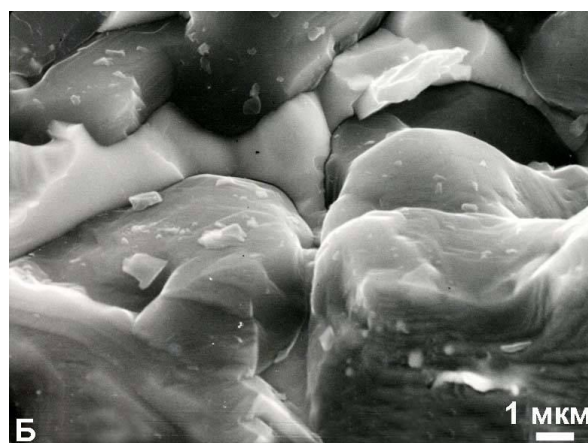
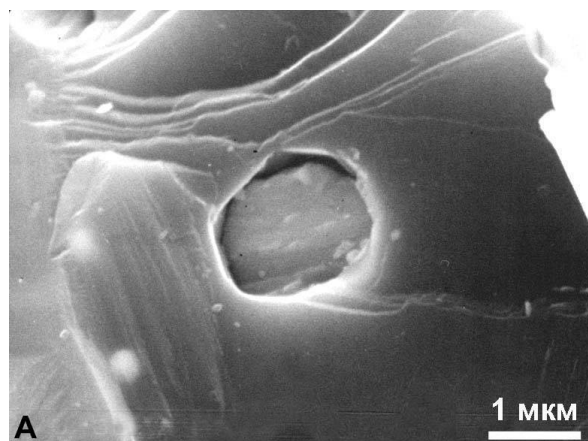
А: Заполнение контейнера высокого давления камеры типа «тороид»: 1 – стержень из смеси порошкового железа и графита, 2 – алмаз, 3 – реакционный графит.

Б: Реакционная камера: 1 – металлокерамика, содержащая 5–10% металла-катализатора, 2 – графит.

тов и синтезированного алмаза. В результате было установлено (рис. 1, Б), что все главные пики на рентгеновской дифрактограмме исходного оксида соответствуют гематиту – Fe_2O_3 . Стержень после синтеза, судя по рентгеновским данным, содержит остатки графита и вюстит – FeO , а в поликристаллическом агрегате основной фазой является алмаз. Кроме того, в синтетическом «карбонадо» зафиксирована примесь графита и карбидов. Таким образом, в ходе опытов в стержне происходит восстановление Fe_2O_3 до FeO . При этом в реакционной зоне генерируется достаточно высокая концентрация CO – CO_2 , в результате чего карбонадо образуется в существенно флюидизированной среде.

В полученном искусственно алмазном агрегате методом сканирующей электронной микроскопии были исследованы интерстиции. В большинстве случаев в них, как и внутри самих алмазных индивидов, обнаруживаются сингенетические включения металлсодержащей фазы (рис. 3, А). На отдельных участках карбонадо форма упомянутых индивидов гранулоподобная (рис. 3, Б). В некоторых кристаллитах встречаются воронкообразные полости (рис. 3, В–Г), похожие на подобные образования в природных карбонадо (рис. 3, Д–Е) и, вероятно, характеризующие динамику взаимоотношений твердой и газовой фаз в процессе кристаллизации алмаза [11]. Поверхности механического разрушения (сколы) октаэдрических микрокристалликов алмаза в синтетических карбонадо также схожи с таковыми в природных объектах. При лабораторном вытравливании металлсодержащей фазы в телах карбонадо вскрываются поры, стенки которых инкрустированы алмазными кристаллитами [5]. Здесь же встречаются пока еще малоизученные нанометровые углеродистые глобулы.

Для природы, вероятно, наиболее обычен вариант, схематически показанный на рис. 2, Б: более или менее локальное скопление углеродного материала окружено средой, обладающей каталитической активностью. В таких условиях при синтезе карбонадо можно отдельно оценить влияние различных факторов на их микроструктуру, поскольку рост кристаллов в наружном слое будет определяться в основном термобарическими пара-



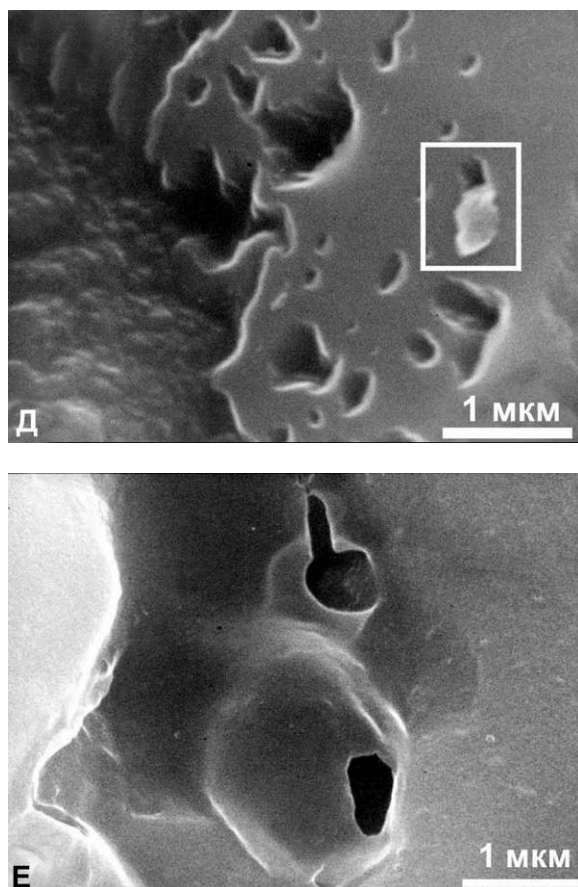


Рис. 3. Морфологические особенности синтетических (А-Г) и природных (Д, Е) алмазных кристаллитов, выросших в флюидонасыщенной среде. А – сингенетические включения металлосодержащей фазы, Б – грануломорфные алмазные кристаллиты; В, Г – включения флюидной фазы в индивидах алмаза (В – общий вид; Г – детализировано); Д – результат разгерметизации вакуоли с выбросом флюида (состав его реликтов – Si 2.34, Cl 3.86, Ca 26.76, Ti 0.66, Cr 13.34, O 52.93 %); Е – каверны на месте вскрывания вакуолей.

метрами и характеристиками графита, а во внутренней части в большей степени будет сказываться изменение давления. Его величина во многом будет зависеть от размеров графитовой заготовки. При большом диаметре заготовки и малой толщине фазовый переход графит – алмаз может достаточно легко проходить во всем объеме скопления углерода. Если диаметр и высота заготовки приблизительно равны, то образующаяся при синтезе алмазная «корка» будет экранировать от внешнего давления. Это приведет к увеличению размеров алмазных зерен или полной остановке процесса их кристаллизации. В любом случае внешняя форма микрозернистого алмазного тела будет соответствовать форме исходной графитовой заготовки и полученный продукт можно определять как карбонадо заданной формы (КЗФ).

Для исследования влияния природы исходного углеродного материала КЗФ синтезировали из заготовок плотного графита марки МПГ-6 и пирографита, которые имели диаметр 4 мм и высоту 2.5 мм. Окружающий эти заготовки материал представлял собой токопроводящую смесь карбидов и

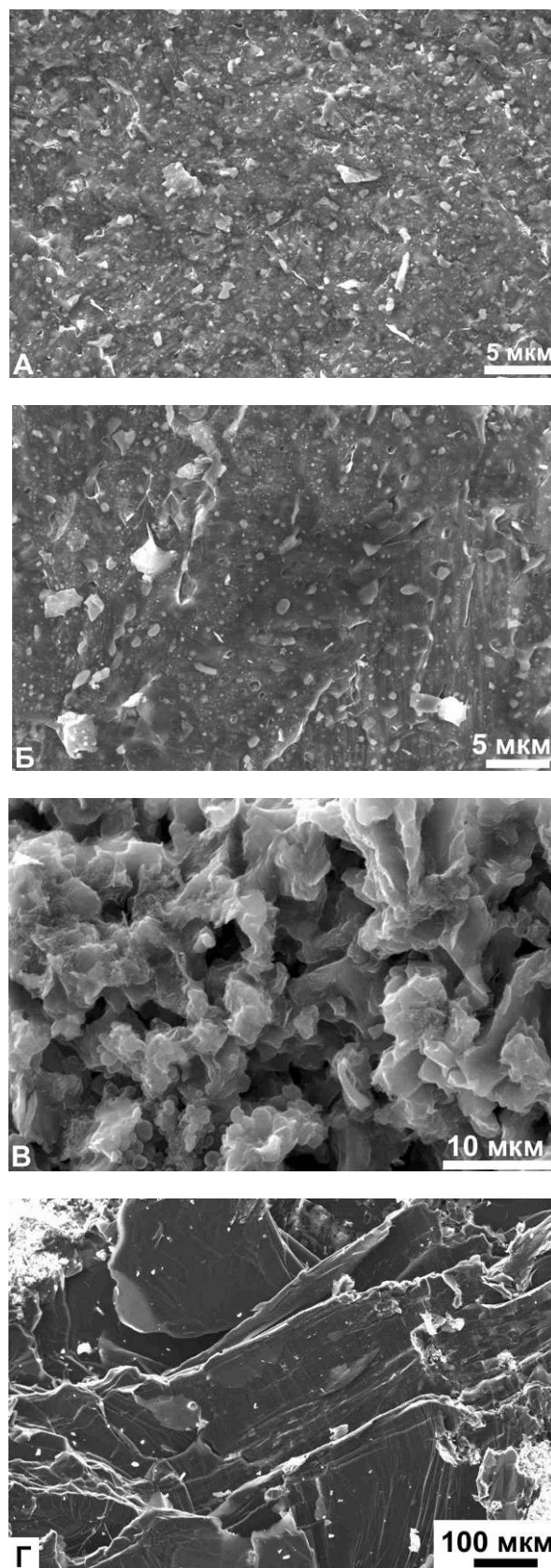


Рис. 4. Внутреннее строение микрополикристаллических алмазов, синтезированных за счет пирографита (А) и графита МПГ-6 (Б) и исходных материалов – графита (В) и пирографита после термической обработки (Г).

боридов, содержащую 5 % металлического кобальта. Термобарические параметры воздействия под-

бирались таким образом, чтобы переход графит – алмаз проходил во всем объеме заготовок. Из рис. 4, А-Б видно, что размер структурных элементов в синтетическом апопирографитовом карбонадо существенно меньше, чем в карбонадо, полученного за счет графита МПГ-6. Причем в первом случае в продукте синтеза наблюдалась текстура, отражающая характерную для пирографита слоистость. Структуры, приведенные на рис. 4, В-Г, показывают, что для графита МПГ-6, получаемого из углеродного сырья методами порошковой металлургии, характерна мелкая и равномерная зернистость. Она обусловлена частицами размером не более 10 мкм. В то же время графит, полученный методом пиролиза, имеет принципиально иную структуру. Анализ микрополикристаллических алмазов, полученных за счет пирографита, указал на присутствие в них оставшихся от исходного вещества крупных слоистых кристаллитов. Указанные различия графитов проявляются и в микроструктуре образующихся из них полизернистых алмазных агрегатов.

Анализ микроструктуры алмаза, полученного из МПГ-6, выявляющийся после протравливания сколов в смеси кислот (рис. 5, А-Б), показал, что у края образцов размер индивидов опускается ниже 10 мкм. При этом они представляют характерную для карбонадо картину взаимного прорастания. В центре образца размеры зерен существенно превышают 10 мкм, будучи здесь в большей степени обособленными и обнаруживая элементы как внешней кристаллографической огранки, так и овализации. Каких-либо иных различий в структуре периферийной и центральной областей алмазного микрополикристаллического агрегата не наблюдалось.

В структуре протравленного апопирографитового карбонадо (рис. 5, В-Г) наблюдаются макронеоднородности в виде разделения зон плотного сложения границами, отмеченными более рыхлым материалом. Такая структура, вероятно, обусловлена мартенситным переходом в алмаз больших объемов достаточно совершенного графита, при котором и образовались плотные зоны. Пограничные участки формировались в условиях дефицита углеродного материала и вытеснения из них частиц металла-катализатора. Кроме того, в объеме алмазного поликристалла обнаружены крупные поры, заполненные, похоже, смесью карбидов и оксидов металлов, образовавшихся за счет металла-катализатора (рис. 5, Г).

Таким образом, в нашей работе впервые успешно проанализированы результаты эксперимен-

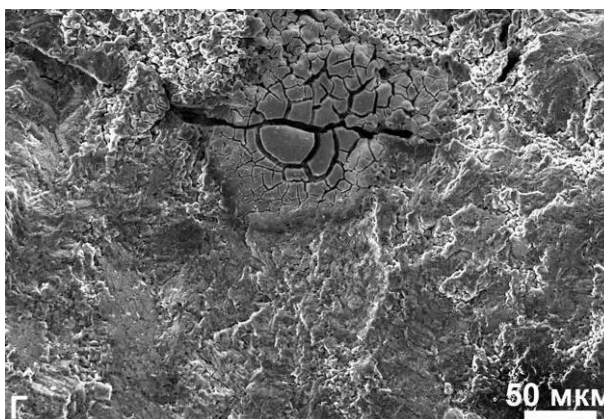
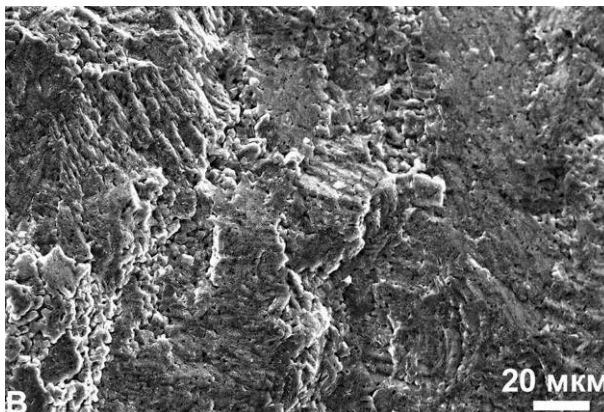
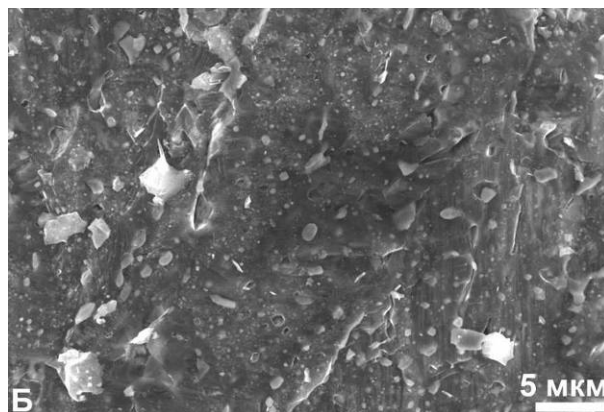
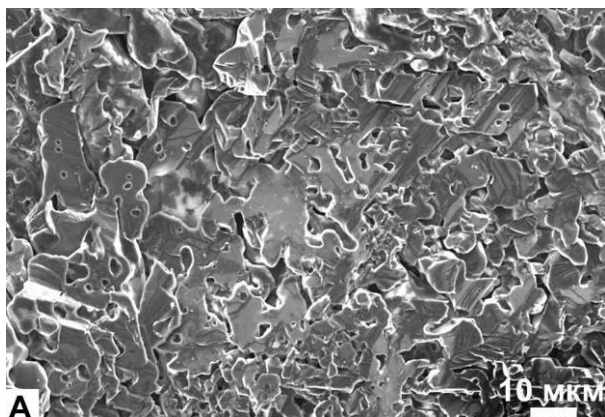


Рис. 5. Структура микрополикристаллических алмазов, полученных за счет графита МПГ-6 (А – край тела, Б – центральная его часть) и пирографита после химического травления (В – чередование зон плотного и рыхлого сложения, Г – пора).

тального получения микрополикристаллических алмазов в системе H-C-O-Fe , имеющей сходство с обстановкой образования природного карбонадо и вполне отвечающей условиям кристаллизации алмаза в присутствии флюидных компонентов CO и CO_2 .

Установлено, что при давлениях около 8.0 ГПа и температурах около 1500 °С в объеме стержней-катализаторов из смесей железа или оксида железа с порошковым графитом образуются отдельные монокристаллы или сростки из нескольких кристаллов алмаза. Наличие флюидной фазы состава $\text{CO} + \text{CO}_2$ приводит к формированию сингенетических включений флюида, а также искаженных двойникованных монокристаллов с наличием отрицательного рельефа. При этом рост кристаллов алмаза обеспечива-

ется диффузией углерода к растущим граням через жидкую металлическую и флюидную фазы. Одновременно в тех же экспериментах из монолитной графитовой заготовки вырастают плотные алмазные микрополикристаллические агрегаты. К их отличиям от карбонадоподобных алмазов, полученных нами ранее при использовании в качестве катализатора сплава никеля с хромом [12], можно отнести значительное количество алмазных кристаллитов округлой формы, свидетельствующих о начале растворения. Этот факт можно объяснить относительной трудностью формирования микрозернистого алмазного агрегата в системе железо – углерод, обусловленной образованием в ходе синтеза устойчивого карбида Fe_3C . Замедление скорости роста каркаса микрополикристаллического алмаза путем мартенситного превращения графита приводит к появлению в алмазном агрегате примеси металлической фазы, которая фиксируется как в виде тонких прослоек по границам алмазных индивидов, так и внутри последних в качестве равноосных включений с формой гексагонов. Кроме того, в синтетических алмазах образуются вакуоли, заполненные металлом, давление в которых может оказаться ниже, чем давление, отвечающее термодинамической стабильности графита. В таких условиях алмазные стенки вакуолей подвергаются растворению.

Подтвержден факт синтеза плотных алмазных микрополикристаллов типа карбонадо со взаимно проросшими алмазными кристаллитами в условиях высокой концентрации в зоне реакции углеродной фазы со структурой графита и компонента (металл-катализатор, водород и т.п.). В выбранной схеме заполнения реакционного объема (рис. 2, А) плотные карбонадоподобные алмазы, характеризующиеся взаимно проросшими зернами алмаза, получены лишь в случаях, когда в стержне-катализаторе присутствовало металлическое железо. Следовательно, только металлическое железо способно обеспечить реализацию механизма мартенситного (бездиффузионного) перехода в больших объемах во всем пространстве от стержня-катализатора до краев графитовой заготовки. При использовании в качестве стержней-катализаторов оксида Fe_2O_3 или его смеси с графитом реализуется только диффузионный механизм трансформации с участием флюидной фазы $CO-CO_2$, поскольку в выбранных для экспериментов термобарических условиях гематит восстанавливается только до вюстита, а не до металлического железа.

Образование из графита карбонадоподобных алмазов в системе $H-C-O$ также маловероятно, поскольку водород можно считать расходуемым катализатором. После превращения отдельного графитового кристаллита в алмаз водород рассеивается, в результате могут сформироваться только единичные сростки монокристаллов. Железо, напротив, ведет себя пассивно, сохраняется в зоне превращений стабильно и может обеспечить превращение разноориентированных графитовых зерен в алмаз в гораздо большем объеме.

Использование оригинальной экспериментальной схемы синтеза тел микрополикристаллических алмазов заданной формы (рис. 2, Б) наглядно позволяет изучать влияние различных физико-химических факторов на формирование структуры

агрегатов типа карбонадо. В частности, показано, что микрополикристаллические алмазы, полученные за счет мелкозернистого графита, характеризуются равномерной пористостью, а апопирографитовые алмазы отличаются макронеоднородностями в виде дискретных участков с плотной структурой.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов Президента Российской Федерации МК-4015.2008.5, НШ-3266.2008.5 и ОНЗ РАН.

Литература

1. Schrauder M., Navon O. Hydrous and carbonatic mantle fluids infibrous diamonds from Jwaheng, Bostwana // *Grochim. et Cosmochim. Acta*, 1994. Vol. 58. № 2. P.761-771.
2. Лутвин Ю.А., Жариков В.А. Экспериментальное моделирование генезиса алмаза: кристаллизация алмаза в многокомпонентных карбонат-силикатных расплавах при 5-7 ГПа и 1200-1570 °C // *Доклады РАН*, 2000. Т.372. №6. С.808-811.
3. Gurney J. J., Boyd F. R. Mineral intergrowths with polycrystalline diamonds from Orapa Mine, Botswana. *Carnegie Inst. Wash. Yearbook* 81. 1982. P.267-273.
4. Галимов Э.М., Каминский Ф.В., Кодина Л.А. Новые данные об изотопном составе углерода карбонадо//*Геохимия*, 1985. №5. С.723-726.
5. Сухарев А.Е., Петровский В.А. Минералогия карбонадо и экспериментальные модели их образования. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 196 с.
6. Сравнительный анализ структурных характеристик синтетических и природных алмазных поликристаллов карбонадо / В.А. Петровский, А. А. Антанович, А.Е. Сухарев, М.Мартинс, В. П. Филоненко, Е. Н. Яковлев. (Материалы Международной конференции по проблемам физики твердого тела). Минск, 2003. С.68-70.
7. Физико-химические условия генезиса карбонадо по природным и экспериментальным данным / В.А. Петровский, Е.Н. Яковлев, В.П. Филоненко, М. Мартинс, А.А. Антанович, А.Е. Сухарев, Д.В. Петровский // *Материалы 7-й Междунар. научн. конф. «Молекулярная биология, химия и физика гетерогенных систем»*). Москва–Плес, 2003. С.233-238.
8. Петровский В.А., Филоненко В.П., Сухарев А.Е. Экспериментальное моделирование генерации алмазных микрополикристаллов в ростовой среде $H-C-O-Fe$ с участием газовой фазы. Сыктывкар: Геопринт, 2008. 20 с. (Отчетная серия №4).
9. Бритун В.Ф., Курдюмов А.В. Мартенситные превращения в углероде и нитриде бора // *Сверхтвердые материалы*, 2001. №2. С. 3-14.
10. Курдюмов А.В., Боримчук Н.И. Механизм превращения ромбоэдрического графита в алмаз// *ДАН СССР*, 1987. Т. 297. №3. С.602-604.
11. Петровский В.А. Рост кристаллов в гетерогенных растворах. Л.: Наука, 1983. 144 с.
12. К проблеме генезиса карбонадо / В.А. Петровский, Е.Н. Яковлев, В.П. Филоненко, Ю.В.Глухов, А.Е. Сухарев, М. Мартинс // *Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН*, 2004. № 4. С.9-15.

О ВОЗРАСТЕ ДЕВОНСКИХ ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫХ РОССЫПЕЙ ТИМАНА

А.М. ПЛЯКИН, О.В. ЕРШОВА

Ухтинский государственный технический университет, г.Ухта

Анализ особенностей минерального состава тиманских россыпей и их коренных источников, сравнение строения Ярегской россыпи с Пижемской и Ичетъюской показывают их качественную аналогию. Сходство особо подчеркивается их этажированностью. Все они являются продуктами единого девонского коро- и россыпеобразовательного процесса на Тимане. Пижемскую и Ичетъюскую россыпи предлагается объединить по аналогии с Ярегской в единое Умбинско-Средненское месторождение, состоящее из нижней – Пижемской и верхней – Ичетъюской россыпей. Возраст Пижемской россыпи определяется как раннедевонский (эмский), что подтверждается возрастом девонских бокситов Тимана.

Ключевые слова: россыпное месторождение, Тиман, Пижемская россыпь, возраст

A.M. PLYAKIN, O.V. ERSHOVA. ON THE AGE OF DEVONIAN POLY-MERIC ALLUVIAL DEPOSITS IN TIMAN

Analysis of mineral composition of Timan placers' peculiarity and comparison between the structure of the Yarega placer and Pizhma and Ichetyu placers show their qualitative analogy. This similarity is especially underlined by storeys. All of them are the products of the equal Devonian process of the crust- and placer-formation. It is suggested to consolidate the Pizhma and Ichetyu placers, like Yarega, into the united Umbinsko-Srednenskoe field, which consists of the lower – Pizhma and higher – Ichetyu placers. The Pizhma placer's age is specified as early- Devonian (Emsian). It is confirmed by the age of the Timan Devonian bauxites.

Key words: alluvial deposit, Pizsha plour, age, Timan

В пределах Среднего и Южного Тимана известны три россыпи с промышленными рудами (Ярегская, Пижемская и Ичетъюская), в составе которых установлен широкий комплекс минералов с преобладанием лейкоксена, рутила, ильменита, анатаза. Во всех россыпях отмечены разные количества колумбита, ильменорутила, циркона, монацита, куларита, ксенотима, а также золота. Россыпь Ичетъюская отличается присутствием заметных количеств алмазов.

Относительно возраста этих россыпей в настоящее время существуют разные мнения. Для трёх горизонтов Ярегской россыпного месторождения возраст определен на основании соответственно позднеэфельского, живетского и ранне-франского спорово-пыльцевых комплексов и не вызывает сомнений. Достаточно уверенно установлен позднеэфельский возраст Ичетъюской россыпи, подтверждённый также спорово-пыльцевыми комплексами. (В статье использована стратиграфическая схема девонской системы советских времен, см. рисунок).

Относительно возраста Пижемской россыпи, породы которой С.В. Тихомировым [1] были включены в состав пижемской свиты эфельского яруса, дискуссия продолжается до сих пор. О.С. Кочетков [2] отнес ее к подпижемским слоям и сопоставил с седельской свитой, слагающей среднекембрий-

ско-ордовикское основание осадочного чехла Печорской синеклизы. Е.А. Цаплин с соавторами [3] считают их аналогами нибельской свиты ордовика, а В.Г. Колокольцев [4] относит к верхнему венду. Такой разброс взглядов на возраст Пижемской россыпи объясняется полным отсутствием в образующих её породах органических остатков.

Достоверно установленным можно считать только допозднеэфельский возраст этой россыпи, залегающей под позднеэфельскими отложениями, включающими Ичетъюскую россыпь. Различные мнения о возрасте этого россыпного горизонта на Среднем Тимане имеют во многом субъективный характер. Они основаны только на внешнем сходстве псефитов Пижемской россыпи с разновозрастными псефитами, развитыми за пределами Тиманского складчатого сооружения. При этом в анализе процесса седиментации совершенно не учитывался историко-геологический подход.

В.Д.Игнатъев и И.Н.Бурцев [5] впервые справедливо отнесли Ярегскую россыпь к этажно построенным. Она сложена тремя россыпными горизонтами, отличающимися лишь количественными соотношениями минералов. При этом нижняя, средняя и верхняя россыпи располагаются непосредственно друг над другом и разделены двумя безрудными горизонтами. Нижняя россыпь является наиболее богатой. Такое же строение на Сред-

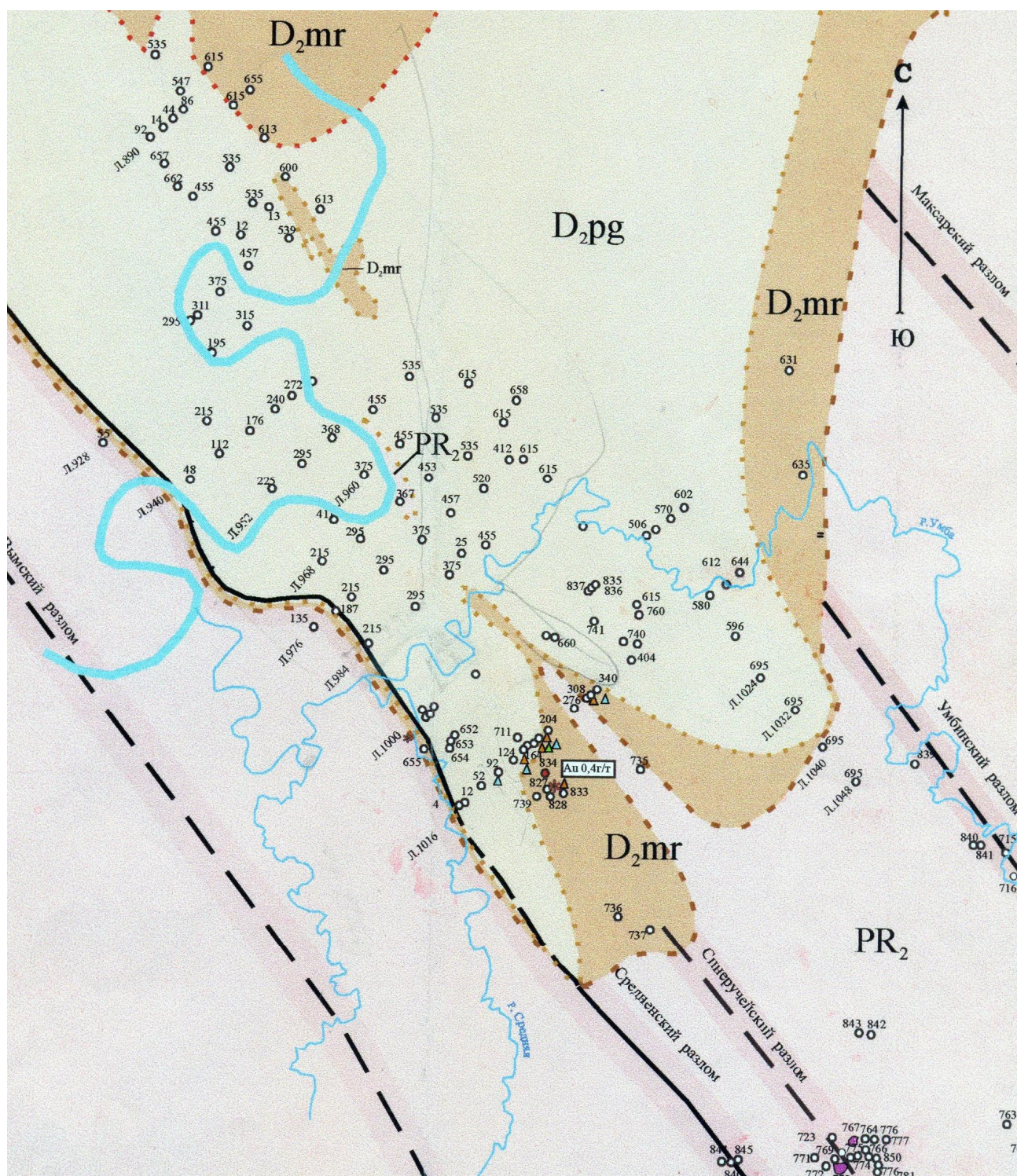


Рис. Геологическая карта Ичетью-Пижемского россыпного поля (по В.А. Дудару, 2001 г.) – Умбинско-Средненского месторождения.
Условные обозначения:

D₂pg	Живетский ярус, пижемская свита
D₂mr	Эйфельский ярус, малоручейская свита
PR₂	Рифейские отложения

---	Граница Пижемской россыпи
....	Граница Ичетьюской россыпи
Л960	Поисковые линии и их номера
○234	Буровые скважины
▲	

нем Тимане имеют и расположенные друг над другом Пижемская и Ичетьюская россыпи (рисунок). Практическое совпадение площадей их развития было отмечено В.А. Дударом [6].

Минеральный состав Пижемской и Ичетьюской россыпей качественно сходен. Количественные соотношения образующих их минералов имеют различия (табл. 1, 2). Серьезным отличием является присутствие в Ичетьюской россыпи алмазов. Это можно объяснить эволюцией историко-геологических процессов при последовательном разрушении и изменении коренных источников. С этим связано и появление нового объекта эрозии (вероятнее всего, кимберлитовых трубок), что привело к формированию еще более разнообразного минерального парагенезиса.

Таблица 1

Минералы титана и золото в россыпях Тимана

Россыпь	Мак. содержание минералов в 1м ³ песков (по материалам ООО «ЮКОМ», 2004 г.)		
	Ильменит, кг	Лейкоксен, кг	Золото, г
Ичетьюская	2,0	1,5	144
Пижемская	24,0	49,8	0,38

Таблица 2

**Редкометалльные и редкоземельные минералы
среднетиманских россыпей**

Россыпь	Мак. содержание в 1м ³ «песков» (по материалам ООО «ЮКОМ», 2004)			
	Циркон, кг	Монацит, кг	Куларит, кг	Колумбит+ильменорутит, кг
Ичетьюская	3,5	300	3,0	12
Пижемская	1,2	6	7,5	220

После обнаружения Пижемской россыпи О.С. Кочетков [7] высказался о наличии на этой площади второго россыпного горизонта, открытого А.А. Черновым еще в 1942-1948 гг. [8]. Именно тогда О.С. Кочетков нижний горизонт (Пижемская россыпь) отнёс к эйфельским (ныне – эмским) образованиям, а верхний (россыпь А.А. Чернова, будущая Ичетьюская россыпь) – к живетским, назвав их соответственно подпижемскими и пижемскими слоями.

Сравнивая среднетиманские россыпи с южнотиманскими, легко заметить их удивительное сходство не только по минеральному составу, но и по строению. Все эти три россыпи справедливо выделять как два этажированных месторождения, образованных в результате единого для Тимана корообразовательного процесса, давшего исходный материал для всего тиманского комплекса полиминеральных россыпей [9, 10]. По аналогии с Ярегской россыпью Южного Тимана обе среднетиманские можно принять как единое этажированное Умбинско-Средненское месторождение. В его составе, также по аналогии с Ярегским, логично выделить нижнюю (Пижемскую) и верхнюю (Ичетьюскую) россыпи. Именно в виде «комплекса генетически связанных разновозрастных россыпей, объединенных единым геологическим контуром», В.Д.Игнатьев и И.Н.Бурцев рассматривают среднетиман-

ские россыпи [5, с. 73]. Высказанные некоторыми исследователями [6, 7 и др.] представления об образовании Ичетьюской россыпи за счет перемыва и обогащения нижележащей Пижемской представляются авторам необоснованными.

В связи с изложенным можно более определенно говорить о возрасте нижней россыпи. Вероятнее всего, она сформировалась в начальную фазу единого коро- и россыпеобразующего процесса, протекавшего на Среднем и Южном Тимане с ранне- до раннефранского времени. Генетическая связь названных тиманских россыпей с единым россыпеобразующим процессом отмечали В.Д.Игнатьев и И.Н.Бурцев [5]. Нам представляется, что начальные (раннедевонские) стадии процесса корообразования характеризовались преобладанием физического дезинтеграции пород, создающей благоприятные условия для формирования россыпей. Об этом свидетельствует и сходство химического состава лейкоксена и других минералов из россыпей (табл. 3).

К концу раннего девона на территории Среднего Тимана были созданы благоприятные условия (влажный жаркий климат) для интенсивного химического выветривания. Изменение климата было, вероятно, зональным и закономерным, в направлении с северо-запада к юго-востоку. Об этом может свидетельствовать возраст известных среднетиманских месторождений латеритных бокситов, более древний в северной части Среднего Тимана (Володинское) и более молодой (Четласская группа) в его южной части. Безусловно, следует учитывать и характер древнего рельефа, изменявшегося от более расчлененного в раннедевонское время до более выровненного к среднему девону. Следовательно, наиболее вероятен раннеэйфельский (эмский в современной шкале девона) возраст Пижемской россыпи Умбинско-Средненского россыпного месторождения.

Таблица 3

**Химсостав лейкоксена из тиманских россыпей,
вс. %**

Элементы	Пижемская россыпь, монофракция из хвостов обогащения [5, с. 162]	Ярегская россыпь, [11, с. 200]
SiO ₂	34,99	30,65
TiO ₂	56,71	57,85
Al ₂ O ₃	2,64	7,73
Fe ₂ O ₃	2,19	0,15
FeO	0,52	0,35
MnO	0,15	следы
MgO	0,19	0,16
CaO	0,26	н/обн.
K ₂ O	0,08	0,16
Na ₂ O	1,34	1,35

Аналогичные полиминеральные скопления выявлены на Южном Тимане в составе асывовожской свиты эйфельского возраста [12]. Здесь в составе тяжелой фракции преобладает циркон, присутствуют рутит, ильменит и лейкоксен, монацит и

ксенотим. Отмечено присутствие редких мелких зерен золота и единичных алмазов. Все это убедительно свидетельствует о формировании парастерезической ассоциации минералов, аналогичной известной в Ичетьюской россыпи.

Таким образом, повсеместно для всего Тимана характерно развитие продуктов единого коррозийно-россыпеобразующего девонского процесса. В целом для Среднего и Южного Тимана первый этап формирования россыпей относится к раннеэифельскому времени, с которым связано формирование Пижемской россыпи на Среднем Тимане. Второй этап россыпеобразования в позднеэифельско-живетско-раннефранское время привёл к формированию Ичетьюского месторождения на Среднем Тимане и Ярегского – на Южном Тимане.

Литература

1. *Тихомиров С.В.* Девон Среднего Тимана // Изв. АН СССР, 1948. №2. С. 47-56.
2. *Кочетков О.С.* Геология древнейших россыпей Тимана // Россыпи складчатых (орогенных) областей. Ч.1. Бишкек, 1991. С. 51-54.
3. *Цаплин А.Е., Тополук В.В., Бакулина Л.П., Довжикова Е.Г.* Строение титаноносной малоручейской свиты Среднего Тимана // Изв. вузов. Геология и разведка, 1988. №9. С. 57-62.
4. *Колокольцев В. Г., Лисицына М. А., Бунакова Н.Ю.* Полигенетичность титаноносной формации Тимана // VIII совещ. по геологии россыпей: тез. докл. Киев, 1987. С. 260-262.
5. *Игнатьев В.Д., Бурцев И.Н.* Лейкоксен Тимана. Минералогия и проблемы технологии. СПб.: Наука, 1997. 215 с.
6. *Дудар В.А.* Геологическое строение и условия формирования россыпей Вымской гряды: Автореф. дис. на соискание учен. степени канд. геол.-мин. наук. Сыктывкар, 2002. 20 с.
7. *Кочетков О.С.* Акцессорные минералы в древних толщах Тимана и Канина. Л.: Наука, 1967. 121 с.
8. *Калинин П.Д.* Золото // Производительные силы Коми АССР. Т. 1. Геологическое строение и полезные ископаемые. Тиманский комплекс. М.: АН СССР, 1953. С. 396-402.
9. *Плякин А.М.* Металлогеническое наследование палеозойским чехлом Среднего Тимана докембрийского фундамента // Металлогения и динамика Урала. Екатеринбург, 2000. С. 68-72.
10. *Щербаков Э.С., Плякин А.М., Битков П.П.* Факторы, контролировавшие образование девонских россыпей Тимана // Геология девонской системы. Сыктывкар: Геопринт, 2002. С. 317-319.
11. *Калюжный В.А.* Геология новых россыпеобразующих метаморфических формаций. М.: Наука, 1982. 264 с.
12. *Швецова И.В.* Особенности минерального состава грубообломочных алмазоносных отложений асывовожской свиты Джежимпармы (Южный Тиман) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы европейского Северо-Востока России. Сыктывкар: Геопринт, 1993. С. 35-37.

ВЯЗКИЕ НЕФТИ И УРОВЕНЬ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА НА ТЕРРИТОРИЯХ ВОЛГО-УРАЛЬСКОГО, ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО И ТИМАНО-ПЕЧОРСКОГО БАСЕЙНОВ

И.Г. ЯЩЕНКО

Институт химии нефти СО РАН, г.Томск

Статья посвящена исследованию основных свойств вязких нефтей Волго-Уральского, Западно-Сибирского и Тимано-Печорского нефтегазоносных бассейнов в зависимости от уровня теплового потока. Проведен анализ его пространственного распределения на территории бассейнов. Установлена зависимость этого показателя с вязкостью нефтей, которая с увеличением уровня теплового потока уменьшается. С уровнем теплового потока связано и содержание в нефтях серы, парафина, смол и асфальтенов. С его повышением содержание серы, смол и асфальтенов уменьшается, а парафинов – увеличивается.

Ключевые слова: вязкие нефти, тепловой поток, химический состав нефтей, нефтегазоносный бассейн

I.G. YASHCHENKO. VISCOUS OILS AND HEAT FLUX LEVEL IN TERRITORIES OF THE VOLGA-URALS, WEST - SIBERIAN AND TIMAN-PECHORA OIL-BEARING BASINS

Paper is devoted to review of general properties of viscous oils of oil-bearing territories of Volga-Urals, West- Siberian and Timan-Pechora depending on heat flux level. Analysis of spatial structure of heat flux by its level was carried out on oil-bearings territories. The relationship between heat flux level and viscosity of oil in oil bearing territories was established. It is shown that increase of heat flux level is accompanied by viscosity of oil decrease. The relationship between heat flux level and contents of sulfur, paraffins, resins and asphaltenes in oils are studied. It is shown that content of sulfur, resins and asphaltenes decreases under heat flux level grow and contents of paraffins increases.

Key words: viscous oils, heat flux, chemical composition, oil-bearing basin

Вследствие существенного истощения залежей нефтей малой и средней вязкости в мире остро встает проблема повышения объемов добычи нефти путем вовлечения в разработку запасов трудноизвлекаемых нефтей, в том числе и вязких нефтей. Запасы таких нефтей велики и специалистами оцениваются в 810 млрд. т [1, 2]. В России сосредоточены значительные запасы вязких нефтей (ВН) в более чем 400 месторождениях, которые в основном находятся на территории трех основных по нефтедобыче нефтегазоносных бассейнов (НГБ) – Волго-Уральском, Западно-Сибирском и Тимано-Печорском. Запасы ВН в этих НГБ составляют около 94 % от общероссийских запасов вязких нефтей (табл. 1).

В задачах повышения эффективности разведки и добычи вязких нефтей важное значение имеют знания о закономерностях размещения таких нефтей и изменениях их физико-химических свойств в зависимости от уровня теплового потока (УТП), характеризующего энергетические ресурсы теплового потока как одного из важнейших факторов нефтегазообразования. Закономерности размещения вязких нефтей в зависимости от уровня теплового потока являются уникальными, представляющими значительный интерес для разведки нефтяных залежей. В связи с этим основной целью работы является проведение исследований законо-

Таблица 1

Распределение основных запасов ВН на территории Волго-Уральского, Западно-Сибирского и Тимано-Печорского бассейнов [4, 5]

Регион	Запасы ВН, млрд. т	Доля от суммарных запасов ВН России, %
Западно-Сибирский бассейн		
Тюменская область	2,329	37,3
Волго-Уральский бассейн		
Республика Татарстан	1,163	18,7
Республика Удмуртия	0,285	4,6
Самарская область	0,284	4,6
Пермская область	0,237	3,8
Республика Башкортостан	0,151	2,4
Тимано-Печорский бассейн		
Республика Коми	0,897	14,4
Архангельская область	0,498	8,0
Всего:	5,845	93,7

мерностей изменения физико-химических свойств вязких нефтей Волго-Уральского (ВУНГБ), Западно-Сибирского (ЗСНГБ) и Тимано-Печорского (ТПНГБ) в зависимости от уровня теплового потока.

Основу проведения исследований закономерностей пространственных и временных изменений свойств ВН составила созданная в Институте химии нефти СО РАН глобальная база данных (БД) по физико-химическим свойствам нефти, включающая описания более 17 300 образцов нефти [3, 4].

Общая характеристика данных и методы их анализа

Как известно из литературных источников [5–7], к вязким нефтям принято относить образцы нефтей с вязкостью 30 мПа·с или 35 мм²/с и выше. Здесь и далее рассматривается вязкость при 20°С. Приведенные значения вязкости нефти соответствуют пределу, за которым начинаются осложнения при добыче, транспортировке и переработке нефти и рост ее себестоимости.

Некоторые результаты изучения пространственных изменений физико-химических свойств вязких нефтей изложены в ряде наших работ, например, [8–10]. Новые результаты изучения пространственных изменений физико-химических свойств в зависимости от уровня теплового потока опубликованы в работах [11–13]. Кратко охарактеризуем тепловой поток на рассматриваемой территории (рис. 1).

Большинство территории Тимано-Печорского НГБ, а именно север, восток и юг бассейна, имеет тепловой поток в пределах 30 – 40 мВт/м². На западе, частично охватывая территории в центре Республики Коми, наблюдается низкий уровень теплового потока в пределах 20 – 30 мВт/м², который является самым низким в границах трех бассейнов. Установлено, что УТП на территории ТПНГБ уменьшается с востока на запад.

Как видно на рис. 1, в пределах Волго-Уральского бассейна УТП изменяется в более широких пределах – от 20 мВт/м² на территории Кировской области до 50 мВт/м² на юге бассейна, охватывая юг Республики Татарстан, восток Самарской, запад Оренбургской областей и территории Волгоградской и Астраханской областей. Однако большая часть бассейна имеет УТП в пределах 30 – 40 мВт/м². Следовательно, на территории ВУНГБ уровень теплового потока уменьшается с юга на север.

Тепловой поток на территории Западно-Сибирского бассейна в среднем заметно отличается по уровню от теплового потока соседних бассейнов [14] и в распределении его отмечаются некоторые особенности (рис. 1). Уровень теплового потока на территории ЗСНГБ повышается в направлении с востока на запад, достигая в районе Нюрольской мегавпадины и Усть-Тымской впадины значений более 60 мВт/м². Высокий уровень теплового потока также наблюдается в Ханты-Мансийской мегавпадине и Березовской моноклинали. Высокий УТП (более 60 мВт/м²) зафиксирован в западной части п-ова Ямал и вдоль Колтогорско-Уренгойского мегапрогиба (более 50 мВт/м²). Низкий тепловой поток (30–40 мВт/м²) отмечается на юге ЗСНГБ (рис. 1), к западу область низкого теплового потока расширяется, захватывая весь юго-запад Западно-Сибирской плиты и сопредельные с ней районы Северного Казахстана и Южного Урала.

Для удобства представления и интерпретации результатов исследований была использована следующая градация зон с разным уровнем теплового потока: 1 – зона с очень высоким УТП (более 60 мВт/м²), 2 – зона с высоким УТП (от 50 до 60 мВт/м²), 3 – зона со средним УТП (от 40 до 50 мВт/м²), 4 – зона с низким УТП (от 30 до 40 мВт/м²), 5 – зона с очень низким УТП (от 20 до 30 мВт/м²).

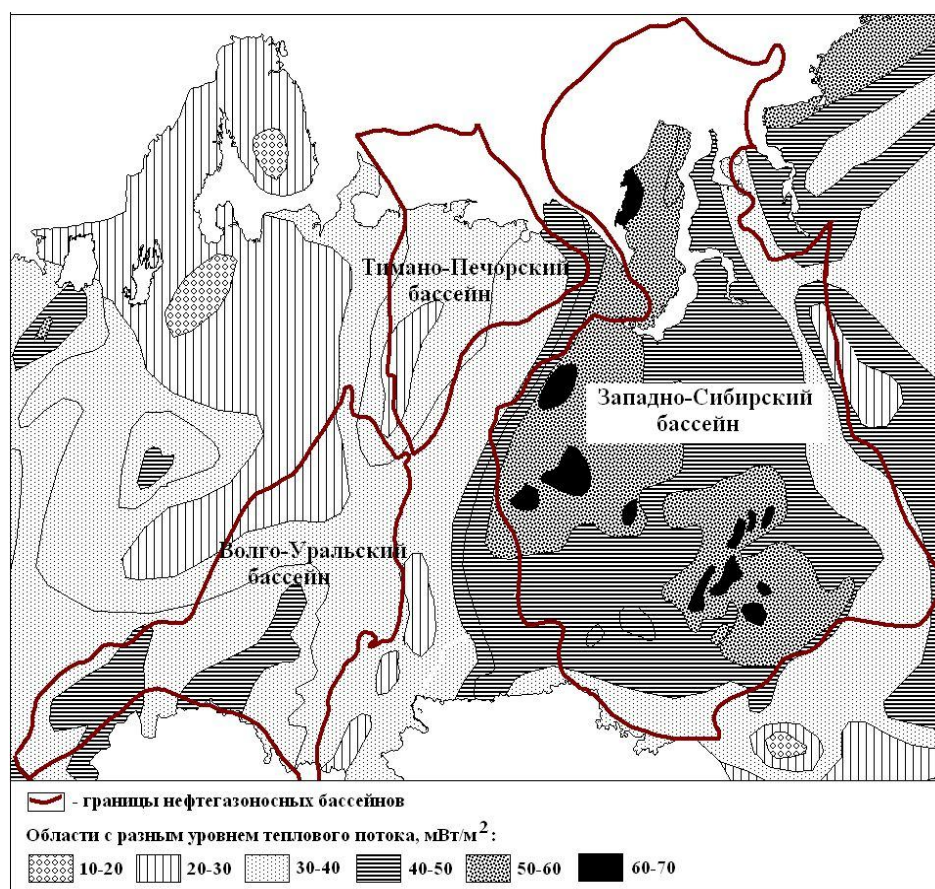


Рис. 1. Геоzonирование территорий Волго-Уральского, Западно-Сибирского и Тимано-Печорского бассейнов по уровню теплового потока.

Анализ закономерностей пространственного размещения вязких нефтей в зависимости от уровня теплового потока

Для проведения анализа использован массив данных из БД о 1061 образце вязких нефтей, из которых 114 западно-сибирских, более 900 волго-уральских и 38 тимано-печорских образцов. Рассмотрим распределение ВН в зависимости от уровня теплового потока на всей территории бассейнов. На рис. 2 видно, что в 1-й и 2-й зонах с очень высоким и высоким УТП меньше всего находится ВН (50 нефтей), в 3-й зоне со средним УТП (40 – 50 мВт/м²) количество ВН увеличилось до 170 образцов, а в 4-й и 5-й зонах с самым низким УТП таких нефтей уже более 800. Таким образом, количество ВН в зонах с низким и очень низким УТП по сравнению с их количеством в зонах с высоким и очень высоким УТП увеличилось более чем в 16 раз.

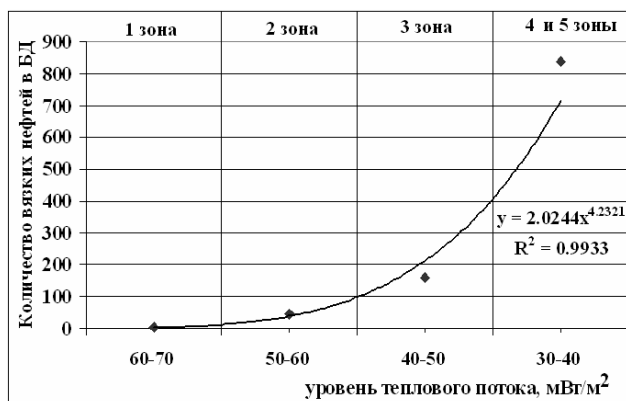


Рис. 2. Изменение количества ВН в зависимости от УТП.

Рассмотрим далее распределение месторождений с вязкими нефтями на территориях Волго-Уральского, Западно-Сибирского и Тимано-Печорского бассейнов, общее их количество составляет 390. Так, в ВУНГБ выделено 339 месторождений с ВН, а в ЗСНГБ – 34, а в ТПНГБ 17 таких месторождений. Установлено, что с уменьшением УТП увеличивается и количество месторождений с вязкими нефтями. Так, на территории ЗСНГБ в 1-й зоне всего два месторождения – Толумское и Южно-Толумское имеют вязкие нефти, из них самыми вязкими являются нефти Южно-Толумского месторождения (ХМАО). Во 2-й зоне таких месторождений насчитывается уже 19 и наиболее вязкими для этой зоны отмечаются нефти Герасимовского месторождения (Томская обл.). В 3-й зоне месторождений с вязкими нефтями также достаточно много – 13, в этой зоне самыми вязкими являются нефти Русского месторождения (Ямало-Ненецкий АО). На территории ВУНГБ аналогичная ситуация: в 3-й зоне всего выявлено 48 месторождений с ВН и особо вязкие нефти находятся в Максимовском (Самарская обл.) и Красноярском (Оренбургская обл.) месторождениях, а в 4-й зоне таких месторождений уже 291, в этой зоне самыми вязкими являются нефти Аксубаево-Мокшинского месторождения (Татарстан). В ТПНГБ наиболее вязкими являются нефти Ярегского месторождения (Коми), которое находится в 5-й зоне. Обобщая по-

лученные данные, можно сказать, что в 1-й и во 2-й зонах с высоким и очень высоким УТП всего установлено 21 месторождение с ВН, что составляет более 5 % от общего количества месторождений с вязкими нефтями, в 3-й зоне со средним уровнем теплового потока таких месторождений 61, что составляет около 17 % от их общего количества, а в зонах с низким и очень низким УТП (4-я и 5-я зоны) – 308 месторождений или около 79 % от общего количества месторождений с вязкими нефтями.

В табл. 2 представлены данные об изменении вязкости нефтей в каждом бассейне по соответствующим зонам уровня теплового потока. По ней видно как средние значения вязкости на территории ВУНГБ, ЗСНГБ и ТПНГБ увеличиваются с уменьшением уровня теплового потока. Доверительный интервал определялся для вероятности 95 %.

На рис. 3, где представлено общее изменение вязкости ВН в соответствующих зонах с различным УТП, видно, как вязкость ВН резко увеличивается с уменьшением уровня теплового потока – от значения 37, 7 мм²/с в 1-й зоне до 10 тыс. мм²/с в 5-й зоне.

Таблица 2

Изменение вязкости нефтей ВУНГБ, ЗСНГБ и ТПНГБ в зависимости от УТП

Зоны УТП	Волго-Уральский бассейн			Западно-Сибирский бассейн			Тимано-Печорский бассейн		
	Объем выборки	Среднее значение вязкости нефтей, мм ² /с	Доверит. интервал	Объем выборки	Среднее значение вязкости нефтей, мм ² /с	Доверит. интервал	Объем выборки	Среднее значение вязкости нефтей, мм ² /с	Доверит. интервал
Зона 1	-	-	-	100	11,20	6,08	-	-	-
Зона 2	-	-	-	530	14,71	1,84	-	-	-
Зона 3	109	85,30	4,43	217	50,14	19,27	-	-	-
Зона 4	803	101,14	2,29	-	-	-	158	1099,43	113,08
Зона 5	2	154,60	-	-	-	-	3	10590,10	1035,40

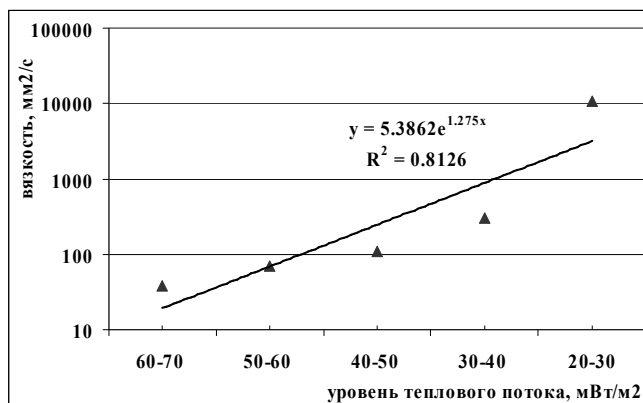
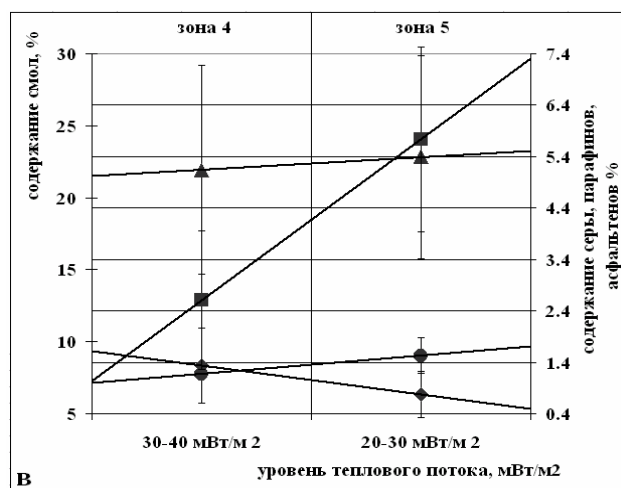
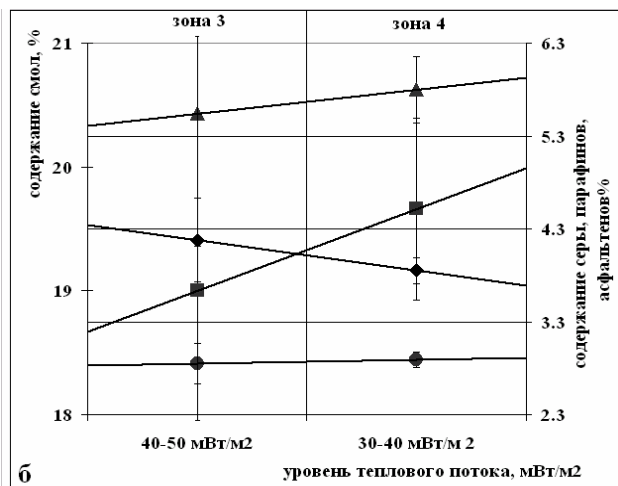
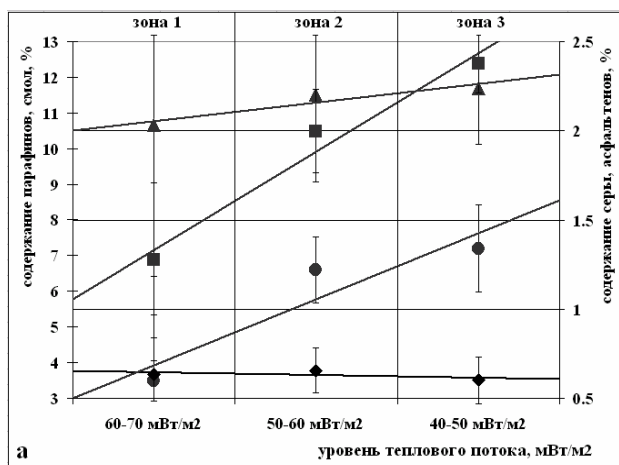


Рис. 3. Изменение вязкости ВН в зависимости от УТП.

Анализ взаимосвязи свойств вязких нефтей и уровня теплового потока на территории нефтегазоносных бассейнов

Проведены исследования изменения химического состава вязких нефтей рассматриваемых бассейнов в зависимости от уровня теплового потока. Так, на основе анализа более 900 образцов волго-уральских, 114 западно-сибирских и 38 тимано-печорских ВН исследована взаимосвязь изменений химического состава ВН от уровня теплового потока. Установлено, что с увеличением уровня теплового потока содержание серы, смол и асфальтенов в вязких нефтях трех бассейнов уменьшается, а содержание парафинов, наоборот, увеличивается. А именно, на территории ЗСНГБ с увеличением УТП содержания серы и смол в вязких нефтях уменьшаются более чем в четыре раза, асфальтенов – в пять раз, а содержание парафинов увеличивается почти в два раза. Подобная взаимосвязь изменения содержания серы, смол, асфальтенов и парафинов от уровня УТП выявлена и для волго-уральских ВН, а именно, содержание серы уменьшается на 3 %, смол – на 4 %, асфальтенов – на 5 %, а содержание парафинов увеличивается почти на 8 % с увеличением УТП. Для тимано-печорских ВН также характерны установленные закономерности – с увеличением УТП содержание серы уменьшается на 23 %, смол – в два раза, асфальтенов – на 5 %, а содержание парафинов увеличивается почти в два раза.



Обозначения:

- - содержание серы, %
- ▲ - содержание асфальтенов, %
- - содержание смол, %
- ◆ - содержание парафинов, %

Рис. 4. Изменение содержания серы, смол, асфальтенов, парафинов в вязких нефтях Западно-Сибирского (а), Волго-Уральского (б) и Тимано-Печорского (в) бассейнов в зависимости от уровня теплового потока.

Для иллюстрации этих закономерностей на рис. 4 (а, б, в) приведены зависимости изменения показателей химического состава западно-сибирских, волго-уральских и тимано-печорских вязких нефтей от УТП. Точки и отрезки вертикальных линий на рисунке показывают соответственно средние значения и доверительные интервалы (рассчитанные для вероятности 95%) для показателей химического состава нефтей. На оси абсцисс – интервалы изменения УТП.

Общее изменение содержания серы, парафинов, смол и асфальтенов в зависимости от уровня теплового потока в зонах представлено на рис. 5. Эти зависимости подобны приведенным выше (рис. 4) для каждого из рассматриваемых бассейнов, но являются более выраженными. Так, среднее содержание серы от значения 0,3 % в 1-й зоне с очень высоким УТП увеличивается до 1,9 % в 5-й зоне с очень низким УТП, т.е. более чем в шесть раз, среднее содержание смол увеличивается от 1-й зоны к 5-й более чем в пять раз, аналогично среднее содержание асфальтенов увеличивается в 40, а содержание парафинов уменьшается почти в девять раз. Зависимости содержания серы, парафинов, смол и асфальтенов достаточно хорошо аппроксимируются линейными уравнениями (рис. 5) вида:

$$y = ax + b, \quad (1)$$

где a , b – коэффициенты линейной аппроксимации (табл. 3). Аппроксимации этих зависимостей на рис. 5 представлены следующим образом: для содержания серы аппроксимационная линия изображена пунктирной линией, для содержания парафинов – тонкой сплошной, для содержания асфальтенов – пунктирная линия с точкой и для содержания смол – толстая сплошная линия.

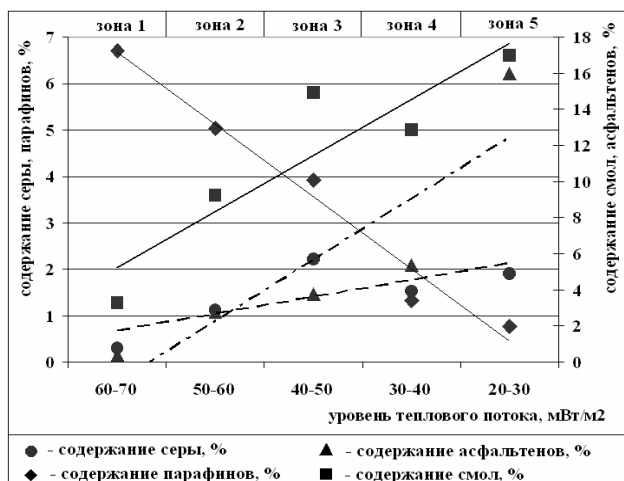


Рис. 5. Общее изменение содержания серы, смол, асфальтенов, парафинов в вязких нефтях в зависимости от уровня теплового потока.

Таблица 3

Коэффициенты аппроксимации уравнения (1) для разных показателей химического состава нефтей

Показатель	Коэффициенты аппроксимации		Достоверность аппроксимации (по критерию Excel)
	a	b	
Содержание серы	0,36	0,33	0,59
Содержание парафинов	-1,56	8,22	0,97
Содержание смол	3,11	2,14	0,83
Содержание асфальтенов	3,38	-4,47	0,78

Заключение

В пределах основных нефтедобывающих бассейнов России, а именно Волго-Уральского, Западно-Сибирского и Тимано-Печорского, установлено, что количество вязких нефтей и месторождений с такими нефтями на территории бассейнов увеличивается с уменьшением уровня теплового потока. На примере месторождений рассматриваемых бассейнов выявлена достоверная взаимосвязь между вязкостью нефтей и уровнем теплового потока. Так, в зонах с высоким уровнем теплового потока нефти оказываются менее вязкими и с уменьшением уровня теплового потока средние значения вязкости ВН увеличиваются.

Установлена зависимость изменения содержания показателей химического состава вязких нефтей в зависимости от уровня теплового потока — с увеличением уровня теплового потока содержание серы, смол и асфальтенов уменьшается, а содержание парафинов, наоборот, увеличивается. Выявленные закономерности могут быть использованы для оценки качественных показателей нефтей во вновь открываемых месторождениях на основе данных об уровне теплового потока.

Литература

1. Максutow P.A., Орлов Г.И., Осипов A.B. Освоение запасов высоковязких нефтей в России // Технологии ТЭК, 2005. № 6. С. 36-40.
2. Максutow P.A., Орлов Г.И., Осипов A.B. Технико-технологические комплексы для разработки залежей высоковязких нефтей и природных битумов // Нефтяное хозяйство, 2007. № 2. С. 34-37.
3. Полищук Ю.М., Яценко И.Г. Физико-химические свойства нефтей: статистический анализ пространственных и временных изменений. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2004. 109 с.
4. Полищук Ю.М., Яценко И.Г., Козин Е.С., Ан В.В. База данных по составу и физико-химическим свойствам нефти и газа (БД нефти и газа), зарегистрирована в Роспатенте, свидетельство № 2001620067 от 16.05.2001 г.
5. Антониади Д.Г., Валуйский А.А., Гарушев А.Р. Состояние добычи нефти методами повышения нефтеизвлечения в общем объеме мировой добычи // Нефтяное хозяйство, 1999. № 1. С. 16-23.
6. Гаврилов В.П. Концепция продления «нефтяной эры» России // Геология нефти и газа, 2005. № 1. С. 53-59.
7. Запывалов Н.П. Геолого-технологические особенности освоения трудноизвлекаемых запасов // Нефтяное хозяйство, 2005. № 6. С. 57-59.
8. Полищук Ю.М., Яценко И.Г. Высоковязкие нефти: аналитический обзор закономерностей пространственных и временных изменений их свойств // Нефтегазовое дело, 2006. Т. 4. № 1. С. 27-34.
9. Полищук Ю.М., Яценко И.Г. Статистический анализ вязкостных свойств нефти Евразии // Интервал, 2003. № 4. С. 9-12.
10. Полищук Ю.М., Яценко И.Г. Закономерности регионального размещения и изменения свойств высоковязких нефтей Западной Сибири в зависимости от их возраста и глубины залегания // Технологии ТЭК, 2006. № 1. С. 10-13.
11. Полищук Ю.М., Яценко И.Г. Изучение связи свойств нефтей с геотермическими характеристиками нефтеносных территорий // Вестник СВНЦ ДВО РАН, 2005. № 3. С. 26-34.
12. Яценко И.Г., Полищук Ю.М., Рихванов Л.П. Анализ взаимосвязи физико-химических свойств нефтей с уровнем теплового потока // Геология нефти и газа, 2003. № 3. С. 17-24.
13. Яценко И.Г. Анализ пространственных, временных и геотермических изменений высоковязких нефтей России // Известия ТПУ, 2006. Т. 309. № 1. С. 32-39.
14. Смыслов А.А., Суриков С.Н., Вайнблат А.Б. Геотермическая карта России. Масштаб 1:10 000 000 (объяснительная записка). М.-СПб.: Изд-во Госкомвуз, СПбГТИ, Роскомнедра, ВСЕГЕИ, 1996. 92 с.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЛИТИЯ ИЗ ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ПЛАС- ТОВЫХ ВОД НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Т.Д. ЛАНИНА, И.Ю. БЫКОВ

Ухтинский государственный технический университет, г.Ухта

Извлечение лития из гидроминерального сырья является необходимой и актуальной задачей для России ввиду ограниченности рудных запасов. Для разработки технологии извлечения лития из пластовой воды Баганского месторождения был опробован метод хемосорбции на свежееобразованном осадке гидроксида алюминия. Предложена и обработана технологическая схема извлечения лития из пластовых вод северных месторождений с последующим получением карбоната лития.

Ключевые слова: хемосорбция, трехкальциевый гидроалюминат, осаждение, карбонизация

T.D. LANINA, I.Y. BYKOV. THE EXTRACTION OF LITHIUM FROM MIN- ERAL-RICH WATER BEDS IN OIL DEPOSITS

Extraction of lithium from hydromineral raw materials is a necessary and an important task for Russia because of lack of ore reserves. To develop the technology of lithium extraction from the formation water of Bagansky field the method of chemisorption on latest aluminium hydroxide sediment has been tested. Aluminium hydroxide in its turn is formed from three-calcium hydro aluminate and aluminium chloride. On the basis of carried out researches the technological scheme of lithium extraction from formation water of northern fields has been developed to get lithium carbonate.

Key words: chemisorption, three-calcium hydro aluminate, deposition, carbonation

Промышленные месторождения минералов лития есть на всех континентах. Наиболее важным минералом является сподумен (силикатный пироксен $\text{Li} \cdot \text{Al} \cdot \text{Si}_2\text{O}_6$), большие месторождения которого имеются в США, Канаде, Бразилии, Аргентине, странах СНГ и др. Почти всю мировую добычу минералов лития контролируют три главные компании: Sonse of Gwalia (Австралия), Тапсо (Канада), Bikita Minerals (Зимбабве). Добыча минералов лития за 1994-2000 гг. увеличилась с 6 300 до 11 900 т в год. Содержание лития в большинстве коммерческих руд составляет 1-3%. Потребление его распределяется следующим образом: 25% используют заводы по производству огнеупорных изделий, 20% идет в производство специальных сортов стекол, столько же на производство керамических изделий и глазурей, 12% потребляет химическая промышленность, 10% – металлургическая, 13% идет на нужды других отраслей. К области специального применения относится растущий рынок сегнетоэлектриков, используемых для модулирования лазерных лучей, литиевых батарей, в мобильных телефонах и переносных компьютерах.

Извлечение лития из гидроминерального сырья является необходимой и актуальной задачей для России ввиду ограниченности рудных запасов (основные запасы лития выявлены как сопутствующие месторождениям тантала, ниобия, вольфрама и олова). Для выделения лития из растворов используют экстракционные, реагентные или ад-

сорбционные методы. Сорбционный способ добычи возможен с использованием природных и синтетических ионообменных материалов. Однако низкая механическая и химическая прочность ионитов, низкие кинетические показатели процесса в сочетании с относительно малой емкостью существенно затрудняют сорбцию лития.

Для его получения из термальных вод нефтяных месторождений опробован метод электрокоагуляции с растворимыми железно-алюминиевыми анодами [1], степень извлечения лития 70,5%. Полученные результаты показали высокую производительность и незначительную энергоемкость процесса. Однако он требует дальнейшей доработки. В частности, не решены вопросы сгущения, фильтрации и утилизации выделяемого литийсодержащего осадка.

Продолжаются работы по выделению лития из многокомпонентных растворов хемосорбцией на гидроксида алюминия [2]. Осаждение лития осуществляется с использованием различных алюминийсодержащих реагентов: гидроалюмокарбоната натрия (ГАН), активных форм гидроксида алюминия (ГОА), растворимых солей алюминия, различных композиционных смесей.

Концентрация лития в пластовых водах месторождений углеводородного сырья Тимано-Печорской провинции находится на пределе кондиционной (10-13 мг/л), поэтому важной задачей является поиск методов концентрирования этих вод,

один из них – метод комплексной ионной флотации. Он позволяет достичь 10 - кратного обогащения по литию и полного извлечения при трехступенчатом режиме. Вследствие высокой подвижности и малой гидратируемости литий выделяется в первую очередь.

При извлечении лития из попутных вод нефтяных месторождений проводится предварительное удаление ионов магния известковым молоком (для предупреждения образования основных хлоридов магния), после чего при $\text{pH}=8,3-8,8$ проводится осаждение металла в виде алюмината и выделение осадка. Выщелачивание этого элемента из алюминатного концентрата проводят гидроокисью кальция. Полученные в результате осаждения на аморфном гидроксиде алюминия литийсодержащие соединения представляют собой коллоидные осадки, что сильно затрудняет их сгущение и фильтрацию. Технология извлечения лития из природных вод и рассолов с использованием различных алюминийсодержащих реагентов выгодно отличается от других технологий доступностью этих реагентов и простотой оформления технологических процессов, что делает его наиболее перспективным для промышленного применения.

Для разработки технологии извлечения лития из пластовой воды Баганского месторождения был опробован метод хемосорбции на свежесформованном осадке гидроксида алюминия, который, в свою очередь, образуется из трехкальциевого гидроалюмината (ТКГА) и хлорида алюминия. Продуктом взаимодействия является хлорсодержащий алюминат лития.

Осаждение лития проводили раствором хлорида алюминия AlCl_3 с концентрацией 185 г/л. В химический стакан с мешалкой и заданным объемом пластовой воды при постоянном перемешивании и температуре $T = 50-60^\circ\text{C}$ вводили расчетное количество хлорида алюминия, обеспечивающее заданное соотношение $\text{Al}:\text{Li}$. Степень извлечения лития из пластовой воды контролировали по остаточному содержанию лития в фильтрате, осадок отделяли от маточного раствора фильтрованием.

Для определения оптимального соотношения $\text{Li}:\text{Al}$ были поставлены опыты при различных соотношениях $\text{Li}:\text{Al}$, результаты исследований приведены в графической форме (рис. 1). Из рисунка

видно, что при атомном соотношении $\text{Li}:\text{Al}=1:8$ степень извлечения достигает 95%, среднегеометрический диаметр частиц осадка составляет 65 мкм, скорость стесненного осаждения 23 мм/с. Это позволяет считать найденное соотношение $\text{Li}:\text{Al}=1:8$ наивыгоднейшим для разрабатываемой технологии. Среднегеометрический диаметр частиц определен графически в соответствии с нормально-логарифмическим законом распределения, скорость стесненного осаждения рассчитывали экспериментально из кривых осаждения.

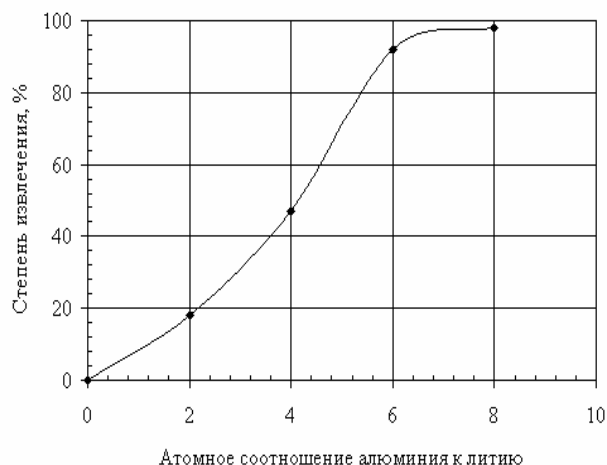


Рис.1. Зависимость степени извлечения лития из пластовой воды от атомного соотношения алюминия к литию.

На основании экспериментальных работ авторами совместно с В.И.Литвиненко [3] предложена и отработана технологическая схема извлечения лития из пластовых вод северных месторождений с последующим получением карбоната лития. Технологическая схема представлена на рис. 2. Пластовая вода после осаждения магния поступает на осаждение лития гидроокисью алюминия. Осаждение ведется хлоридом алюминия (2 моля Al_2O_3 на 1 моль Li_2O) при $\text{pH}=8,3-8,8$ и $t=40-45^\circ\text{C}$. Пульпа литий-алюминатного концентрата ($T:\text{Ж}=1:305$) сгущается в сгустителях до соотношения $T:\text{Ж}=1:80$ и фильтруется на нутч-фильтрах. Декантат со сгустителя и фильтрат объединяются и направляются в систему ППД для поддержания пластового давления.

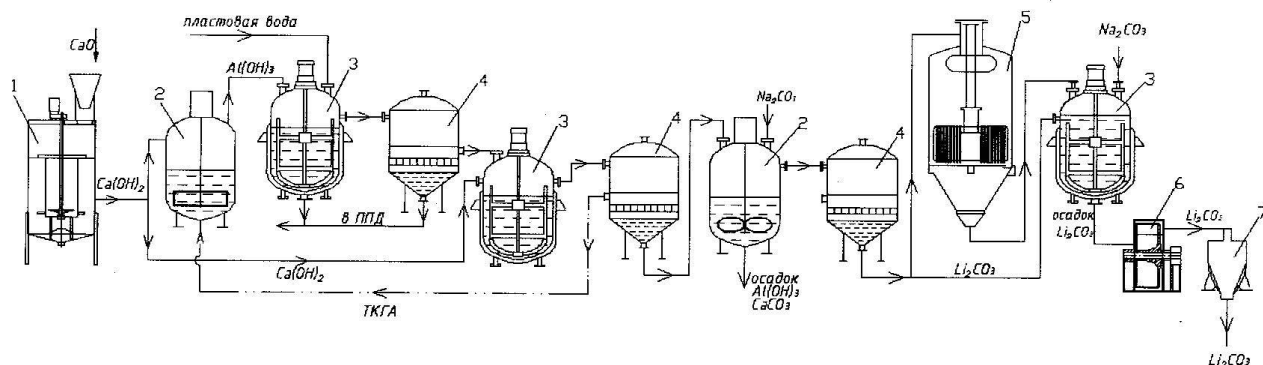


Рис. 2. Схема извлечения лития: 1 – известегасилка, 2 – смеситель, 3 – смеситель с «рубашкой», 4 – нутч-фильтр, 5 – выпарной аппарат, 6 – центрифуга, 7 – сушильный аппарат.

Литий-алюминатный концентрат с влажностью 87,4% после промывки водой поступает на щелочное выщелачивание, которое проводится известковой пастой из расчета 3,2 моля СаО на 1 моль Al_2O_3 в концентрате. Процесс идет при $t=70^{\circ}C$ в течение 0,5-1 час.

Отфильтрованный осадок трехкальциевого гидроалюмината промывается водой и возвращается на операцию осаждения лития. Фильтрат направляется на очистку от растворенных солей кальция и алюминия, обработка его карбонатом натрия приводит к образованию осадков карбоната кальция и гидроокиси алюминия, которые отфильтровываются и направляются на стадию осаждения лития, а фильтрат направляется на стадию концентрирования выпариванием. После трехкратного упаривания раствора литий осаждается кальцинированной содой при $t=80-90^{\circ}C$. Расход соды составляет 115% от стехиометрии. Осажденный карбонат лития после центрифугирования и промывки горячей водой сушится при $t=130-150^{\circ}C$. Промывные воды возвращаются на операцию осаждения лития, фильтрат – на стадию выпаривания. Высушенный карбонат лития с содержанием влаги до 1% является товарным продуктом.

Способ получения нуждается в отработке технологических параметров процессов на укрупненных полупромышленных установках и проведении опытно-промышленных испытаний.

Литература

1. *Разработка* научно-технических основ технологии извлечения ценных компонентов из гидроминерального сырья и промышленных растворов с применением электрохимических воздействий: Отчет о НИР/ИПКОН. М., 1984.
2. *Литвиненко В.И., Варфоломеев Б.Г.* Проблемы освоения гидроминерального сырья Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции // Международная конференция-семинар «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей»: Материалы конференции. Ухта: УИИ, 1998. С. 88.
3. *Немудрый А.П., Исупов В.П., Коцупало Н.П.* Взаимодействие кристаллического гидроксида алюминия с водными растворами солей лития // Изв. СО АН СССР, 1984. Вып. 4. С. 47-51.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 504.064.45/.47:665.61

РЕАГЕНТНОЕ КАПСУЛИРОВАНИЕ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ОТХОДОВ С ПОЛЕЗНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНЕЧНЫХ ПРОДУКТОВ ТЕХНОЛОГИИ

Н.Д. ЦХАДАЯ*, Ю.М. ГЕРЖБЕРГ**, А.Н. ПОПОВ***, С.Н. БЕЛЯЕВ*

*Ухтинский государственный технический университет, г.Ухта

**ООО «Научно-производственное объединение «Севернефтегазтехнология», г.Ухта

***Управление Росприроднадзора по Республике Коми, г.Сыктывкар

Исследованы свойства конечного продукта реагентного обезвреживания нефтезагрязненных отходов. Установлено, что он является сильно и долго действующим ингибитором коррозии. Эти полезные свойства можно использовать как товарный продукт для снижения скорости почвенной коррозии и уменьшать затраты на природоохранные работы.

Ключевые слова: нефтезагрязненные отходы, ингибитор коррозии

N.D.TSKHADAYA, YU.M.GERZHBURG, A.N.POPOV, S.N.BELIAEV. AGENT NEUTRALIZATION OF THE PETROPOLLUTED WASTE WITH USEFUL USE OF END-PRODUCTS OF TECHNOLOGY

The properties of agent neutralization end product have been analyzed and it was determined that this product is a powerful and long-term corrosion inhibitor. Useful properties of agent neutralization end product and its usage as a commodity product that retards the speed of soil corrosion allow reducing the costs on the whole for environmental measures.

Key words: oil waste, corrosion inhibitor

Проблема обезвреживания накопленных и регулярно образующихся в производственных процессах твердых и пастообразных нефтесодержащих отходов производства, почвогрунтов, загрязненных при аварийных разливах нефтепродуктов, была и остается весьма актуальной. Основной путь решения этой задачи – повышение технологичности, экологической эффективности и снижение стоимости обезвреживания таких отходов.

Выбор оптимальных технологий обезвреживания нефтезагрязненных отходов зависит в первую очередь от их состава, количества, климатических условий и промышленной инфраструктуры в районе их образования. К настоящему времени разработаны различные технологии обезвреживания нефтезагрязненных почвогрунтов, продуктов очистки нефтепроводов и нефтехранилищ, отходов, образующихся при переработке жидких углеводородов. Каждая из них имеет свои достоинства, недостатки, области и условия рационального применения. Технология обезвреживания нефтепарафиновых осадков резервуаров, труб, ректификационных колонн существенно отличается от технологии обезвреживания разливов нефтепродуктов или амбаров с накопленными отходами.

Повышение требований к качеству нефти, особенно направляемой на экспорт морским транспортом, ставит задачу утилизации многотоннажных отходов в виде нефтепарафиновых осадков. Объем их образования непосредственно на проектируемых морских терминалах только по Северу европейской части России может составить сотни тысяч тонн в год таких отходов. У существующих предприятий по переработке нефтепарафинов при высокой стоимости транспортировки возникнет проблема утилизации отходов вблизи мест их образования.

При сравнительной оценке технологической и экономической эффективности различных технологий обезвреживания загрязненных отходов, накопленных и образующихся непосредственно в процессе производства, рассматривается совокупность следующих критериев:

- полная стоимость обезвреживания единицы массы загрязняющих отходов, в том числе с учетом вторичного использования получаемых при этом материалов;
- степень обезвреживания, оцениваемая по уменьшению уровня загрязнения окружающей среды после применения технологии;

- время, необходимое для обезвреживания исходных загрязненных материалов;
- технологичность, оцениваемая по сложности и надежности применяемых средств и технологий для осуществления обезвреживания;
- соответствие технологии объемам, составу, условиям размещения отходов;
- затраты на предварительные исследования, в том числе на сбор и анализ исходных данных по отходам, инфраструктуре района работ, лабораторные исследования и моделирование реализации технологии, технико-экономической оценке планируемых работ;
- безопасность технологии (возможность появления вторичных загрязняющих веществ, уровень безопасности труда при реализации технологии, влияние технологических процессов при обезвреживании загрязняющих веществ на окружающую среду);
- общественное мнение и восприятие рассматриваемых мероприятий.

Из интенсивных технологий обезвреживания нефтезагрязненных отходов производства следует отметить сжигание при высоких температурах и отмывку в специальных растворах. Однако эти методы приемлемы не для всех видов загрязненных материалов, имеют свои недостатки вследствие образования значительного объема вторичных, нередко высокотоксичных загрязняющих веществ. Отверждение массива загрязненного материала вяжущими веществами в северных условиях не обеспечивает долгосрочной иммобилизации нефтепродуктов. Практикуемое при этой технологии ограниченное содержание вяжущих материалов, многократное замерзание и оттаивание такого массива приводят к разрушению его целостности и диспергированию в относительно короткое время и последующее поступление нефтепродуктов в окружающую среду.

Технологически простые микробиологические методы в климатических условиях России мало применимы при обработке малопроницаемых материалов с большим содержанием углеводов. К таким материалам можно отнести нефтепарафиновые пасты, продукты очистки нефтехранилищ, трубопроводов, грунты с содержанием нефтепродуктов более 25...40 %. Для повышения интенсивности биологической деструкции загрязненного материала необходимы определенная положительная температура, и, как правило, его периодическое перемешивание, внесение удобрений, что требует в течение продолжительного времени существенных дополнительных затрат.

Одной из перспективных интенсивных технологий обезвреживания твердых и пастообразных нефтезагрязненных материалов является их перевод с помощью реагентов в мелко дисперсные, твердые, гидрофобные и биологически инертные капсулированные образования с высокой степенью иммобилизации загрязняющих веществ. Увеличение поверхности конечных продуктов этой технологии (капсул) многократно ускоряет по сравнению с исходным загрязненным материалом процессы естественного окисления нефтепродуктов и в относительно короткий период времени способствует полному обезвре-

живанию загрязняющих компонентов. Капсулирование отходов осуществляется с помощью реагентов на основе окисей щелочных металлов [1-2].

В России производится несколько модификаций подобных реагентов. Совместными усилиями ухтинских ученых разработан реагент «Бизол» и организовано его производство. В разных регионах России и за рубежом осуществлены многочисленные промышленные испытания данного реагента. Высокое качество «Бизола» определяется в первую очередь количеством активного компонента в местном сырье 93...95% при содержании CaO в реагенте 75...85%. Подобранный на основе многолетних исследований гидрофобизатор обеспечивает до пяти лет оптимальную скорость реакции и сохранение технологических свойств реагента без существенных изменений. Технология реагентного обезвреживания нефтезагрязненных отходов производства, реагент «Бизол» и конечный продукт реагентного обезвреживания нефтезагрязненных отходов прошли государственную экологическую экспертизу. Реагентная технология может использоваться для решения следующих задач:

- обезвреживания твердых и пастообразных нефтезагрязненных отходов производства как по мере их образования, так и по окончании работ при строительстве скважин, добыче, транспорте, хранении, переработке и распределении углеводородных материалов;
- санации почв и грунтов производственных площадок с разливами нефтепродуктов;
- подготовки площадей с загрязненными грунтами под промышленно-гражданское строительство без вывоза этих грунтов;
- как превентивный комплекс технических средств и технологий на случай чрезвычайных ситуаций по аварийному загрязнению окружающей среды (подготавливается необходимый запас реагента и технические средства на случай возникновения аварий с разливами нефтепродуктов).

В стоимости реагентного обезвреживания отходов значительную долю занимают затраты на реагент (30-60 %), расход которого определяется содержанием нефтепродуктов в обрабатываемом материале. В зависимости от условий себестоимость реагентного обезвреживания 1 т отхода изменяется от 8 до 20 тыс. руб.

Пути снижения стоимости реагентной технологии обезвреживания отходов:

- оптимизация режима реагентного обезвреживания (расчет оптимального расхода реагента, способа его внесения в загрязненный материал и технология перемешивания, выбор используемых технических средств, сравнительная оценка эколого-экономической эффективности с учетом альтернативных технологий) путем предварительных исследований для конкретных производственных условий;
- снижение стоимости реагента путем увеличения масштабов его производства (при наличии спроса на него), снижения энергоемкости изготовления, использования более дешевых компонентов;
- промышленное использование конечных продуктов реагентной технологии в качестве полезных веществ.

В Ухтинском государственном техническом университете разработана и прошла промышленную проверку низкотемпературная технология изготовления из отходов производства реагентов на основе окисей щелочных металлов с гидрофобизатором, что существенно снижает себестоимость таких реагентов. Лабораторные исследования и промышленные испытания показали, что вторичные продукты реагентной технологии могут эффективно использоваться для различных целей, в том числе:

- для существенного долгосрочного снижения скорости почвенной коррозии установленных на поверхности и под землей металлических изделий (трубопроводы различного назначения, арматуры, фундаменты, сваи) путем их размещения в среду вблизи объекта защиты;
- для создания водонепроницаемого слоя или слоя с регулируемой водопроницаемостью при сооружении строительных площадок и полигонов хранения отходов;
- при реализации комплексной технологии обезвреживания отходов, где получаемый при этом вторичный продукт применяется на месте его образования в качестве сорбента для первичной очистки вод с большим содержанием нефтепродуктов;

- для изготовления асфальтобетонов.

Исследования института «РосДорНИИ» показали, что получаемые в результате реагентного обезвреживания отходов капсулы могут использоваться как структурные добавки к материалам отсыпок дорог и промышленных площадок.

Конечные продукты реагентной технологии коммерчески наиболее эффективно могут быть применены для существенного снижения скорости почвенной коррозии металлоконструкций. В таблице приведены результаты определения скорости коррозии реальных образцов труб нефтяного сортамента в среде с различной кислотностью, регулируемой вытяжкой из конечного продукта капсулирования нефтепарафиновых осадков.

Результаты определения скорости коррозии в разных средах

№ образца, марка стали	Среда	pH	Скорость коррозии, мм/год
№ 1-12, Сталь 17Г1С - У	Кислая	3,00	0,391
	Слабокислая	5,00	0,324
	Нейтральная	7,00	0,200
	Слабощелочная	9,00	0,130
№ 13-16, Сталь 12Г2СБ	Кислая	3,00	0,866
	Слабокислая	5,00	0,368
	Нейтральная	7,00	0,209
	Слабощелочная	9,00	0,174
№ 17-20, Сталь 09Г2С	Кислая	3,00	0,691
	Слабокислая	5,00	0,572
	Нейтральная	7,00	0,258
	Слабощелочная	9,00	0,201

Механизм снижения агрессивного воздействия среды, окружающей находящиеся под землей металлоконструкции, с помощью конечных продуктов реагентной технологии обусловлен следующими факторами:

- возможностью длительного регулирования (нейтрализация или сдвиг в слабощелочную область) кислотности почвенной среды вследствие слабой растворимости ингибитора;
- свойствами соединений кальция активно покрывать открытые поверхности капсул;
- гидроизолирующими свойствами, содержащихся в капсулах нефтепарафинов;
- увеличением электрического сопротивления околотрубной среды в результате ее известкования под воздействием препаратов;
- снижением электропроводности околотрубной среды в результате вытеснения калиевых и других переносчиков электрических зарядов ионами кальция.

Коммерческая эффективность применения такого ингибитора достигается вследствие снижения на 20-40% затрат по ремонту трубопроводов и арматуры, расположенных в активно коррозионной среде, за счет увеличения их межремонтного периода работы.

Исследования показали, что эффективность ингибирования почвенной коррозии возрастает с повышением кислотности среды, окружающей защищаемое металлическое изделие (см. рисунок). При этом заметно изменяются вследствие известкования и другие параметры почвенной среды (электропроводность, водопроницаемость).

мм/год

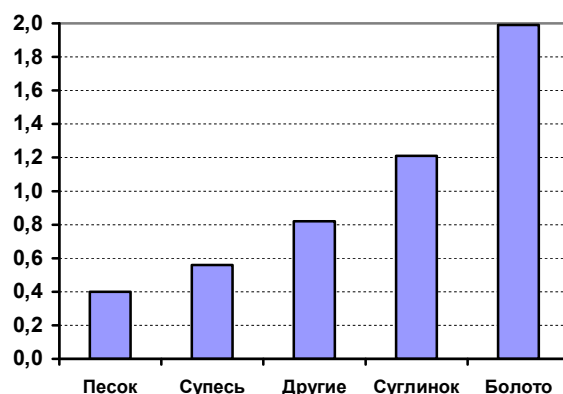


Рис. Относительная удельная коррозионная активность грунтов магистрального газопровода Ухта – Торжок-4 (участок 2 – 20 км).

Несмотря на определенные достижения по заводской изоляции трубопроводов, всегда остаются слабые звенья, в частности, на соединениях, осуществляемых в полевых условиях. При этом каналы для воздействия агрессивной околотрубной среды на металл труб под внешне целой изоляцией могут проходить на десятки метров. Поэтому обеспечение эффективной защиты трубопроводов от почвенной коррозии по-прежнему остается актуальной задачей.

В большинстве случаев аварии с разливами нефтепродуктов на магистральных трубопроводах приурочены к специфическим почвенным условиям. К таким условиям можно отнести высокую влажность, кислотность среды (рисунок, данные филиала ВНИИГАЗ – «Севернипигаз»). Поэтому в целях снижения агрессивности околотрубной среды использование нефтезагрязненных почвогрунтов на месте аварии без вывоза продуктов обезвреживания позволит существенно увеличить межремонтный период трубопровода.

В зависимости от направления и условий полезного использования вторичных продуктов общее снижение стоимости природоохранных работ может составить от 10 до 70%.

Литература

1. Попов А.Н., Цхадая Н.Д., Гержберг Ю.М. Технология реагентного обезвреживания нефтезагрязненных материалов // Экология и промышленность России. Научно-практическая конференция «Экологические работы на месторождениях нефти Тимано-Печорской провинции». М., 2004. С. 13-15.
2. Бельзинг Ф., Технология ДКР. Ганновер, 1988. 117 с.
3. Гержберг Ю.М., Цхадая Н.Д., Попов А.Н. Реагентное обезвреживание отходов нефтегазовой промышленности // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. М., 2003. № 3 (50). С. 30-31.
4. Гержберг Ю.М., Пыстина Н.Б., Попов А.Н., Куцил О.В. Концепция создания стационарного полигона для обезвреживания нефтезагрязненных отходов производства // Научно-технический журнал «Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе», 2005. № 9. С. 72-77.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ И ГАЗОВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗООБИЛЬНОГО ПОДРАБОТАННОГО ВЫЕМОЧНОГО УЧАСТКА МОЩНОГО ПОЛОГОГО УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

В.А.ЗУЕВ*, Ю.А.ГОРИН**

**Воркутинский горный институт, г.Воркута*

***Отдельный военизированный горноспасательный отряд Печорского бассейна, г.Воркута*

Изложены методика расчета и результаты проверки в шахтных условиях аэродинамических и газовентиляционных параметров выемочного участка. Методика основана на использовании нормативных документов, результатах шахтных и научных исследований при отработке пологого высокогазоносного ранее подработанного пласта «Мощный» на шахте «Северная» ОАО «Воркутауголь».

Ключевые слова: выработанное пространство, концентрация метана

V.A. ZUEV, YU.A. GORIN. A METHOD FOR CALCULATING AERODYNAMIC AND VENTILATION PARAMETERS OF AN EXTRA GASSY PRE-WORKED OUT SECTION IN A THICK FLAT COAL SEAM

The article presents a method for calculating aerodynamic and ventilation parameters of a working section and the results of its mine testing. The method is based on the use of normative documents, the results of mine and scientific investigations when mining the flat extra gassy pre-worked out seam Moshny at the Severnaya mine, Vorkutaugol' OJSC

Key words: gob foulness, methane concentration

В течение последних трех-четырех десятилетий опыт применения схем проветривания выемочных участков при отработке угольных пластов длинными столбами свидетельствует об их постоянном совершенствовании. В 60-х гг. прошлого столетия наиболее эффективной с экономической точки зрения считалась возвратноточная на массив схема проветривания. В начале 70-х на шахтах Воркутского месторождения произошел успешный переход на прямоточную с подсвежением схему проветривания при применении бесцеликовой подготовки выемочных столбов. Это позволило повысить нагрузку на очистной забой в 1,5-2,0 раза.

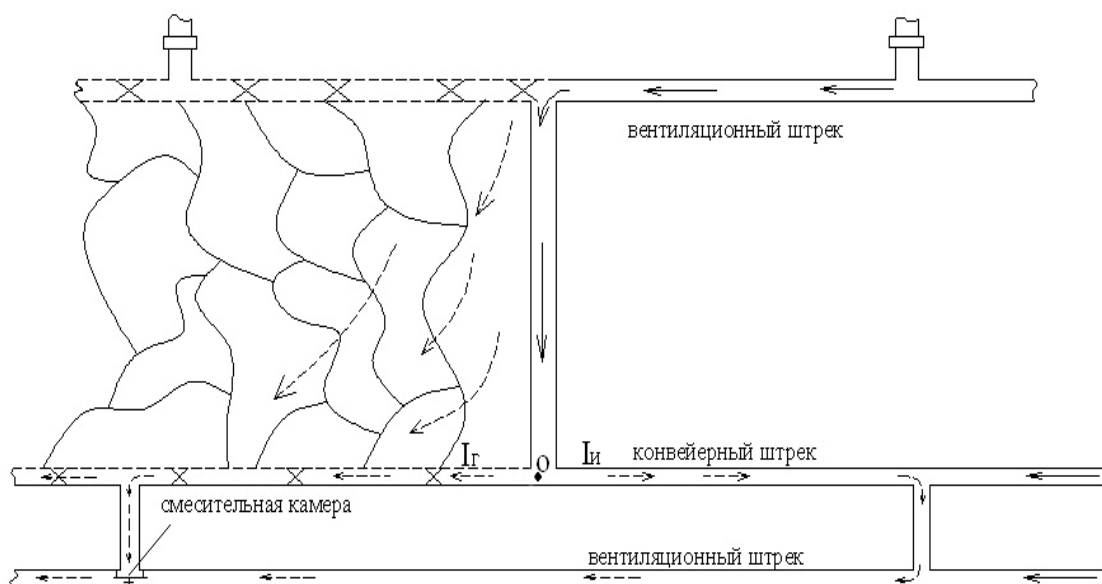
Прямоточная с подсвежением схема проветривания применялась на Воркутском месторождении более 30 лет. За этот период среднемаксимальная глубина разработки свиты угольных пластов Воркутского месторождения увеличилась на 380 м, перейдя к 2000 г. глубинную отметку 1026 м. Абсолютная газообильность выемочных участков возросла при этом более чем в четыре раза, достигнув 72-80 м³/мин. На пласте «Четвертый», который обрабатывали в свите первым, при применении бесцеликовой подготовки средняя нагрузка на забой не превышала 1450-1500 т/сут, а эффективность дегазации подрабатываемой углеспородной толщи не поднималась более 70-71%.

При применении бесцеликовой подготовки выемочных столбов одним из существенных недостатков прямоточной с подсвежением схемы проветривания выемочного участка (наряду с ограни-

ченной возможностью подачи на участок необходимого расхода воздуха) является повышенное аэродинамическое сопротивление вентиляционной выработки на участке ее поддержания за очистным забоем. Вторым, не менее существенным недостатком, усугубляющим неблагоприятное влияние вторичных осадок основной кровли, считается формирование за очистным забоем на границе с выработанным пространством местных и слоевых скоплений метана. Длина участка таких скоплений, начинающегося в 25-50 м за лавой, достигает 250 м и соответствует протяженности зон разгрузки подрабатываемых и надрабатываемых пластов-спутников. В поиске наилучших способов и схем проветривания некоторые шахты ОАО «Воркутауголь» в 2003 г. для повышения безопасности и производительности труда перешли от прямоточной (с подсвежением) схемы проветривания выемочного участка к комбинированной (с подсвежением) с изолированным отводом метановоздушной смеси (МВС) из выработанного пространства. Это было наиболее оправданное в технологическом отношении направление, чтобы исключить слоевые и местные скопления метана и совершенствовать механизм отвода МВС из выработанного пространства. С помощью податливого целика оно отделено от вентиляционной выработки и в большей степени изолировано от выемочного участка. Отвод МВС через обрушенные породы по неподдерживаемой газодренажной выработке (средней обрушаемости, либо повторно обрушаемые) становится не менее

Согласно представленной комбинированной (с подсушиванием) схеме проветривания выемочного участка с изолированным отводом МВС по неподдерживаемой газодренажной выработке, входящий на вентиляцию выемочного участка дебит метана удовлетворяет условию $I_{\text{ву}} = I_{\text{и}} + I_{\text{г}}$, где $I_{\text{и}}$ и $I_{\text{г}}$ — соответственно, расход метана в исходящей выемочного участка и газодренажной выработке, м³/мин. Точкой «О» на схеме (см. рисунок) обозначена зона разделения вентиляционных струй лавы на две части. Одна из них из этой зоны направлена к передней вентиляционной сбойке, а другая — в устье газодренажной выработки к отходящей вентиляционной сбойке. Это и обеспечивает аэродинамическую изоляцию атмосферы очистной выработки от аэродинамически активной зоны выработанного пространства [1, 2].

Предстояло определить аэродинамические и газовентиляционные параметры выемочного участка при отработке пласта «Мощный» в условиях обрушения основной кровли ранее подработанной углепородной толщи.



Аэродинамическая изоляция атмосферы очистной выработки от аэродинамически активной зоны выработанного пространства достигается посредством раздельного удаления метана из призабойного и выработанного пространства за счет общешахтной депрессии [3-5], вакуума дегазационных скважин [6]. Это обеспечивается при условии $(n + r)C_r = nC_{и} + rC_{вп}$ [2], которое характеризует аэродинамический баланс источников газовыделения на сопряжении призабойного пространства очистной и вентиляционной выработок, где: n и r – отношение расхода воздуха, поступающего в устье газодренажной выработки, к расходу воздуха, исходящей из лавы, и отношение расхода воздуха, протекающего через выработанное пространство, к расходу воздуха, исходящей из лавы, а C_r , $C_{и}$ и $C_{вп}$ – содержание метана в исходящих вентиляционных струях газодренажной выработки, лавы и в атмосфере выработанного пространства, соответственно.

Лава 112-з длиной 225 м оборудована механизированным комплексом 2KM-1000B. Система разработки – длинные столбы по падению. Выемочный участок (столб) ограничен с востока вентиляционным 12-з, а с запада – конвейерным 12-з

и вентиляционным 22-з бремсбергами, разделенными податливыми целиками шириной 14 м, и пройденными через каждые 100 м вентиляционными сбойками. Глубина разработки 905 м, длина выемочного столба – 1410 м.

В процессе расчета определяли: ожидаемое метановыделение в очистной выработке $I_{оч.р}$ и на выемочном участке $I_{уч.р}$; расход воздуха для проветривания очистной выработки $Q_{оч.вых}$ и выемочного участка $Q_{уч.}$; величину коэффициента утечек воздуха через выработанное пространство $K_{ут.в}$; расход воздуха, подаваемого в устье газодренажной неподдерживаемой выработки $Q_{др.нач}$ и общий его расход $Q_{др.вых}$ в газодренажной выработке; расход метана, отправляемого на переднюю сбойку $I_{пер.сбойка}$ и вымываемого из очистной выработки в выработанное пространство $I_{оч.вых}$; метанообильность выработанного пространства $I_{в.п.}$ и газодренажной неподдерживаемой выработки $I_{др.вых}$; концентрацию метана в выработанном пространстве $C_{в.п.}$ и газодренажной неподдерживаемой выработки $C_{др.вых}$; расход воздуха, подаваемый к смесительной камере $Q_{вс.к}$ и на подсвежение исходящей выемочного участка $Q_{доп}$; предельно допустимую по газовому фактору нагрузку на забой для очистной выработки $A_{оч.мах}$ и выемочного участка $A_{уч.мах}$.

Фактическое метановыделение в очистной выработке $I_{оч.факт}$ и на выемочном участке $I_{уч.факт}$ после отхода лавы от монтажной камеры на 188 м в июле 2006 г. при достигнутой нагрузке на забой 5080 т/сут составляло соответственно 2,0 и 12,62 м³/мин, а коэффициент дегазации 0,55. Изолированный отвод метана из выработанного пространства в смесительную камеру, оборудованную в бремсберге 22-з, осуществляли через калиброванное окно, выполненное в изолирующей перемычке, возведенную в вентиляционной сбойке, пройденную в створе с монтажной камерой.

Расчетные параметры выемочного участка рассчитывали, исходя из следующих исходных данных: заданная расчетная нагрузка на забой 8000 т/сут, расчетная длина очистной выработки равна фактической – 225 м, расстояние между вентиляционными сбойками 100 м, минимально и максимально допустимые скорости движения воздуха по очистной выработке соответственно $V_{мин} = 0,25$ м/с и $V_{мах} = 4$ м/с, минимально допустимая скорость движения воздуха в вентиляционной выработке $V_{мин} = 0,25$ м/с, площадь поперечного сечения вентиляционной выработки в свету на исходящей выемочного участка $S_{св} = 14$ м², площадь поперечного сечения призабойной пространства $S_{св} = 12,0$ м², коэффициент, учитывающий движение воздуха по части выработанного пространства, примыкающему к призабойному пространству, $K_{оз} = 1,3$, коэффициент дегазации не менее 0,8.

Газовентиляционные параметры рассчитывали в соответствии с методикой, включающей в себя разделы 3,6,7 [7] и 6 [2] по результатам работы лавы-аналога 112-з пласта «Мощный» в июле 2006 г. Алгоритм определения аэродинамических и газовентиляционных параметров выемочного участка предусматривал следующую последовательность численных расчетов.

Первоначально по ф.3.85 и 3.86 [7] определяем ожидаемое метановыделение в очистной вы-

работке и на выемочном участке. Согласно расчетам, $I_{оч.р} = 2,63$ м³/мин, $I_{уч.р} = 16,57$ м³/мин. Далее по ф.7.54 [7] находим величину коэффициента утечек воздуха $K_{ут.в}$, которая равна 1.73. Затем определяем величину коэффициента ($\tilde{Y}$), предложенного проф. Ф.С.Клебановым [2], рассчитывая его по формуле $\tilde{Y} = 1/K_{ут.в} - 1$. Физический смысл коэффициента ($\tilde{Y}$) соответствует коэффициенту $K_{ут.в}$. Величина коэффициента ($\tilde{Y}$) представляет его долю от расхода воздуха, поступающего к очистному забою. Согласно расчетам, $\tilde{Y} = -0,42$. Знак «-» указывает на то, что утечки направлены в выработанное пространство. Наряду с величинами коэффициентов $K_{ут.в}$ и ($\tilde{Y}$) определяем величину «а» или долю метана, выносимого из лавы в выработанное пространство, используя, согласно [2] формулу $a = 0,35 * (-\tilde{Y}) / (1 + 0,65 \tilde{Y})$. Равная 0,20 расчетная величина «а» означает, что 20% метана от величины $I_{оч.выход}$ уносится утечками в выработанное пространство. Затем в соответствии [2] с учетом сноса метана в выработанное пространство определяем метанообильность очистной выработки по формуле $I_{оч.выход} = I_{оч.р} * (1 - a)$, получив в результате расчетов $I_{оч.выход} = 2,09$ м³/мин. Необходимый расход воздуха $Q_{оч.вых}$ в очистной выработке рассчитываем по ф.7.46 [7] $Q_{оч.вых} = 100 * I_{оч.выход} * K_n / (C - C_0)$, где K_n – коэффициент неравномерности метановыделения, определяемый по ф.7.22 [7], $Q_{оч.вых} = 355$ м³/мин.

Далее продолжаем расчет воздуха по газам (в случае ведения взрывных работ) и по числу одновременно работающих на участке (ф.7.36 [7]). Расход воздуха $Q_{оч.вых}$ проверяем по допустимым скоростям его движения (ф.7.39 и 7.41 [7]). В исследуемых условиях расход воздуха по минимальной и максимальной скоростям его движения составит соответственно 234 и 3744 м³/мин. Поскольку $Q_{оч.мин} < Q_{оч.р} < Q_{оч.мах}$ или $234 < 355 < 3744$, то условие выполняется. Принимаем $Q_{оч.вых} = 355$ м³/мин.

Расход воздуха $Q_{вш}$, необходимый для формирования исходящей вентиляционной струи выемочного участка в вентиляционной выработке на участке между забоем и передней вентиляционной сбойкой, определяем по минимальной скорости вентиляционной струи (ф.7.39 [7]), а минимальный расход воздуха на поступающей струе к очистному забою по вентиляционной выработке – по ф.7.45 [7], согласно которой $Q_{пост} = Q_{оч.р} * K_{ут.в}$ или, что то же самое, по формуле $Q_{пост} = Q_{оч.выход} / (1 + \tilde{Y})$ [2]. Согласно расчетам, $Q_{вш} = 210$ м³/мин, $Q_{пост} = 613$ м³/мин.

Расход воздуха, подаваемого из нижней части очистной выработки в устье газодренажной выработки, определяем по формуле $Q_{др.нач} = Q_{оч.вых} - Q_{вш}$, $Q_{др.нач} = 144,5$ м³/мин. Проверяем, удовлетворяет ли расход воздуха, подаваемого в устье газодренажной выработки, требованию [7]. Согласно этому требованию, величина $Q_{др.нач}$ должна быть не менее $0,3 * Q_{пост} * (1 - 1/K_{ут.в})$ и не более $0,3 * Q_{пост}$. Поскольку условие выполняется, принимаем $Q_{др.нач} = 145$ м³/мин.

Выше упомянутую величину n определим, согласно [2], по формуле $n = Q_{др.нач} / Q_{оч.вых}$. В нашем случае $n = 0,41$. Расход метана, отправляемого на переднюю вентиляционную сбойку или в исходящую выемочного участка, рассчитываем по формуле $I_{пер.сбойка} = Q_{вш} * C / 100$ (ф.3.82 [7]). Согласно

расчету, $I_{\text{пер.сбойка}} = 1,24 \text{ м}^3/\text{мин}$. Соответственно, расход вымываемого утечками воздуха метана из очистной выработки в выработанное пространство, находим из выражения $I_{\text{оч.выр}} = I_{\text{оч.р}} - I_{\text{оч.выход}}$, $I_{\text{оч.выр}} = 0,5 \text{ м}^3/\text{мин}$. Расход метана в зоне разделения исходящей вентиляционной струи из очистной выработки на сопряжении с вентиляционной и газодренажной выработками определим из выражения $I_{\text{оч.выход}} = Q_{\text{оч.вых}} \cdot C/100$, $I_{\text{оч.вых}} = 2,1 \text{ м}^3/\text{мин}$. Метанообильность выработанного пространства с учетом метана, сносимого из очистной выработки в выработанное пространство, находим из выражения $I_{\text{в.п.}} = I_{\text{уч.р}} - I_{\text{оч.р}} + I_{\text{оч.выр}}$, $I_{\text{в.п.}} = 14,5 \text{ м}^3/\text{мин}$. Затем вычисляем расход воздуха, протекающего через выработанное пространство за счет общешахтной депрессии $Q_{\text{выр}} = Q_{\text{пост}} - Q_{\text{оч.вых}}$, и концентрацию метана в выработанном пространстве $C_{\text{выр}} = 100 \cdot I_{\text{выр}}/Q_{\text{выр}}$. После выполненных расчетов получим соответственно $Q_{\text{выр}} = 258,8 \text{ м}^3/\text{мин}$ и $C_{\text{выр}} = 5,6\%$.

Далее, согласно [2], определяем величину g , $g = Q_{\text{выр}}/Q_{\text{оч.вых}}$ и общий расход воздуха, протекающего по газодренажной неподдерживаемой выработке, $Q_{\text{др.вых}} = Q_{\text{выр}} + Q_{\text{др.нач}}$. Согласно выполненным расчетам, $g = 0,73$ и $Q_{\text{др.вых}} = 403,3 \text{ м}^3/\text{мин}$ соответственно.

Расход метана и концентрацию метана в неподдерживаемой газодренажной выработке рассчитываем соответственно по формулам $I_{\text{др.}} = I_{\text{уч.р}} - I_{\text{пер.сбойка}}$ и $C_{\text{др}} = 100 \cdot I_{\text{др.}}/Q_{\text{др.общ}}$. После выполненных расчетов $I_{\text{др.}} = 15,3 \text{ м}^3/\text{мин}$ и $C_{\text{др}} = 3,8\%$.

Расход воздуха для проветривания выемочного участка при отводе МВС из выработанного пространства по неподдерживаемой газодренажной выработке определяем по ф.7.64 [7], $Q_{\text{уч}} = Q_{\text{пост}} + Q_{\text{доп}}$, $\text{м}^3/\text{мин}$, где $Q_{\text{пост}}$ и $Q_{\text{доп}}$ – соответственно расход воздуха на поступающей к очистному забою и на подсвежении вентиляционной струи в районе смесительной камеры.

Необходимый расход воздуха, подаваемого к смесительной камере, рассчитываем по ф.2.10 Приложения 2.4 [7] $Q_{\text{вс.к}} = 100 \cdot I_{\text{уч.р}} \cdot K_n/C - C_0$, где K_n – коэффициент неравномерности метановыделения (ф.7.22), $K_n = 1,94 \cdot I_{\text{уч.р}}^{-0,14} = 1,31$, $Q_{\text{вс.к}} = 2170 \text{ м}^3/\text{мин}$. Дополнительный расход воздуха, необходимый для подсвежения исходящей выемочного участка, определится из выражения $Q_{\text{доп}} = Q_{\text{вс.к}} - Q_{\text{пост}} = 1557 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Правильность выполнения расчетов проверяем по уравнению аэрогазодинамики, имеющего вид в соответствии с ф. 6.3 [2], $(n + g) \cdot C_{\text{др}} = n \cdot C_{\text{исх}} + g \cdot C_{\text{в.п.}}$, где $n = 0,41$, $g = 0,7$. После подстановки в уравнение численных значений n , g , $C_{\text{др}}$, $C_{\text{исх}}$, $C_{\text{в.п.}}$, получаем $4,3 = 4,3$, что свидетельствует о корректности исходных данных и результатов расчетов.

Предельно допустимую по газовому фактору нагрузку на забой и на выемочный участок определяем по ф.6.16 и 6.17 [7]. Расчетная величина

* концентрация метана в газодренажной выработке могла быть снижена до 3,5% и ниже путем увеличения площади сечения регулируемого калиброванного окна, выполненного в изолирующей перемышке, введенной в вентиляционную сбойку вблизи смесительной камеры.

коэффициентов K_a для очистной выработки и выемочного участка при $Q_{\text{оч.вых}} = 400 \text{ м}^3/\text{мин}$ и $Q_{\text{уч}} = 2250 \text{ м}^3/\text{мин}$ составляет соответственно 1,18 и 1,04, а максимальная нагрузка на забой для очистной выработки и выемочного участка – 9425 и 8336 т/сут. При определении нагрузки на лаву в ф.3.46 вносим фактическую величину метановыделения, полученную в нижней части очистной выработки. Принимаем $A_{\text{мах}} = 8336 \text{ т/сут}$.

Таким образом, выявлена существенная сходимость расчетных и фактических величин, которые характеризуют аэродинамические и газовентиляционные параметры выемочного участка 112-з пласта «Мощный». При этом расходы метана у передней сбойки (на исходящей выемочного участка) и расход метана, выносимого из газодренажной выработки в смесительную камеру и параллельную выработку, по которой проходит исходящая выемочного участка, в вышеуказанных горнотехнических условиях соотносятся как 1:7-1:9. Это позволяет сделать вывод, что предложенная схема проветривания при изолированном отводе МВС обеспечивает максимальную эффективность, вполне сопоставима с прямоточной с «дренажным штреком» [1,2] и более безопасна.

Литература

1. Мясников А.А., Колотовкин Л.Д. Борьба с газом в очистных выработках шахт. Кемерово: Кемеровское книжное издательство, 1975, 107с.
2. Клебанов Ф.С., Долинский В.А. Зубов Р.В. и др. Воздух в шахте, трактат о проветривании угольных шахт. М., 1995, 600 с.
3. Стекольников Г.Г., Мурашев В.И., Беляев В.И., Иванов В.Н. Снижение газообильности выемочных участков поверхностными газоотсасывающими вентиляторами при бесцеликовой технологии // Способы и средства предупреждения самовозгорания угля в шахтах / Труды ВОСТНИИ. Кемерово, 1988. С.128-148.
4. Руководство по проектированию комбинированного проветривания выемочных участков и полей с применением газоотсасывающих вентиляторных установок для шахт ОАО Компания «Кузбассуголь». Кемерово, 2000.
5. Временное руководство по применению эффективных способов изолированного отвода метана из выработанных пространств за пределы выемочных участков и на поверхности на пологих и наклонных пластах угольных шахт ЗАО УК «Южкузбассуголь» (второе издание, исправленное и дополненное). Кемерово-Новокузнецк, 2002.
6. Патент № 2282030 С1, МПК Е 21F 7/00, Е 21С 41/18. Способ разработки свиты сближенных высокогазоносных угольных пластов/ В.А.Зуев, Ю.М.Погудин, О.И.Казанин и др. Бюл. № 23; 20.08.2006.
7. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. Макеевка-Донбасс, МакНИИ, 1989.

ОЦЕНИВАНИЕ ГРАНИЦЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Г.П. ШУМИЛОВА, Н.Э. ГОТМАН, Т.Б. СТАРЦЕВА

*Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера
Коми НЦ УрО РАН, г.Сыктывкар*

Для оценивания границы динамической надежности разработан алгоритм, основанный на инверсии искусственной нейронной сети с поиском единственного элемента. Согласно алгоритму, находится самая ближайшая к текущему режиму точка на границе, а затем определяется ее расстояние до границы, позволяющее судить о надежности текущего режима. В случае необходимости, оператор производит соответствующие управляющие воздействия, уводя систему в более безопасный режим работы. Предложен метод выбора оптимального набора входных параметров модели оценки надежности. Приведены результаты экспериментальной проверки работы алгоритма на примере Коми энергосистемы.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, граница динамической надежности, инверсия нейронной сети, дивергенция, нелинейный анализ главных компонент

G.P. SHUMILOVA, N.E. GOTMAN, T.B. STARCEVA. DYNAMIC SECURITY BORDER ASSESSMENT OF ELECTRIC POWER SYSTEM

The algorithm based on inversion of an artificial neural network with search of a unique element has been developed for estimation of the border of dynamic security. According to algorithm, the most nearest point to a current mode on border is found, and then its distance to the border is defined, allowing to judge security of a current mode. In case of need, the operator makes corresponding operating influences, withdrawing the system into more safe operating mode. The method of choice of an optimum set of entrance parameters of model of an estimation of security has been defined. Results of experimental check of work of algorithm on the example of the Komi power system are given.

Key words: electric power system, dynamic security border, neural network inversion, divergence, nonlinear principal component analysis.

Под динамической надежностью понимается способность энергосистемы противостоять внезапным возмущениям с минимальным ущербом для потребителей [1]. Оценка границы динамической надежности электроэнергетической системы (ЭЭС) в режиме on-line является одной из важных задач диспетчерских центров для превентивного управления энергосистемой. Информация об удаленности текущего режима от границы позволит диспетчерскому персоналу предпринять соответствующие шаги для сохранения синхронной работы ЭЭС.

Определение границы надежности аналитическими методами для ЭЭС большой размерности трудновыполнимо. Граница может быть определена на основе идентификации принадлежащих ей точек и интерполяции между ними. Авторами [2-4] предлагаются разные подходы к определению точек на границе: эволюционный алгоритм, позволяющий распределить точки равномерно по всей границе [2]; алгоритм оптимизации кучи частиц путем исследования влияния наложения различных ограничений на распределение точек на границе [3], что позволяет быстро выявить ограничения и идентифицировать границу; подход, основанный на алгоритме приближенной инверсии искусственной

нейронной сети (ИНС) [4]. Этот алгоритм определяет расположение самых близких к рабочему режиму точек на границе, которые удовлетворяют ограничениям по потокораспределению.

В данной работе для оценивания границы выбран метод инверсии нейронной сети с поиском единственного элемента [5] на базе алгоритма обратного распространения ошибки. Метод инверсии ИНС позволяет найти ближайшую к текущему режиму точку на границе надежности и рассчитать удаленность этого режима от границы. Поскольку для определения границы надежности выбрана инверсия ИНС, то целесообразно дать краткую информацию об этом методе.

Инверсия нейронной сети прямого распространения

Инверсия нейронной сети (рис. 1) – процесс нахождения входного вектора X для получения желаемого выхода y при установленном наборе синоптических весов W . Имеется много методов для выполнения инверсии ИНС. В работе [4] дан обзор существующих алгоритмов инверсии, которые используются для решения различных задач.

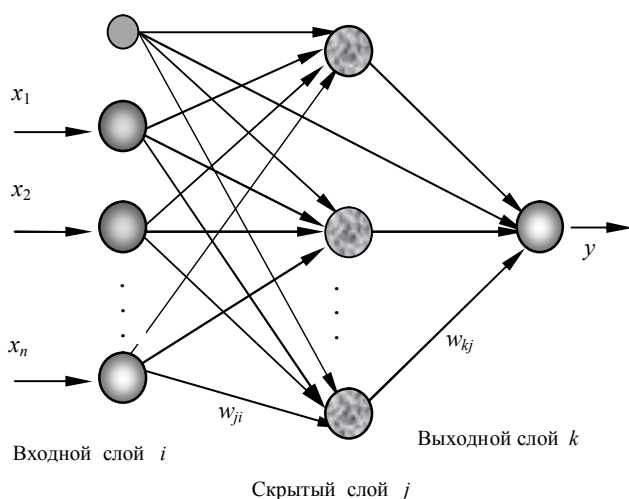


Рис. 1. Нейронная сеть – многослойный персептрон.

Работа обученной нейронной сети может быть описана выражением:

$$y_k = f_k(X, W), \quad (1)$$

где y_k – k -й выход нейронной сети, соответствующий входному вектору X ; W – вектор весовых коэффициентов и $f_k(\cdot)$ – функция преобразования входного вектора при его прохождении через сеть от входа до k -го выхода. Если рассматривают задачу с единственным скалярным выходом, представленную на рис. 1, то y_k в (1) может быть заменено на y , а $f_k(\cdot)$ на $f(\cdot)$.

Инверсия нейронной сети включает в себя два этапа. На первом – нейронную сеть обучают, устанавливая вход и выход и пересчитывая веса до тех пор, пока приемлемый результат не будет достигнут. На втором этапе веса нейронной сети принимаются фиксированными, функция $f(\cdot)$ в этом случае зависит только от входного вектора X .

Когда размерность входа больше размерности выхода, многочисленные различные входы могут генерировать тот же самый выход. На рис. 2 представлены контуры функций $f(X) = c$ для различных постоянных c . Инверсия для заданного c состоит в нахождении одного или более элементов входного множе-

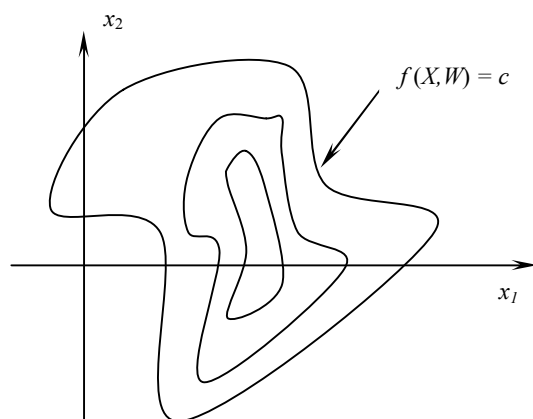


Рис. 2. Инверсия нейронной сети с множеством решений.

ства Λ на контуре, т.е. $\Lambda = \{X : f(X) = c\}$ и формулируется следующим образом. Необходимо найти входное множество Λ или его подмножество, которое дает наименьшую погрешность E для наперед заданного c :

$$E = \frac{1}{2} (f(X) - c)^2 \rightarrow \min.$$

Выбор оптимального набора входных данных для модели оценивания границы динамической надежности ЭЭС

Оценивание границы динамической надежности ЭЭС с использованием ИНС начинается с определения параметров (классификационных признаков), позволяющих разделить весь спектр установившихся режимов на два класса: динамически надежных и динамически ненадежных. Современные ЭЭС состоят из многочисленного генерирующего и сетевого оборудования, которое может оказывать влияние на надежность системы и параметры которого необходимо учитывать при ее оценке. При этом встает проблема большого объема вычислений. Его снижение возможно за счет выделения из всего множества классификационных признаков оптимального набора, позволяющего с достаточной точностью оценивать режим энергосистемы (надежный / ненадежный).

Для уменьшения размерности вектора входных параметров используются различные методы: Фишера [6], имитации отжига [7], дивергенция [8], автоассоциативные нейронные сети [9] и др. В данной работе для определения оптимального набора классификационных признаков динамически надежного и ненадежного режимов ЭЭС рассматриваются два: дивергенция и нелинейный анализ главных компонент (НАГК) с использованием автоассоциативных нейронных сетей. Оба метода позволяют уменьшить размерность пространства признаков. В методе дивергенции отбрасывается часть признаков, незначительно влияющая на надежность, а НАГК позволяет, не отбрасывая конкретные признаки, учитывать лишь наиболее значимые комбинации их значений. Рассмотрим кратко каждый метод и сравним результаты классификации.

Дивергенция. Дивергенция J_{ij} , как мера различия между двумя классами i и j , может быть описана выражением:

Дивергенция J_{ij} , как мера различия между двумя классами i и j , может быть описана выражением:

$$J_{ij} = \frac{1}{2} t_r [(C_i - C_j)(C_i^{-1} - C_j^{-1})] + \frac{1}{2} t_r [(C_i^{-1} + C_j^{-1})(m_i - m_j)(m_i - m_j)^T],$$

где t_r – след матрицы, равный сумме ее диагональных элементов, C_i – ковариационная матрица признаков класса i размерности $n \times n$, C_j – ковариационная матрица признаков класса j размерности $n \times n$, C^{-1} – обратная матрица, m_i – диагональный вектор матрицы признаков класса i размерности n , m_j – диагональный вектор матрицы

признаков класса j размерности n , $(m_i - m_j)'$ – транспонированный вектор $(m_i - m_j)$, n – количество признаков.

Признаки, которые дают большую дивергенцию, являются более важными. Любой признак, который вносит наименьший вклад в суммарную дивергенцию, может быть отброшен. Более подробно метод дивергенции описан авторами в работе [10].

Нелинейный анализ главных компонент с использованием автоассоциативных нейронных сетей

Анализ главных компонент (АГК) – это метод отображения данных большой размерности в более низкую размерность с минимальной потерей информации. Суть метода заключается в следующем. Пусть $\underline{Y}$ представляет матрицу данных размером $(n \times m)$ (n – количество наблюдений, m – число переменных). Тогда АГК можно представить как оптимальную факторизацию $\underline{Y}$ на две матрицы: $\underline{T}$, названную матрицей счетов размерности $(n \times l)$ (l – количество факторов, $l < m$), и $\underline{P}$, названную матрицей нагрузок размерности $(m \times l)$, плюс матрица невязок (остатков) $\underline{E}$ ($n \times m$):

$$\underline{Y} = \underline{T} \underline{P}^T + \underline{E}.$$

Критерий оптимальности при факторизации матрицы $\underline{Y}$ заключается в том, что Евклидова норма матрицы невязок $\|\underline{E}\|$ должна быть минимальна. Это возможно в том случае, если столбцы матрицы $\underline{P}$ являются собственными векторами, соответствующими l самым большим собственным значениям ковариационной матрицы $\underline{Y}$.

Так как матрица $\underline{P}$ является ортогональной, то $\underline{P}^T \underline{P} = \underline{I}$, где $\underline{I}$ – единичная матрица. Используя это свойство и рассматривая АГК как линейное отображение данных из пространства R^m в пространство R^l , получим отображение:

$$\underline{T} = \underline{Y} \underline{P}, \quad (2)$$

где $\underline{Y}$ представляет вектор данных – строку из матрицы $\underline{Y}$, а $\underline{T}$ – соответствующую строку из матрицы $\underline{T}$. Элементы матрицы нагрузок $\underline{P}$ являются коэффициентами для линейного преобразования. Потеря информации в этом отображении может быть оценена через вектор $\underline{Y}'$ обратного преобразования R^l в R^m :

$$\underline{Y}' = \underline{T} \underline{P}^T, \quad (3)$$

где $\underline{Y}' = \underline{Y} - \underline{E}$.

Нелинейный анализ главных компонент обобщает отображение в пространстве характеристик для получения произвольных нелинейных

функциональных зависимостей. По аналогии с уравнением (2), будем искать отображение в форме $\underline{T} = \underline{G}(\underline{Y})$, где $\underline{G}$ – нелинейная векторная функция, состоящая из f отдельных нелинейных функций: $\underline{G} = \{G_1, G_2, \dots, G_f\}$. $\underline{G}$ аналогична столбцам $\underline{P}$ так, что если T_i представляет i -й элемент $\underline{T}$, то $T_i = G_i(\underline{Y})$. По аналогии с линейным АГК, G_i есть i -й нелинейный фактор $\underline{Y}$.

Инверсное преобразование, восстанавливающее первоначальную размерность данных, аналогично уравнению (3), обеспечивается второй нелинейной векторной функцией $\underline{H} = \{H_1, H_2, \dots, H_m\}$:

$\underline{Y}' = \underline{H}(\underline{T})$. Потери информации снова измеряются как $\underline{E} = \underline{Y} - \underline{Y}'$, и по аналогии с АГК, функции $\underline{G}$ и $\underline{H}$ подбирают по минимуму $\|\underline{E}\|$.

НАГК реализуется с помощью автоассоциативной нейронной сети с нелинейными передаточными функциями. Автоассоциативная нейронная сеть, показанная на рис. 3, имеет три скрытых слоя: отображающий слой $\underline{G}$; средний слой, выходы которого представляют характерные признаки вектора $\underline{T}$, и восстанавливающий слой $\underline{H}$. Второй скрытый слой комбинированной сети – самый маленький по размерности – называют бутылочным горлышком или узким горлом. Входной и выходной слои сети представляют, соответственно, $\underline{Y}$ и $\underline{Y}'$. Заметим, что нейроны отображающего и восстанавливающего слоев должны иметь нелинейные передаточные функции, чтобы обеспечить возможность для моделирования произвольных функций $\underline{G}$ и $\underline{H}$.

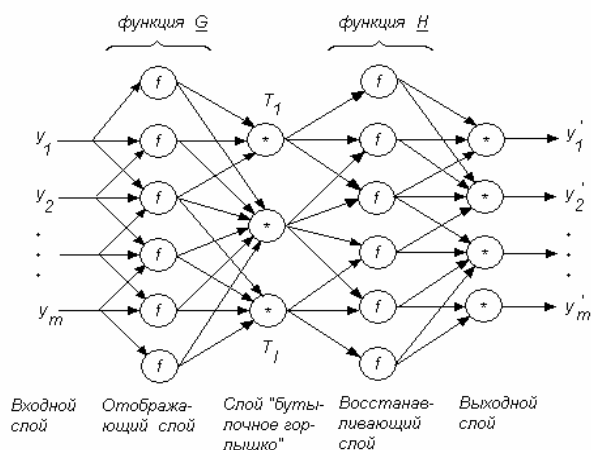


Рис. 3. Архитектура автоассоциативной нейронной сети.

Чтобы обучить сеть, веса в нейронных сетях, воспроизводящих функции $\underline{G}$ и $\underline{H}$, оптимизируются так, чтобы преобразованные выходы $\underline{Y}'$ как можно более точно соответствовали входам $\underline{Y}$. Обучение заканчивается, когда E , сумма квадратов ошибок, в уравнении (4), минимальна

$$E = \sum_{p=1}^n \sum_{i=1}^m (Y_i - Y'_i)^2. \quad (4)$$

$E = \|\underline{E}\|^2$ – критерий оптимальности, используемый в АГК.

Сравнение методов выбора оптимальной комбинации входных параметров для модели оценки надежности

Анализ и сравнение двух методов (НАГК и дивергенции) проведены на примере Коми энергосистемы. Для получения базы данных, содержащей набор возможных состояний ЭЭС, использована программная модель, выполняющая расчеты по моделированию установившихся режимов и переходных электро-механических процессов в энергосистеме. Для каждого режима рассматривались следующие аварийные ситуации: отключение генераторов станций, имеющих наибольшую загрузку, и трехфазные короткие замыкания с неуспешным АПВ на линиях.

Изменением значений активной и реактивной мощностей генераторов всех станций и значений активной и реактивной мощностей нагрузок в узлах было сформировано 160 режимов ЭЭС (80 динамически надежных и 80 динамически ненадежных). Разделение режимов на динамически надежные и ненадежные определялось по величине углов δ роторов генераторов.

Исследования С.М. Arora и S.L. Surana [11,12] показали, что множество классификационных признаков, состоящее из значений активной и реактивной генерируемых и потребляемых мощностей на каждой системе шин в предаварийном состоянии несет достаточную информацию о надежности системы. Поэтому в качестве начального множества параметров для классификации режима выбраны значения активной и реактивной мощностей генераторов, значения активной и реактивной мощностей нагрузки в узлах и значения суммарных по всей энергосистеме активной и реактивной мощностей генерации и нагрузки в доаварийном режиме. Суммарные мощности генерации и нагрузки введены в начальное множество признаков, так как исключены мощности генерации и нагрузки, не превышающие 12 МВт. В итоге, общее количество параметров стало равно 69. Расчеты по методу дивергенции проводились в системе MATLAB7 на всех 160 режимах. В результате, из сформированных 69 классификационных признаков получено оптимальное множество, состоящее из 21 признака.

Сжатие данных по методу НАГК проведено с использованием автоассоциативной нейронной сети с тремя скрытыми слоями (рис. 3), нейроны в которых имеют сигмоидную передаточную функцию. Количество нейронов в скрытых слоях ($M_1 = M_2 = 55$, $L = 23$) получено на основе экспериментальных расчетов при условии минимальной погрешности восстановления входного вектора. В итоге, НАГК определил оптимальное количество «сжатых» комбинаций параметров модели, равное 23.

Сравнение методов проводилось на основе результатов классификации режимов на нейросетевой модели по так называемому «индексу (или

рангу) надежности» [13, 14]. На входы модели подавался полученный тем или другим методом оптимальный набор входных параметров, а на выходе, при обучении, устанавливался индекс надежности: 0 – для образца, соответствующего динамически ненадежному режиму, и 1 – для образца, соответствующего динамически надежному режиму. Определялось, насколько точно ИНС распознает режим в том и другом случае. Для принятия решения о достоверности классификации сравнение проводится с индексом 0,5, соответствующим границе динамической надежности. Образец принимается правильно классифицированным, если он соответствует динамически надежному режиму и на выходе ИНС получено значение, большее 0,5. Соответственно, если образец из класса динамически ненадежных режимов ЭЭС и на выходе получено значение, меньшее 0,5, то образец также правильно классифицирован. В остальных случаях классификация ошибочна.

Результаты сравнения двух методов (дивергенции и НАГК) показали, что использование набора входных данных для ИНС, полученных по методу дивергенции, правильно классифицирует режим ЭЭС в 100 % случаев. Наибольший процент искажения дает НАГК (26 %). Полный набор входных данных искажает результат в 14 % случаев. Таким образом, для задачи оценивания границы динамической надежности выбран оптимальный набор из 21 параметра, полученный по методу дивергенции.

Определение точки на границе динамической надежности

Для оценивания границы динамической надежности, как уже было сказано выше, выбран метод инверсии сети с поиском единственного элемента при оптимизации методом градиента. Поиск начинается с входного вектора $\mathbf{x}^0$. Если x_k^t – k -я компонента вектора $\mathbf{x}^t$, то алгоритм градиентного спуска может быть записан в виде:

$$x_k^{t+1} = x_k^t - \eta \frac{\partial E}{\partial x_k^t}, \quad (5)$$

где η – размер шага и t – индекс итерации.

Обозначим $\delta_k^t = \frac{\partial E}{\partial x_k^t}$. Тогда для входного и скрытых слоев, согласно [4]:

$$\delta_k = y_k(1 - y_k) \sum_j \delta_j w_{kj}, \quad (6)$$

где y_k – k -я компонента выхода нейронов в рассматриваемом слое; w_{kj} – весовые коэффициенты между нейронами рассматриваемого и последующего слоев.

Для выходного слоя:

$$\delta_j = (c_j - y_j) y_j (1 - y_j). \quad (7)$$

Выходы нейронов каждого слоя вычисляются по формулам:

$$y_k = 1 / (1 + e^{-(net_k + \theta_k)}), \quad net_k = \sum_j w_{kj} y_j,$$

где θ_k – смещение, y_j – выходы предыдущего слоя.

Таблица 1

**Начальные и граничные параметры
рассматриваемого динамически
ненадежного режима ЭЭС**

Генерирующие и нагрузочные узлы	Значения параметров			
	$P_{г}$, МВт	$Q_{г}$, МВар	$P_{н}$, МВт	$Q_{н}$, МВар
ВТЭЦ-2, Г1	34,0 (34,0)	5,4 (5,4)	-	-
ВТЭЦ-2, Г5	-	11,7 (11,7)	-	-
ПГРЭС, блок 2	128,8 (128,6)	14,1 (14,1)	-	-
ПГРЭС, блок 3	133,2 (133,6)	14,1 (14,2)	-	-
ПГРЭС, блок 5	138,7 (138,0)	-	-	-
ТЭЦ СЛПК, Г1	42,9 (43,0)	36,2 (36,6)	-	-
ТЭЦ СЛПК, Г2	36,7 (37,0)	42,4 (42,6)	-	-
ТЭЦ СЛПК, Г6	51,0 (52,0)	20,4 (20,0)	-	-
ВТЭЦ2-110	-	-	38,33 (38,3)	-
Усинск-35	-	-	-	13,05 (13,05)
Возей-35	-	-	-	13,78 (13,78)
Сосногорская ТЭЦ	-	-	-	26,13 (26,11)
Генерация по ЭЭС	1042,4 (1043,2)	447,6 (450,8)	-	-
Нагрузка по ЭЭС	-	-	1001,6 (1001,6)	-

Примечания. Жирным шрифтом выделены граничные значения параметров; - отсутствие параметра в наборе данных.

границе. Расчет проводился до тех пор, пока результаты инверсии не совпали с результатами расчета на модели ЭЭС. При этом полученный режим является динамически надежным, т.е. устойчивым для всех рассматриваемых аварийных ситуаций. В данном примере завершение работы алгоритма произошло на 3-й итерации. Во второй строке табл. 2 можно проследить, как менялся индекс надежности при приближении к границе.

**Оценка расстояния до границы
динамической надежности**

При оценке надежности ЭЭС важно знать расстояние от текущей рабочей точки до границы надежности. В работе [13] описывается один из методов определения расстояния до границы, основанный на оценке индекса надежности. Этим методом можно воспользоваться, если заранее известна вся область границы. В рассматриваемом случае, когда требуется в режиме реального времени определить одну ближайшую к текущему режиму точку на границе, такой принцип определения расстояния неприемлем.

Самой распространенной мерой для определения расстояния между двумя точками является Евклидова мера [15]:

$$r = \sqrt{(x_1 - x_1^{гп})^2 + \dots + (x_i - x_i^{гп})^2 + \dots + (x_k - x_k^{гп})^2}, (8)$$

Заметим, что производные δ_k и δ_j нейронов в (6) и (7) должны быть вычислены в обратном порядке – от выхода к входу, подобно стандартному алгоритму обратного распространения ошибки.

В формуле (5) размер шага η может быть как постоянным, так и переменным. Однако постоянный шаг плохо учитывает особенности минимизируемой функции E , поэтому при реализации инверсии для определения границы надежности использовался алгоритм с переменным шагом (деление шага пополам при увеличении ошибки).

Поиск ближайшей к рассматриваемому режиму точки на границе динамической надежности можно записать в виде следующего алгоритма:

Шаг 0. Обучение нейронной сети для получения весовых коэффициентов.

Шаг 1. Получение с помощью инверсии параметров режима, соответствующих точке на границе надежности.

Шаг 2. Проверка полученных параметров по программной модели ЭЭС на возможность существования такого устойчивого режима работы ЭЭС. Если режима не существует, то проводится корректировка параметров и переход к шагу 1, иначе алгоритм завершен.

Графическая интерпретация поиска решения в двумерном пространстве представлена на рис. 4. Начальная точка поиска соответствует текущему рабочему режиму.

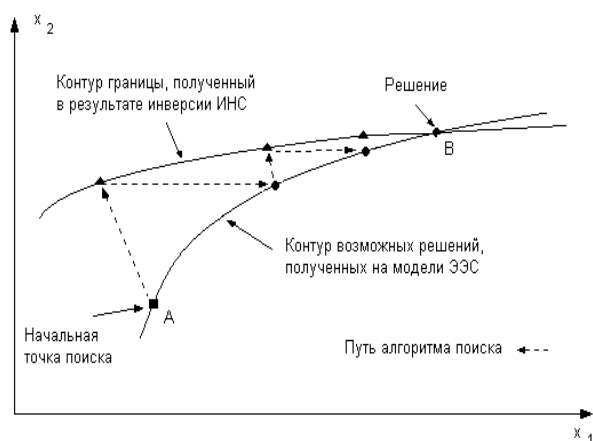


Рис. 4. Определение точки на границе надежности.

Проверка алгоритма проводилась на тех же 160 образцах динамически надежных и динамически ненадежных режимов Коми энергосистемы, подготовленных для выбора оптимального набора классификационных признаков. Обучение ИНС проведено на 80 образцах. Для остальных 80 определялись ближайшая точка на границе динамической надежности и расстояние до нее от точки текущего режима.

Работу алгоритма можно рассмотреть на одном из динамически ненадежных режимов ЭЭС, параметры которого, выбранные по методу дивергенции, приведены в табл. 1 (начальные значения параметров стоят в скобках).

В результате расчетов по алгоритму получены значения параметров режима на границе динамической надежности (выделены в табл. 1), т.е. найдена ближайшая к текущему режиму точка на

где x_i – текущее значение i -го параметра; x_i^{rp} – граничное значение i -го параметра; k – количество параметров.

В чистом виде выражение (8) не может быть использовано, поскольку параметры x_i применительно к режимным параметрам имеют разную размерность (МВт и МВАр). В этом случае целесообразно рассматривать нормированные величины, которые определяются как отношение отклонения к среднеквадратическому отклонению, т.е.

$$z_i = \frac{x_i - x_i^{rp}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2\right)/(n-1)}},$$

где x_{cp} – среднее арифметическое значений параметров по всем образцам, n – количество образцов.

Тогда формула (8) примет вид:

$$\rho = \sqrt{z_1^2 + z_2^2 + \dots + z_k^2}.$$

Результаты расчета расстояния до границы по приведенным выше формулам для рассматриваемого примера приведены в третьей строке табл. 2. Расстояние от начальной точки поиска до полученной ближайшей точки на границе (расстояние АВ на рис. 4) равно 0,233.

Таблица 2

Изменение индекса надежности и расстояния при приближении к границе

Номер итерации	1	2	3
Индекс надежности режима после коррекции	0,274	0,523	0,509
Расстояние до границы надежности	0,208	0,022	0,009

Для того, чтобы определить насколько далек текущий режим с таким расстоянием до границы, проведены расчеты ρ для всех 80 режимов работы ЭЭС. В результате получено, что изменение расстояния до границы находится в пределах от 0 (на границе) до 3,355 при устойчивом режиме работы ЭЭС и до 4,046 – при неустойчивом режиме. Таким образом, режим в рассмотренном примере находится вблизи границы надежности, но, являясь динамически ненадежным режимом, требует коррекции со стороны диспетчерского персонала выбранных параметров, как минимум, до граничных значений.

Заключение

Предложенный подход к оцениванию динамической надежности ЭЭС представляет интерес для превентивного управления энергосистемой в реальном времени, важность которого увеличивается при уменьшении эксплуатационной надежности. Использование только аналитических методов не позволяет своевременно выполнять профилактические или корректирующие действия.

Для выбора оптимального набора параметров предаварийного режима, необходимых для

обучения нейронной сети, применен метод дивергенции, который дает правильную классификацию всех рассмотренных образцов динамически надежных и ненадежных режимов.

Для определения границы динамической надежности разработан алгоритм, основанный на инверсии ИНС с поиском единственного элемента. Он позволяет найти ближайшую к текущему режиму точку на границе динамической надежности и определить его удаленность от границы. Такая информация поможет оператору в случае необходимости вывести ЭЭС в более безопасный режим работы.

Литература

1. Alvarez J.-M. G., Mercado P.E. Online Inference of the Dynamic Security Level of Power Systems Using Fuzzy Techniques // IEEE Trans. On Power Systems, 2007. Vol. 22. No. 2. P. 717-726.
2. Reed R.D., Marks II R.J. An evolutionary algorithm for function inversion and boundary marking // Proceedings of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation, 1995. P. 794-797.
3. Kassabalidis I.N., El-Sharkawi M.A., Marks II R.J. and others. Dynamic security border identification using enhanced particle swarm optimization // IEEE Trans. on Power Systems, 2002. Vol. 17. No. 3. P. 723-729.
4. Jensen C.A., Reed R.D., El-Sharkawi M.A., Marks II R.J. Location of operating points on the dynamic security border using constrained neural network inversion // Proc. Int. Conf. Intelligent Systems Applications to Power Systems, (ISAP 97), Seoul, Korea, 1997.
5. Jensen C.A., Reed R.D., Marks II R.J. et al. Inversion of feedforward neural networks: algorithms and applications // Proceedings of the IEEE, 1999. Vol.87. No.9. pp. 1536-1549.
6. Jensen C.A., El-Sharkawi M.A., Marks II R.G. Power systems security assessment using neural networks: Feature selection using Fisher discrimination // IEEE Trans. On Power Systems, vol. 16, No. 4, Nov., 2001, P. 757 – 763.
7. Kirkpatrick S., Gelatt C.D., Vecchi M.P. Optimization by simulated annealing // Science, 1983. Vol. 220. P. 671-680.
8. Niazi K.R., Arora C.M., Surana S.L. Power System Security Evaluation Using ANN: Feature Selection Using Divergence // Electric Power System Research, 2004. Vol. 69. P. 161-167.
9. Kramer Mark A. Nonlinear Principal Component Analysis Using Autoassociative Neural Networks // AIChE Journal, 1991. Vol. 37. No. 2. P. 233-243.
10. Шумилова Г.П., Готман Н.Э., Старцева Т.Б. Выбор входных параметров нейронной сети для решения задачи оценивания границ динамической надежности электроэнергетической системы // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Сб. науч. тр. Вып. 58. Математические модели и методы исследования надежности либерализованных систем энергетики / Отв. ред. Н.И. Воропай, М.Ш. Мисриханов. М.-Н.Новгород: Изд-во Волго-Вятской академии государственной службы, 2008. С. 150-157.

11. *Arora S.M.* On-line transient security evaluation using pattern recognition technique/ Ph.D. Thesis, Deptt. Of Elect. Engg., JNV Univ., Jodhpur, India, 1991. 226 p.
12. *Arora S.M., Surana S.L.* Transient security evaluation and preventive control of power systems using PR techniques, *IE(I) Journal-EL*, 1996. Vol. 76. P. 199-203.
13. *Kassabalidis I.N., El-Sharkawi M.A., Marks II R.J.* Border identification for power security assessment using neural network inversion: an overview // 2002 Congress on Evolutionary Computation, 2002 IEEE World Congress on Computational Intelligence, 2002, Honolulu. P. 1075-1079.
14. *Jensen C.A., Reed R.D., El-Sharkawi M.A., Marks II R.J.* Location of operating points on the dynamic security border using constrained neural network inversion // Proc. Int. Conf. Intelligent Systems Applications to Power Systems, (ISAP 97), Seoul, Korea, July 1997.
15. *Гусак А.А., Гусак Г.М., Бричикова Е.А.* Справочник по высшей математике. 7-е изд. Минск: ТетраСистемс, 2006. 640 с.

УДК 94(3):551.583 (=511.1)

КЛИМАТ В ДРЕВНЕЙ ИСТОРИИ ФИННО-УГОРСКИХ НАРОДОВ

И.Л. ЖЕРЕБЦОВ

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

На основе исследований российских и зарубежных ученых различных специальностей дан обзор роли климатических изменений в историческом развитии финно-угорских народов со времени формирования уральской языковой общности до середины I тыс. н.э. Показано воздействие климатического фактора на постепенное разделение уральской и финно-угорской языковых общностей, миграционные процессы, расселение древних финно-угров.

Ключевые слова: финно-угры, изменения климата, перенаселение, миграции

I.L.ZHEREBTSOV. CLIMATE IN THE ANCIENT HISTORY OF THE FINNO-UGRIC PEOPLES

On the basis of researches of the Russian and foreign scientists of various specialties the review of a role of climatic changes in historical development of the Finno-Ugric peoples since formation of the Uralic language community to the mid of I millennium AD is given. The influence of the climatic factor on gradual division of the Uralic and Finno-Ugric language communities, migratory processes, settling of ancient Finno-Ugrians is shown.

Key words: finno-ugrians, climate changes, the overpopulation, migrations

История финно-угорских народов богата событиями и разнообразна. Судьба разбросала их по разным частям Евразии – от Западной Сибири до Прибалтики, от Северного Ледовитого океана до Дуная. Велики различия в культуре, образе жизни. Сегодня венгр, финн, коми, манси не поймут друг друга. Однако их языки сохранили древнейшие слова, свидетельствующие об общности происхождения этих народов. Постепенное дробление, распад их древней общности, ряд других важных этапов развития финно-угорских народов весьма тесно связаны с глобальными изменениями климата, на значение которых в истории человеческой цивилизации в той или иной мере обращали внимание многие российские и зарубежные исследователи [1–6].

Их труды, равно как и обстоятельное изучение важнейших аспектов истории финно-угров, финно-угорских языков учеными различных специальностей – лингвистами, археологами, историками, этнографами, и в особенности их указания на взаимосвязь между некоторыми сюжетами этой истории и изменениями природно-климатических условий [7–12] делают возможным предпринять попытку составить общий обзор роли климатического фактора в истории финно-угров. Необходимость или, по крайней мере, целесообразность его диктуется тем, что, на взгляд автора, далеко не все еще связи климатических изменений с этноисторическими процессами у финно-угорских народов стали предметом обсуждения. Разумеется, в одной статье невозможно осветить влияние климата на

всю финно-угорскую историю, поэтому ограничимся здесь лишь древнейшей ее частью.

Все развитие человечества в той или иной мере было связано с его сопротивлением пагубному воздействию неблагоприятных природно-климатических условий, со стремлением найти «место под солнцем», позволявшее бы избежать этого воздействия или хотя бы минимизировать таковое. Естественно, что никакими человеческими усилиями невозможно было остановить или замедлить глобальные природные катаклизмы, подобные оледенениям. Напор ледников ломал относительно устоявшуюся жизнь палеолитического человека, стирал с лица земли или заставлял перемещаться на огромные расстояния древние племена, лишая их возможности развивать свою культуру. И лишь тысячелетия спустя с отступлением льда перед людьми появилась возможность обживать новые пространства, осваиваться, постепенно формируя свои особенные традиции жизнедеятельности.

Около 15 тыс. лет назад началось быстрое глобальное потепление климата, открывшее пути для складывания различных этнокультурных, языковых общностей, а уже около 12700 г. до н.э. климат в Западной Европе был почти таким же, как в наши дни. В VII тыс. до н.э. в Европе стало теплее, чем теперь. В последние века этого тысячелетия несколько похолодало, но затем наступил еще более теплый период (VI–IV тыс. до н.э.). Новая фаза потепления ознаменовалась рождением уральской языковой общности, объединявшей далеких пред-

ков нынешних финно-угорских и самодийских народов. Исследователи говорят о ее существовании уже применительно к VI тыс. до н.э. [1, 12, 11].

Ранее, при потеплении VII тыс. до н.э., этой общности, надо полагать, еще не было, поскольку Западная Сибирь в ту эпоху оказалась менее избалована климатическими сдвигами к лучшему, нежели, например, Дальний Восток или крайний Северо-Восток Евразии. Более того, в Западносибирском регионе имело место некоторое похолодание, что явно не благоприятствовало людям, пожелавшим бы обустроить здесь свою жизнь. Между тем, именно в этом регионе располагалась прародина уральских народов: от Уральских гор на западе до Енисея и низовьев Ангары и Подкаменной Тунгуски на востоке и от Полярного круга до низовьев Тобола и северных предгорий Саян и Алтая. А в VI–IV тысячелетиях до н.э., напротив, Западная Сибирь относилась к тем регионам, где наблюдались особенно положительные аномалии климата [8, 1, 11].

По мере потепления климата росло население, находившее все больше возможностей для пропитания. Со временем границы прародины стали тесны для значительно увеличившегося количества людей. Конечно, в сравнении с современностью, несмотря на приrost, плотность населения оставалась весьма низкой. Однако охотничье-рыболовческий тип хозяйства требовал обширных резервных территорий освоения, которые в районе проживания того или иного рода были отнюдь не беспредельны. В результате либо тормозился рост численности населения (вследствие нехватки продовольствия, голода и повышения смертности), либо часть жителей вынуждена была переселяться в иные районы.

Возможно, с этим относительным перенаселением и было связано разделение уральской языковой общности на самодийскую и финно-угорскую, которое, по мнению специалистов, произошло на рубеже V и IV тысячелетий до н.э. Если исходить из относительной перенаселенности как важного фактора разделения уральцев, то автору представляется более вероятным, что отделение самодийцев от финно-угров произошло, учитывая изменения климата, в конце V тыс. до н.э. Ибо в начале следующего тысячелетия наступил пик теплого периода (климатический оптимум), проявившийся в большинстве регионов Евразии, в том числе и в Западносибирском. Без сомнения, новое улучшение климатических условий дало возможность получать больше продуктов питания в обжитых районах: больше рыбы, росту которой способствует повышение температуры воды, больше ягод и прочих даров леса. Все это оказало благотворное воздействие на демографические процессы, вследствие чего в начале IV тыс. до н.э. проблема относительной перенаселенности, вероятно, была снята с повестки дня, и бывшее ранее «избыточным» население получило возможность добывать средства пропитания на родине, а не искать их в иных регионах. Следовательно, массовые переселения и, как следствие их, разделение уральцев должны были произойти не в это благоприятное время, а в предшествующий период [1, 8, 11, 12].

Климатический оптимум продолжался в течение почти всего IV тыс. до н.э., хотя имели место временные похолодания. Видимо, это позволило финно-уграм сосуществовать более тысячелетия в относительном единстве – относительно, потому что, как справедливо полагает П.Хайду, в условиях низкой плотности населения, больших расстояний, отделявших местожительства разных родов, нечастых контактов между ними неизбежно возникали различия в местных говорах, диалектах [12, с. 171], да и, вполне возможно, в культурно-бытовой и хозяйственной специфике разных локальных групп. Однако даже условия климатического оптимума не могли, естественно, обеспечить беспредельный рост числа жителей. Поэтому время от времени, вероятно, в отдельных локальных группах все же появлялось относительно избыточное население, которое вынуждено было переселяться за пределы прародины. На этот процесс оказали свое воздействие и упоминавшиеся временные похолодания, одно из которых происходило на рубеже первой и второй трети IV тыс. до н.э. Возможно, именно в этот период часть финно-угров ушла за Урал, в частности, в бассейн Камы [1].

Середина IV тыс. до н.э. была теплой, но и существенно более сухой, чем предшествовавший период. В результате степи постепенно лишились растительности, становясь полупустынями, а степная полоса сдвигалась на север, где ранее располагались луга. Вслед за изменением растительного мира перемещались и животные. Население районов, лежавших к югу от территории расселения финно-угров, спасаясь от засухи, вынуждено было в поисках пропитания переселяться севернее, отесняя или смешиваясь с финно-угорскими племенами. Не случайно именно в середине IV тыс. до н.э. имел место приток иноэтничных пришельцев с юга на бывшую уральскую прародину. Результатом вызванных засушливым климатом миграций стало усиление разрыва между смешавшимися с пришельцами финно-уграми и самодийцами, отселившимися в направлении Енисея. Часть финно-угров под давлением южан могла уйти на запад, в сторону Волги и Балтики, включая и север Европы, который в условиях весьма теплого климата той поры мог оказаться вполне привлекательным для переселенцев [12, 13].

В конце IV тыс. до н.э. климат повсеместно начал меняться. Он стал более влажным, полупустыни отступали к югу, восстановился травяной покров в степях, лежавших южнее финно-угорских земель, так что они вновь стали вполне пригодными для жизни, и приток переселенцев из этих районов на финно-угорскую территорию если и не прекратился полностью, то, во всяком случае, значительно ослаб. Это должно было дать финно-угорским племенам возможность развиваться в более спокойных условиях, без значительного внешнего давления и печальных перспектив ассимиляции. Однако положительное следствие начавшихся перемен климата было «нейтрализовано» другой стороной происходивших перемен – некоторым похолоданием, что, по понятным причинам, оказало замедляющее влияние на рост численности финно-

угров: меньше стало растительных «даров природы», возникли проблемы с рыболовством (снижение температуры воды негативно воздействует на популяции речных рыб). В этих условиях снова появляется относительно избыточное население, которое в поисках пропитания вынуждено было уходить в другие места [1]. Не случайно именно в этот период племена культуры ямочно-гребенчатой керамики (которая, по некоторым предположениям, относится к протофинноуграм), появившиеся в Карелии во время потепления, расселяются по всей территории региона [14, с. 21].

В середине III тыс. до н.э. наступил весьма холодный период. В финно-угорских родах и племенах вновь возникла проблема «избыточного» населения, усилились миграции. Одни переселялись на запад, за Урал, где уже имелись родственные племена – в бассейн Камы, а также в верховья Вычегды и Печоры, а затем, возможно, и дальше. Имеются предположения, что какие-то группы финно-угров в III тыс. до н.э. дошли до Прибалтики и, в частности, появились на территории современной Эстонии [12, с. 79–80, 161–162]. На территорию Эстонии племена с финно-угорскими чертами могли прийти из более северных районов, с территории Финляндии или Карелии (как уже говорилось выше, есть предположение, что они появились там в 3300–3200 гг. до н.э.), вследствие похолодания середины III тыс. до н.э., вынудившего людей мигрировать в более южные районы.

Другая часть населения Западной Сибири пока оставалась на старом месте жительства. Освободившись от «лишних ртов», древняя прародина еще могла обеспечить оставшихся продуктами питания, тем более что период похолодания и увлажнения оказался непродолжительным – около 2200 г. до н.э. климат несколько изменился к лучшему, и переселения за Урал резко сократились, если не прекратились совсем. В итоге этих процессов началось постепенное обособление разделенных Уральскими горами финно-угорских племен на две ветви, контакты между которыми слабели [1, 11, 15, 12, 16].

Вероятно, потепление климата в 2200 г. до н.э. и улучшение условий жизни способствовали и ослаблению интенсивности переселений «европейских» финно-угорских родов далее на запад, что может свидетельствовать в пользу мнения видного венгерского лингвиста П.Хайду о том, что финно-угры жили тогда не западнее Волги и устья Камы. Это же потепление, полагаю, содействовало появлению в Прибалтике с юга балтских скотоводческих племен, что произошло как раз около 2200 г. до н.э. Возможно, в районах прежнего обитания балтов (на юге) началась засуха, а северные районы, напротив, в условиях более теплого климата стали вполне пригодными для ведения скотоводческого хозяйства [15, 12].

На рубеже III и II тысячелетий до н.э. наступило новое, не слишком продолжительное похолодание. Климат по обеим сторонам Урала был весьма влажным. В очередной раз заявила о себе проблема «избыточного населения», решавшаяся, как и прежде, за счет миграций. Зауральские финно-угры оказались к тому же перед лицом хозяйствен-

ного кризиса: на древней прародине леса стали заболачиваться, уровень воды в реках поднялся, затопляя пойменные луга – базу местного скотоводства. В конце концов пришлось двинуться на юг, где лесная полоса постепенно отвоевывала у степи новые территории. Там восточные финно-угры стали активно контактировать с жившими южнее иранскими народами, что оказало влияние на их переход в дальнейшем к ведению производящего хозяйства [1, 10–12].

Значительные переселения происходили и по другую сторону Урала. Племена финно-угров продвигались из ставших перенаселенными районов на запад, в бассейн Оки, и далее до Прибалтики. Более северные районы (бассейны Вычегды и Печоры) также привлекали переселенцев относительно малонаселенностью и, вследствие этого, немалыми возможностями для охоты и рыболовства. Но похолодание все же существенно препятствовало освоению севера, и относительно массовые переселения в те края, думается, совпадают с началом потепления, после 2000 г. до н.э. По мере улучшения климатических условий приток населения на север увеличивался, достигнув, вероятно, пика к самой середине тысячелетия, поскольку около 1500 г. до н.э. климат и зимой и летом практически на всей территории нынешней России был теплее и суше [1, 14, 15].

В последующее время (примерно между 1400 и 1300 гг. до н.э.) климат снова изменился к худшему. Похолодание и увлажнение климата привели к постепенному отступлению широколиственных лесов на юг и запад. Их место занимала еловая тайга, в которой зверя и птицы водилось в полтора, а то и в два раза меньше [11, с. 194; 16, с. 163–164], и прокормиться в них было куда сложнее. Так что миграции в северные районы если и продолжались, то в меньших масштабах. Напротив, похолодание могло воздействовать на отток части населения с севера. Возможно, именно тогда началось движение населения Северного Зауралья (ученые связывают его с древними уральцами [7]) в более южные районы Зауралья и смешение их в тех местах с северной частью угорских племен.

Вызванные климатическими изменениями и относительным перенаселением миграционные потоки, двигавшиеся в расходящихся направлениях (на юг, запад и север), привели на рубеже тысячелетий к распаду финно-угорской общности на две или даже три группы: угорскую, прафинно-волжскую и прапермскую (П.Хайду полагает, что прапермская и прафинно-волжская общности отделились друг от друга в середине II тыс. до н.э.) [12, с. 172, 199; 7].

Конечно, резонно предположить, что разнонаправленность миграций финно-угорских племен в европейской части (одна группа расселялась на север, другая – на запад), значительная удаленность одного осваивавшегося региона от другого, их заметное природно-климатическое отличие, а также вполне вероятные значительные этнокультурные различия между дофинноугорскими обитателями двух этих регионов, влившимися в конце концов в состав финноязычных пришельцев, затрудняли прафинским народам сохранение языковой общности. Поэтому разделение прапермской и

прафинно-волжской общностей вряд ли особо от- стало по времени от выделения угров. Однако в силу климатических условий, как уже отмечалось выше, миграции прафинских на север, скорее все- го, отставали по времени от переселений на запад. Следовательно, и различия между двумя группами прафинских (северной, прапермской, и южной или, точнее, юго-западной, прафинно-волжской) племен, возможно, более ярко проявились не на рубеже II и I тысячелетий, а ближе к середине II тыс. до н.э.

Как отмечает П.Вереш [17], сложные эколого- климатические условия последних веков II тыс. до н.э. сыграли важную роль в этнокультурной истории древних угров, живших в лесостепи Зауралья. Рас- полагавшаяся на юге Западной Сибири территория их расселения в результате климатических измене- ний подвергалась заболочиванию. Обитателям ле- состепи, принаравливаясь к новым эколого-клима- тическим условиям, приходилось сокращать пого- ловье крупного рогатого скота, либо больше разво- дить лошадей, либо все большее внимание уде- лять охоте. Те, кто «сделал ставку» на коневодство, должны были переместиться подальше от болот, к югу. В результате, по мнению П.Вереша, уже около XII в. до н.э. начался процесс разделения древних угров, часть которых (будущие предки венгров) пе- реселяется в степную зону. С этой миграцией П.Вереш связывает продвижение в степь племен черкаскульской археологической культуры между XII – X вв. до н.э.

Конец II тыс. до н.э. принес очередное изме- нение климата и вызвал к жизни новый этап в ис- тории финно-угров. Усилилось размежевание древ- неугорских племен на мадьяр и обских угров. На юге Урала начались засухи, тайга отступила, и се- верные угры (будущие ханты и манси), пытаясь со- хранить прежний комплексный экономический ук- лад (в котором, как говорилось выше, к этому вре- мени значительно возросла роль охоты), решили уйти из засушливого региона на юге Урала и пере- селились на среднюю (и, возможно, нижнюю) Обь. Южные угры (будущие мадьяры) остались в степях и в изменившихся условиях приспособились вести иной образ жизни, перейдя к кочевому скотоводст- ву. Разумеется, это разделение произошло не вдруг – различия в способах хозяйствования скла- дывались в более ранний период, поскольку при- граничные со степью районы Зауралья (где жили южные угорские племена) и ранее были удобны для развития скотоводства. В связи с этим уместно вспомнить мысль Л.Н.Гумилева о том, что именно пограничные ландшафты оказывают огромное влияние на формирование новых этносов. То, что именно в этот период (к концу II тыс. до н.э.), по мнению П.Хайду, финно-угры достигли Белого мо- ря, очевидно, также следует связать с потеплени- ем, способствовавшим освоению высоких широт [17, 18, 10, 12].

В первые века I тыс. до н.э. температура по- низилась, что стало особенно заметно в IX в. до н.э. Это естественным образом вновь привело к появ- лению относительно избыточного населения, акти- визации переселений. Полагаю, что именно с этим можно связать наиболее интенсивное заселение прафинно-волжскими племенами ряда регионов, и

в частности, Прибалтики, о чем пишет П.Хайду, на- зывающий тот период «началом прибалтофинской эпохи», а также возможный распад прафинно-вол- жской общности на прибалтийско-финскую, пра- мордовскую и прамарийскую. Наступившее похоло- дание сказалось и на окончательно отдалении друг от друга угорских народов. Тайга продвину- лась на юг, тесня лесостепь. В результате обские угры оказались полностью в таежной зоне и им пришлось изменить свой хозяйственный уклад (пер- спектив для ведения животноводства в условиях сокращения возможностей для выпаса скота прак- тически не оставалось). Свою роль сыграл, вероят- но, и усилившийся приток на их территорию упоми- навшихся уже переселенцев с севера, вынужден- ных из-за похолодания мигрировать в более благо- приятные места обитания. В конце концов, обские угры, перейдя к присваивающемуся хозяйству, за- были о коневодстве. А правенгры, уходя от надви- гавшейся тайги и следуя за отступающей степью, переселялись на юг, где усилились их контакты с иранцами. В итоге дороги праугорских народов ра- зошлись окончательно, и к середине I тыс. до н.э. их общность полностью распалась [8, 1, 10, 12].

В самой середине I тыс. до н.э. климат несколь- ко улучшился. Возможно, с некоторым потеплением связано продвижение саамов в Финляндию и Сканди- навию, о котором пишет П.Хайду, а также начало (или усиление) контактов прибалтийско-финских племен с балтскими. Последние под воздействием потеплев- шего климата продвинулись севернее, где столкну- лись с предками ливов и эстонцев [12]. Во всяком случае, П.Хайду относит этот процесс как раз к сере- дине I тыс. до н.э. [12, с. 80]. В эпоху потепления (VI– V вв. до н.э.), вероятно, на территории Карелии поя- вились племена позднебеломорской (связана с анань- инской историко-культурной общностью), а также позднекаропольской (ее истоки – в Среднем Повол- жье) культур [14, с. 45, 53].

Потепление оказалось недолгим, и вторая половина тысячелетия была весьма холодной, в особенности последние века (в некоторых регионах ставшие самыми холодными в этом тысячелетии). Эти условия привели к кризисным явлениям в де- мографическом развитии финно-угорских народов: в Карелии и Финляндии сократилась численность населения. С похолоданием же можно связать и начавшийся процесс распада прапермской языко- вой общности: предки удмуртов начали обособ- ляться от предков коми и коми-пермяков [19, 15].

Вероятно, значительное развитие в тот же период получили миграции у обских угров и само- дийцев. В связи с этим, по-видимому, и началось выделение прамансийского и прахантыйского язы- ков из обско-угорской общности (П.Хайду датирует начало этого процесса именно последними веками до н.э.). Самодийцы достигли Алтайского нагорья. Вполне вероятно, что эти переселения также были связаны с появлением относительно избыточного населения вследствие нехватки продуктов питания из-за ухудшившегося климата. Очевидно, эти ин- тенсивные миграции стали шагом к распаду праса- модийской общности на северную и южную под- группы. Завершился этот распад – равно как и раз- деление обско-угорских языков – позднее, когда

климат стал снова меняться. П.Хайду относит распад самодийцев на северную и южную подгруппы и завершение разделения прахантыйского и прамансийского языков к первым векам нашей эры [12].

Можно предположить, что это произошло вследствие климатических изменений. Климат в первой половине I тыс. н.э. оставался неустойчивым, потепления чередовались с похолоданиями; наблюдались и существенные региональные различия. Похолодания вызывали увлажненность почв, затопление пойм, заболачивание, ограничивая природные ресурсы и вынуждая население либо менять тип хозяйствования, либо мигрировать в более благоприятные южные регионы [6, с. 261]. Вероятно, эти процессы сказались на усилении миграционной активности обских угров и самодийцев. Но и частичные потепления также вызывали миграции, но уже обратной направленности, когда, с одной стороны, кочевые южные народы, следуя за отступавшими на север степями, стали теснить прасамодийцев (Л.Н.Гумилев писал, что, в частности, III в. н.э. был весьма засушлив для всей степной зоны Евразии, что вызвало значительные миграции хуннов [7, с. 200]); с другой стороны, более северные регионы Сибири становились приемлемее для обитания, и часть самодийцев и обских угров переселялась туда.

С вызванными колебаниями климата, переселениями хуннов непосредственно связана, вполне возможно, и история протомадьяр. Л.Н.Гумилев предположил, что одна из ветвей хуннов, переселившаяся на запад в середине II в. н.э., «перемешалась с уграми Волго-Уральского междуречья и превратилась за 200 лет в восточно-европейский этнос, который... принято называть «гуннами»» [7, с. 218 – 219]. В связи с этим предположением уместно вспомнить о созвучии названий этих народов: Hun-garus (венгры) и Hunni (хунны, гунны); как пишет П.Хайду, первая согласная в названии «Hungarus» заимствована у хуннов (гуннов) [16, с. 34]. Не исключено, что часть протомадьяр (или угров, как выразился Л.Н.Гумилев) могла действительно смешаться с хуннами. Остальные протомадьяры под давлением последних переселились в другой регион; вероятно, появление протомадьяр в Башкирии было связано именно с этим и произошло во второй половине IV – первой четверти V в. н.э., когда миграции хуннов (гуннов) особенно активизировались вследствие наступившей кульминации временного усыхания степей на западе [13, с. 45; 7, с. 200]. В конце IV в. одна из групп протомадьяр, уходя от напора хуннов, переселилась в Северное Прикамье (Кунгурскую лесостепь), оказав влияние на местные племена [7, с. 276–277].

Климатическая ситуация, меж тем, вызвала к жизни новую волну миграций, на сей раз тюркских народов. Под их влиянием протомадьяры постепенно уходят из Башкирии в южнорусские травянистые степи, а оттуда дальше на запад [16, с. 16, 196]. Вызванные климатическими изменениями миграции, вошедшие в историю как Великое переселение народов, сыграли свою роль и в этногенезе марийцев. Давление разноразличных кочевников, а также, вероятно, славянских (или славяно-германских) племен из Северного Причерноморья,

вторгавшихся в районы обитания прафинно-волжских народов и на соседние с ними территории в III и в конце IV в., вызвало отход живших на границе леса и лесостепи местных племен на север – по Суре и Оке к Волге, затем в Поволжье и на Большую Кокшагу. В приволжской части Окско-Сурского междуречья и в Поволжье в последующее время (V–VII вв.) произошло формирование древних марийцев. Можно предположить, что обособление предков марийцев и родственной им мери (самые ранние мерянские памятники относятся к VI в.) также стало следствием Великого переселения народов (см. «Финно-угры Поволжья и Приуралья в средние века. Ижевск, 1999», с. 26, 30, 36, 38, 202–203 и др.).

Существенное значение имели переселения той эпохи и в этногенезе мордвы: исследователи отмечают миграции цинско-мокшанских племен на территории расселения верхнесурской и окско-сурской мордвы, следствием которых стала значительная трансформация культуры местного населения. Видимо, и обособление мещеры и муромы от древнемордовских племен также явилось следствием бурных миграционных процессов той эпохи (см. «Финно-угры Поволжья и Приуралья в средние века», с. 86, 117–118, 126–127).

Не избежали воздействия миграционных процессов и прадумуртские племена. Выше уже говорилось о миграции протомадьяр в Прикамье в конце IV в. Появились здесь и древнеславянские племена, и еще одна группа угров из Зауралья (на рубеже VI–VII вв.). А древнеудмуртские племена, обитавшие в междуречье Уфы и Белой и в бассейне р. Тулвы, в результате массового притока иноязычных зауральских и южноуральских переселенцев, в VI–VII вв. были либо ассимилированы, либо были вынуждены отойти к северу и западу [6, с. 285, 289, 309]. Вероятно, с давлением пришлового населения связано заселение предками удмуртов верхнего течения р. Чепцы во второй половине V в. или на рубеже V–VI вв., о чем пишут Р.Д.Голдина («Древняя и средневековая история удмуртского народа», с. 364) и М.Г.Иванова («Финно-угры Поволжья и Приуралья в средние века», с. 208–209).

Даже в отдаленные районы Европейского Северо-Востока в V–VI вв. вторглись группы скотоводческого населения, которые археологи связывают с южными кочевниками-скотоводами, возможно, добравшимися сюда из степей Южного Зауралья; этническая принадлежность их дискуссионна. Это могли быть племена, имевшие отношение к гуннскому союзу, угорские народы, тюрки или смешанные по составу переселенцы, которые, видимо, слились с коренными обитателями края, войдя в состав населения вновь возникавших объединений. По мнению археологов, с вторжением кочевников связано разделение единой общности предков коми и коми-пермяков на две разные, одна из которых располагалась в Вычегодском крае и на верхней Мезени, вторая – в Прикамье [1].

На нижней Оби, Печоре и верхней Вычегде появились угры и самодийцы, по мере потепления климата двигавшиеся на север и северо-запад. О довольно позднем появлении самодийцев в полярных районах свидетельствуют языковые данные [7;

8, с. 106; 22 и др.]. Это и логично. Подобные миграции могли произойти лишь во время или, по крайней мере, в преддверии климатического оптимума. Аналогичным образом происходили, очевидно, и переселения обских угров.

«Великое переселение» непосредственно затронуло и южную часть расселения прибалтийско-финских племен. Так, исследователи отмечают вызванные переселениями народов военные столкновения, происходившие в середине I тыс. н. э. в Эстонии (где, замечу в скобках, жители занимаются земледелием, переход к которому был вполне логичен в менявшихся климатических условиях). Может быть, с этим связан отток части населения в IV–VII вв. из Восточной Эстонии в Ингерманландию [15]. Быть может, с «великим переселением народов» связано и начало процесса распада прибалтийско-финской общности, имевшего место, по мнению ряда исследователей, в VI–VIII вв. [12, с. 91]. На лингвистической карте Европы появились предки ливов, эстонцев, ижоры, вепсов, карел и финнов.

«Великое переселение» не затронуло разве что нынешних территорий Карелии и Финляндии, куда волна степняков, очевидно, не дотянулась. Но и здесь переселения происходили довольно активно. Постепенное потепление климата благотворно сказалось на развитии хозяйства и демографических процессах. Уже в первой половине I тыс. н.э. стало расти население, создавались новые поселения, расширялась заселенная территория. Предки финнов, вепсов и карел постепенно переселялись на север, становившийся все более благоприятным для жизни. Освоившиеся там ранее саамы отступали севернее. По мере потепления, более успешного развития хозяйства и роста населения ширилась миграционная активность, увеличивалась заселенная прибалтийско-финскими племенами территория. Заселив Карельский перешеек и Прионежье, они все интенсивнее проникали на территорию Финляндии, продвигались в сторону Кольского полуострова и Белого моря [15, с. 269; 12, с. 92, 111].

Впереди были малый климатический оптимум, сыгравший огромную роль в формировании ряда финно-угорских этносов, и малый ледниковый период, который привел финно-угров едва ли не к повсеместной демографической катастрофе. Но это – тема для специальной статьи.

Статья подготовлена при поддержке программы фундаментальных исследований ОИФН РАН «Генезис и взаимодействие социальных, культурных и языковых общностей», проект «Роль изменений климата в этнодемографической истории финно-угорских народов России».

Литература

1. Борисенков Е.П., Пасецкий В.М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М., 1988.
2. Дулов А.В. Географическая среда и история России. Новосибирск, 1983.
3. Жеребцов И.Л. Изменения климата и демографические процессы в Коми крае // Европей-

ский Север: взаимодействие культур в древности и средневековье. Сыктывкар, 1994.

4. Жеребцов И.Л. Тысячелетие народа коми: время, климат, человек // Природа, 2000. № 7.
5. Lamb H.H. Climate: Present, past and future. London, 1881. Vol. 1, 2.
6. Landcebery N.E., Dooglas K. Fragmentary accounts at weather and climate in America (1000-1670 DC) and on coastal storm to 1825 // Technical Note BN-1029. University of Mercuryland, 1984. XI.
7. Археология Республики Коми / Отв. ред. Э.А.Савельева. М., 1997.
8. Атлас Республики Коми. М., 2001.
9. Голдина Р.Д. Древняя и средневековая история удмуртского народа. Ижевск, 1999.
10. Контлер Л. История Венгрии. М., 2002.
11. Напольских В.В. Введение в историческую уралолистику. Ижевск, 1997.
12. Хайду П. Уральские языки и народы. М., 1985.
13. Халиков А.Х. Древняя история Среднего Поволжья. М., 1969.
14. История Карелии с древнейших времен до наших дней / Ред. Н.А.Кораблев, В.Г.Макуров, Ю.А.Савватеев, М.И.Шумилов. Петрозаводск, 2001.
15. Прибалтийско-финские народы. История и судьбы родственных народов / Сост. М.М.Йокиппи. Ювяскюля, 1995.
16. Хотинский Н.А. Голоцен Северной Евразии. М., 1977.
17. Вереш П. Проблема определения финно-угорской прародины в свете новых данных // Ранние этапы этнической истории и современный физический облик финно-угров. М., 2001.
18. Гумилев Л.Н. Этногенез и биосфера Земли. Л., 1990.
19. История Урала с древнейших времен до 1861г. / Отв. ред. А.А.Преображенский. М., 1989.

АРХЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ТУНДРАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРО-ВОСТОКА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

А.М. МУРЫГИН

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

Проводились археологические исследования в районах намечаемой эксплуатации и обустройства нефтяных месторождений в Ненецком автономном округе Архангельской области. В результате разведочных работ в прибрежной и континентальной частях тундровой зоны было открыто 49 новых разновременных древних памятников. Определены риски, которые могут привести к разрушению археологических памятников, приуроченных к уязвимым территориям промышленного освоения. Установлены закономерности размещения памятников археологии, выделены основные факторы, негативно влияющие на сохранность объектов археологии, расположенных в специфических условиях тундровых ландшафтов, разработаны рекомендации по их охране.

Ключевые слова: охранные археологические исследования, крайний северо-восток европейской части России, Архангельская область

A.M.MURYGIN. ARCHAEOLOGICAL RESEARCHES IN TUNDRA OF THE EXTREME NORTHEAST OF THE EUROPEAN RUSSIA

Prospecting archaeological researches in areas of the planned exploitation of oil fields in the Nenets Autonomous Area of Arkhangelsk Region were carried out. As a result of prospecting works in the coastal and continental part of the tundra zone 49 new archeological sites of different ages were discovered. Factors which can lead to destruction of the archaeological sites are defined. Regularities of distribution of archaeological sites are established, the major factors negatively influencing preservation of archaeological sites located in specific conditions of the tundra landscapes are singled out, recommendations on their protection are developed.

Key words: rescue archaeological researches, the extreme northeast of the European Russia, Arkhangelsk region

Археологические работы в Печорском Заполярье представляют исключительный интерес для решения ряда актуальных научных проблем и прежде всего этногенеза народов, населявших этот обширный край в далеком прошлом. Однако, несмотря на почти 200-летнюю историю изучения, эта территория европейской части России до сих пор остается одним из наиболее слабо археологически представленных регионов на карте нашей страны. В период 1992-2007 гг. полевые исследования по изучению археологической составляющей культурного наследия коренных этносов Крайнего Севера в основном выполнялись специалистами отдела археологии Института языка, литературы и истории Коми научного центра УрО РАН. Позитивным моментом здесь служит договорная организация охранных археологических работ в зонах промышленного освоения северо-востока Архангельской области.

Археологические разведки на побережье Баренцева моря, в континентальной и прибрежно-береговой частях Малоземельской и Большеземельской тундр проводились Северным (А.М. Мuryгин), II Северным (М.В. Кленов) и Палеолитическим (П.Ю. Павлов) отрядами. Сначала они выполнялись в рамках мероприятий по процедуре ОВОС (Оценка воздействия на окружающую среду) в рай-

онах намечаемой эксплуатации и обустройства Приразломного нефтяного месторождения (от п-ова Канин на западе до островов Новая Земля на востоке), Ардалинского комплекса и Варандейской группы месторождений (1992, 1993 гг.). Позднее аналогичные работы были проведены по программе археологической экспертизы строительства и обустройства нефтяных месторождений и коридоров проводки межпромысловых путепроводов различного типа в НАО Архангельской области (2005-2007 гг.). Первые результаты исследований частично опубликованы [1-2].

Археологические исследования в указанных районах ранее практически не проводились. Из числа уже известных объектов археологии можно отметить случайные сборы древних вещей на п-ове Канин, в устье р. Индига, на р. Колва и на мысе Синькин Нос [3-4]. Древние поселения, местонахождения и святилища были обнаружены на северо-западном, западном и южном побережье о-ва Вайгач [5-8], на побережье пролива Югорский Шар [9].

Итогом разведочных работ стало открытие 49 новых археологических памятников, приуроченных к 13 участкам в районах промышленного освоения (рис. 1). В них при договорных работах было выявлено: в 1992 г. – 20, в 1993 г. – 15 местонахождений

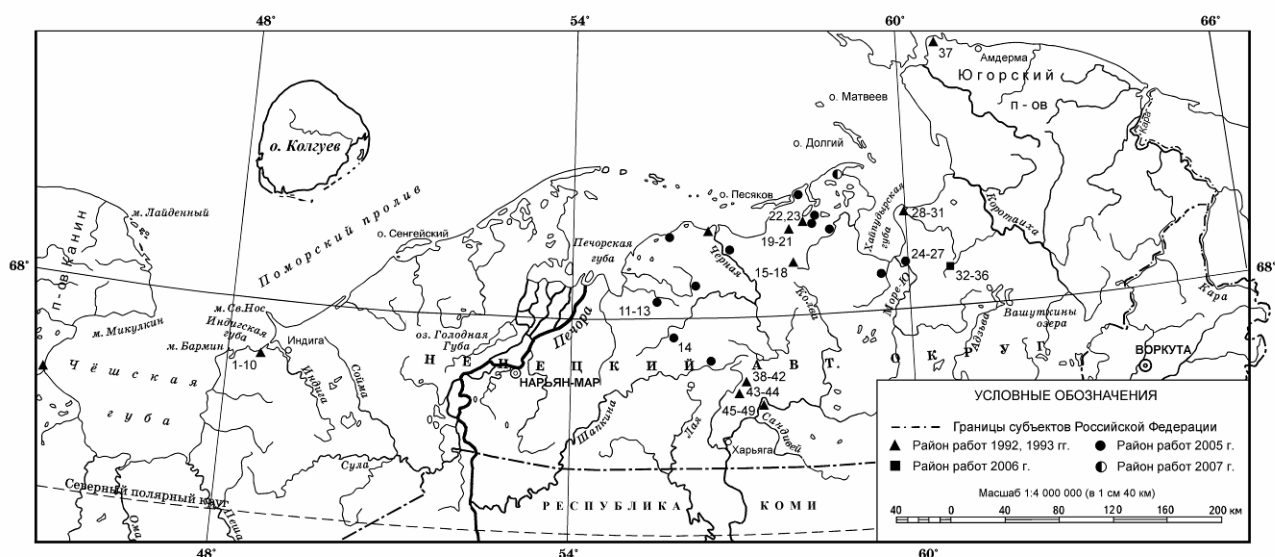


Рис. 1. Карта районов работ археологических отрядов Института языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН в местах промышленного освоения и зонах экологического риска материковой части Ненецкого автономного округа Архангельской области. Список выявленных археологических памятников: 1-10 (Княжья Губа, Ручей Безымянный, Покойничный, Покойничный I, Лямчин I-VI), 11-13 (Ярейтарка I-III), 14 (Росихина), 15-18 (Наульто, Наульяха I-III), 19-21 (Пярцарьяха I-II, Варкнивьяха), 22-23 (Нэбтеяха I-II), 24-27 (Яйяха I-IV), 28-31 (Талотаяха I-IV), 32-36 (Сарембой I-V), 37 (Лакорсаля), 38-42 (Кывтантывис I-V), 43-44 (Кывтан I-II), 45-49 (Колва I-V).

и стоянок эпохи камня, раннего металла, средневековья, остатки погребений более позднего времени и, видимо, поморской промысловой избушки. В 2005 г. найдено девять, в 2006 г. – пять разновременных археологических памятников.

Большинство из вновь найденных памятников археологии – стоянки с разрушенным культурным слоем и на их месте расположены котловины выдувания (яреи). Только некоторые из них могут быть подвергнуты стационарным раскопкам в дальнейшем. Однако, несмотря на свою малочисленность и фрагментарность, инвентарь памятников, например, эпохи железа (Наульто, Нэбтеяха I и II, ряд пунктов на р. Яйяха, Талотаяха и др.), позволяет определить их датировку, а также очертить известные к настоящему времени восточные, западные и южные границы распространения сходной глиняной посуды (рис. 2, 16-22, 24-28, 30-35). Аналогичная ситуация характерна и для стоянок эпохи камня и раннего металла (рис. 2, 1-15, 23, 29). Вместе с тем, работы показали научную значимость полученных источников, перспективность и целесообразность дальнейшего поиска здесь памятников археологии. Это связано не только с решением профессиональных задач северной археологии, но и расположением объектов археологии на уязвимых территориях районов промышленного освоения.

Исследование найденных объектов археологии показало, что предметы древней материальной культуры (рис. 2), независимо от их культурно-хронологического положения, залегали на небольшой глубине от поверхности, непосредственно под тонким мохово-лишайниковым покровом. Культурно-содержащие отложения представлены кровлей верхнего горизонта почвы, сложенного песками, супесями и супесями с галечником. Отсюда объективно вытекает повышенная уязвимость памятников археологии к различным внешним воздействи-

ям на их площадь. Они разрушают культурный слой и могут привести к необратимым изменениям археологического компонента окружающей среды и тем самым нанести существенный урон археологическому наследию коренных этносов.

Судя по состоянию памятников археологии, обнаруженных в ходе полевых исследований, можно выделить не менее трех основных факторов риска для археологического наследия. Они могут воздействовать на объекты археологии как по отдельности, так и вместе, быть адекватны по степени воздействия на археологический ландшафт*, либо один из них имеет преобладающее значение. К ним относятся: антропогенный фактор, непосредственно связанный с действиями по промышленному освоению территории; природный, обусловленный естественным разрушением поверхности в результате ветровой эрозии почвы; антропогенный, связанный с традиционным природопользованием коренного населения.

В выборе древним человеком мест обитания были прослежены закономерности, которые необходимо учитывать инициаторам хозяйственной деятельности при обустройстве и эксплуатации нефтяных месторождений. Пункты с находками археологического материала тяготеют к водотокам различного типа – виски, ручьи, реки. В числе археологически перспективных элементов природного ландшафта следует рассматривать: относительно сухие участки тундры, часто в виде бугров или останцов, приуроченные к песчаным (супесчаным) краям речных и озерных террас, независимо от высоты последних над уровнем воды; одиночные, под-

* Археоландшафт (археологический ландшафт) – подразумевает неразрывную взаимосвязь археологических объектов и окружающего природного ландшафта.

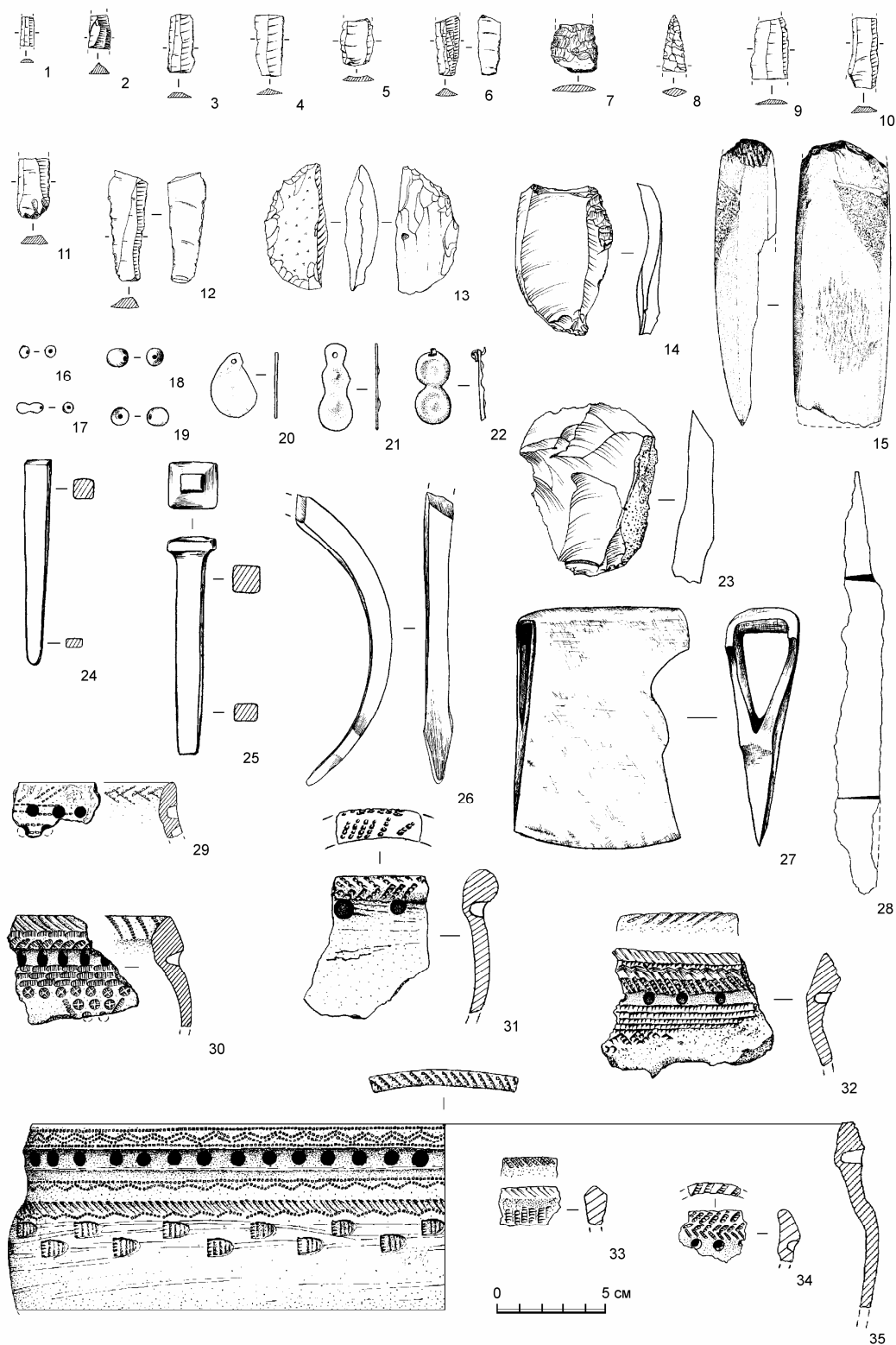


Рис. 2. Вещевой инвентарь археологических памятников: 1-3 – Кывтантывис IV; 4-6 – Кывтантывис V; 13, 15, 29 – Кывтан I; 7, 8 – Кывтантывис II; 9-12 – Кывтантывис III; 14, 23 – Лямчин V; 16-22, 27 – Талотаяха I; 24-26 – Талотаяха III; 28 – Талотаяха II; 30 – Наульто; 31 – Лямчин III; 32 – Покойничный I; 33, 34 – Талотаяха IV; 35 – Нэбтеяха I (1-14, 23 – кремнь, 15 – сланец, 16-19 – стекло, 20-22 – бронза, 24-28 – железо, 30-35 – керамика).

нимающиеся над плоской тундрой, невысокие сопки конической формы и узкие валовобразные возвышения у края озера; топографически выделяющиеся элементы природного ландшафта в виде мысовидных участков берега; площади, тяготеющие к устьям и истокам рек и ручьев. Можно полагать, что рас-

пространение объектов археологии в местности, не отвечающие в полной мере указанным выше характеристикам природного ландшафта, имеет достаточно низкую степень вероятности, хотя и не сводит ее до такого уровня, которым можно было бы полностью пренебречь.

Основываясь на наблюдениях над особенностями пространственного размещения археологических объектов в районах хозяйственного освоения, можно высказать следующие предположения. Из числа обследованных, к наиболее вероятным участкам высокой археологической нагрузки относятся бассейны рек Индига, Колва, Ярейтарка, Варкнивьяха, Нзетяха, Море-ю, Сарембой-яха, а также все долины крупных рек и берега озер, попадающие в районы месторождений Варандейской группы. В прибрежной полосе Баренцева моря наиболее древние памятники расположены непосредственно на побережье, более молодые – на расстоянии до 4-5 км от береговой линии. Дельтовые зоны крупных рек и низменные прибрежные районы примерно до 10 км в глубину материка до абсолютных отметок 18-23 м имеют очень малую вероятность нахождения археологических памятников. Напротив, средневысокие участки побережья (р. Индига, мыс Синькин Нос, Югорский п-ов, западное побережье о-ва Вайгач) отличаются значительной концентрацией памятников археологии, расположенных непосредственно на побережье и в устьевых частях рек на аллювиальных террасах. Можно полагать, что в восточной части п-ова Канин зона охраняемого археоландшафта должна начинаться с участков территории, имеющих абсолютные отметки 20 м и выше. В устье рек Индига и Черная, на восточном берегу Хайпудырской губы и на Югорском п-ове, о-ве Вайгач охранный участок должен начинаться непосредственно с побережья. С точки зрения сохранения археологического наследия в безусловной охране нуждаются районы оз. Наульто и оз. Кыванто – Кыванты-Хасырей.

Наиболее эффективным и результативным способом сохранения археологического наследия в районах промышленного освоения с легко "ранимым" и долго восстанавливаемым тундровым растительным покровом может являться комплекс превентивных мер. Они должны включать разработку режимов и зон охраны, зон регулирования застройки и зон охраняемого природного и археологического ландшафтов, выявление (разведка) памятников археологии и охранных археологических раскопок в зонах промышленного риска. Необходимо четко осознавать, что в противном случае может произойти полная утрата многих археологических памятников, которые в отличие от целого ряда других компонентов окружающей среды визуально крайне редко фиксируются, не реконструируются и не восстанавливаются. Антропогенные воздействия на объекты археологии без охраны и изучения всегда имеют тенденцию к неотвратимым для них отрицательным последствиям.

При оценке вероятных отрицательных воздействий на археоландшафт территории необходимо учитывать тот факт, что антропогенные воздействия на него не ограничены исключительно формальными границами производства намечаемых работ. Установлено, в частности, что зоны риска для памятников археологии и археологического ландшафта в целом шире, чем участки территории, отводимой под размещение объектов промышленного строительства и их инфраструктуры. Кроме того, охрана объектов культурного наследия в силу

разных причин характеризуется низким уровнем контроля со стороны соответствующих органов государственной власти, особенно на удаленных, малонаселенных и труднодоступных территориях. Эти обстоятельства повышают ответственность государственных органов охраны и инициаторов деятельности по обеспечению правильного регулирования взаимодействия между объектами археологии и строительства. Они ставят перед ними совместно с профильными специалистами проблему разработки и проведения в жизнь мониторинга состояния археологического ландшафта на всех стадиях проектирования, строительства и эксплуатации нефтяных месторождений, а также подготовку сценариев аварийных ситуаций. Реализация такого мониторинга в совокупности с отмеченными превентивными мерами поможет, как минимум, снизить отрицательные последствия от неизбежных антропогенных нагрузок на древние памятники и археологически перспективные участки территории промышленного освоения и эксплуатации.

Литература

1. *Мурыгин А.М.* Новые средневековые памятники севера европейских тундр // *Этнокультурные процессы в древности на Европейском Северо-Востоке (источники и исследования)*. Сыктывкар, 1999. С. 66-75 (Материалы по археологии Европейского Северо-Востока; Вып. 16).
2. *Мурыгин А.М.* Изучение проблемы антропогенного воздействия на археологические памятники // *Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения: Матер. Межд. конф. Т. 2.* Архангельск, 2002. С. 1034-1038.
3. *Лузгин В.Е.* Археологические находки на побережье Чешской губы и полуострова Канин // *Историко-филологический сборник.* Сыктывкар, 1963. Вып. 8. С. 99-102.
4. *Чернов Г.А.* Атлас археологических памятников Большеземельской тундры. М.: Наука, 1985. 169 с.
5. *Иванов Г.В.* Находки каменных орудий на островах Европейской Арктики (1989-1992) // *AD POLUS.* СПб., 1993. С. 47-54.
6. *Хлобыстин Л.П.* Святилища Вайгача // *AD POLUS.* СПб., 1993. С. 15-18.
7. *Хлобыстин Л.П., Питулько В.В., Станюкович А.К.* Древнее поселение приморских охотников Карпова Губа на о-ве Вайгач // *Взаимодействие культур Северного Приуралья в древности и средневековье (Материалы по археологии Европейского Северо-Востока; вып. 12).* Сыктывкар, 1993. С. 116-127.
8. *Pitulko V.V.* Archaeological Data on the Maritime Cultures of the West Arctic // *Fennoscandia Archaeologica*, 1991. P. 23-34.
9. *Каган М.М., Питулько В.В.* Этнокультурные процессы I тыс. н.э. в Трансуральском Заполярье // *AD POLUS.* СПб., 1993. С. 103-109.

УДК 338.984

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗВИТИЕ (ПРИМЕРЫ СЕВЕРА И АРКТИКИ)

В.Н. ЛАЖЕНЦЕВ

*Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера
Коми НЦ УрО РАН, г.Сыктывкар*

Пространственное развитие показано как формирование и качественное преобразование природно-хозяйственных систем. Его методология базируется на исследовательском опыте социально-экономической географии и региональной экономики и ориентирована на генерацию научных знаний о природе и обществе. Роль Севера и Арктики в пространственном развитии России определена относительно решения проблем формирования внутреннего рынка и межрегиональной интеграции.

Ключевые слова: пространство, развитие, широтная зональность, меридиональные мегаструктуры, интеграция

V.N.LAZHENTSEV. SPATIAL DEVELOPMENT (NORTH AND ARCTIC REGIONS AS EXAMPLES)

Spatial development is shown as formation and qualitative transformation of natural-economic systems. Its methodology is based on research experience of social and economic geography and regional economy and is focused on generation of scientific knowledge of the nature and society. The North and Arctic regions role in spatial development of Russia is defined concerning the solution of problems of formation of home market and inter-regional integration.

Key words: space, development, latitudinal zonality, meridional megastructures, integration

Пространство в общенаучном плане рассматривается как форма существования материи, структурность и протяженность материальных систем. Применительно к социально-экономической сфере это понятие конкретизируется через изучение определенных общественных процессов: освоение территории, ее обживание, размещение производства, расселение населения, улучшение экономико-географического положения районов и городов. Экономический смысл имеют преодоление расстояний, взаимодействие центра и периферии, оформление конфигурации хозяйственных систем и др. Пространство оценивается как благо и соизмеряется с другими материальными и духовными ценностями. Экономическая наука все чаще оперирует такими понятиями, как «единое экономическое пространство», «приватизированное пространство», «пространственное поведение», «экономическая плотность», «хозяйственная функция места», «социальная функция географической среды» и т.п.

К фундаментальным относится и понятие «развитие». Его общенаучная трактовка – смена состояний, переход от структуры одного качества к структуре другого качества, усложнение организации, целенаправленная и управляемая эволюция – в каждой науке приобретает особое содержание. Так, применительно к региональной экономике «развитие» определяется как экономико-географический

процесс формирования и качественного преобразования районных хозяйственных систем [1]. В данной науке внимание фиксируется на системообразующем воспроизводстве территориального потенциала жизнедеятельности и оптимальной мобилизации возможностей конкретного региона с учетом его характеристик и способностей населения к инновациям [2].

В первом приближении *пространственное развитие* можно определить как согласованные прогрессивные изменения в освоении и воспроизводстве природных ресурсов, размещении и внутреннем содержании производительных сил, в расселении населения и обустройстве среды жизнедеятельности. Актуализация теории и методологии «пространственного развития» обусловлена возвышением роли междисциплинарного синтеза. Предметом научного исследования становятся как природные, так и общественные сферы. Интеграция знаний о геологической, геофизической, гидрологической, биологической, воздушной, технической, экономической, социальной, политической и других сферах является ныне необходимым условием изучения совокупных условий жизнедеятельности [3] и решения проблем повышения качества жизни людей [4].

Изучение проблем пространственного развития актуально для всех стран, но особенно для России. Ее большие размеры и евразийское положение обуславливают целесообразность соединения про-

блематики внутреннего устройства страны и меж-
страновых связей. Особое значение для России
имеет ее северность: 11 из 17 млн.км² (64,7%) от-
носятся к районам Крайнего Севера и местностям,
к ним приравненным. Здесь сосредоточено почти
80% минерально-сырьевого потенциала, огромная
зона бореальных лесов (5,5 млн.км²) и другие важ-
нейшие природные ресурсы. Они дают положи-
тельную ренту, за счет которой формируется около
70% золотовалютного резерва нашей страны. С
отрицательной же рентой связаны такие характе-
ристики северности, как низкие температуры возду-
ха, большая продолжительность зимнего периода,
низкий радиационный баланс, широкое распро-
странение мерзлоты, слабая освоенность, очаго-
вость расселения населения, значительные рас-
стояния и повышенные транспортные затраты.
Г.А.Агранат (один из основоположников северове-
дения) подчеркивал значение северных территорий
в качестве резервного фактора развития мирового
сообщества, что обуславливает необходимость на-
учно-обоснованного нормативного подхода к ре-
ализации их этнологических, природно-ресурсных и
экологических функций [5].

К исходным положениям изучения Севера под
углом зрения пространственного развития нужно от-
нести также разнообразие северов, широкий диапа-
зон оценок их роли во внутрисредиземном и мировом
хозяйстве. Северные и арктические территории вос-
принимаются как единое целое лишь в циркумполяр-
ной проекции относительно холодного климата, при-
родно-ресурсной насыщенности и этнических особен-
ностей. Во всех других измерениях они весьма раз-
личны. В физико-географическом – широтная много-
зональность, азональность горных территорий, ре-
ликтовые ландшафты и т.д. В геополитическом – при-
надлежность северов к конкретным национальным
сообществам. В экономико-географическом – различ-
ная степень освоенности и обжитости северных про-
странств, значительный «разброс» норм и нормати-
вов хозяйственной деятельности, мозаичность раз-
мещения производства и расселения населения.

С включением в пространственную тематику
Севера и Арктики мы связываем решение проблем
геополитики и территориального устройства нацио-

нальной экономики, вытекающих из блочной структу-
ры мирового хозяйства, размещения в России круп-
ных научно-технологических комплексов и фор-
мирования «пересекающихся» хозяйственно-гео-
графических систем (широтных и меридиональных).
Вместе с тем, северо-арктический вектор данной те-
матики связан с проблемами развития региональных
и локальных хозяйственных систем, вытекающих из
необходимости особо (с точки зрения экономической
науки) учитывать научное наследие учений о геосис-
темах и природно-хозяйственных комплексах.

Исходные положения методологии пространственного развития

Как показал акад. А.Г.Гранберг [3], наука о
пространственном развитии в настоящее время
охватывает в плане натуры – территорию, акватори-
ю и аэроторию (суша, вода, воздух); в научно-
исследовательском плане – эволюцию строения
интегральных природно-хозяйственных систем.
Расширенное толкование категории «пространст-
венное развитие», наполненное его природным и
социально-экономическим содержанием, по всей
вероятности, приведет к новым теориям и моделям
организации взаимосвязи между природой и обще-
ством. Пока же, по нашему мнению, желательно
«пространственное развитие» соотнести с уже ши-
роко употребляемыми категориями: «комплекс-
ное...», «региональное...», «территориальное...»
развитие. С методологической точки зрения про-
странственное развитие целесообразно рассмат-
ривать по принципу матрешки: внутри находится
традиционная проблематика комплексного соци-
ально-экономического развития стран и районов,
затем регионального развития, далее – territori-
ального (акваториального) развития и в ито-
ге – пространственного развития (табл. 1).

Таким образом, последовательно расширяет-
ся круг вопросов – от согласования элементов от-
дельно взятых районных хозяйственных систем
(РХС) к их интеграции и регионализации хозяйст-
венной деятельности, к воспроизводству природно-
ресурсных потенциалов территорий на геосистем-
ной основе и согласованию различных сфер в ра-
мках единого земного пространства.

Таблица 1

Предметное содержание «развития» в пространственной экономике

Виды развития	Направление деятельности	Примеры методик
Комплексное социально-экономическое развитие стран, районов и поселений (основа региональ- ной экономики как науки)	Согласование технологических, эконо- мических, социальных, экологических и информационных подсистем РХС	Концентры производства и инфраструк- туры. Межотраслевые и продуктовые балансы
Региональное развитие (первое дополнение)	Районирование, регионализация видов хозяйственной деятельности (напри- мер, нордификация) Межрегиональная интеграция	Оптимизационные межотраслевые и межрегиональные модели
Территориальное развитие (второе дополнение)	Воспроизводство природно-ресурсных потенциалов на геосистемной основе	Оптимизация использования природно- ресурсных сочетаний и моделирование природно-хозяйственных систем, в том числе ТПК
Пространственное развитие (расширение «поля» исследований)	Согласование предметных пространств в рамках единого земного пространства	Моделирование сетевых (линейно- узловых) хозяйственных структур

Классическим примером согласования в рамках хозяйственных систем является методика под названием «концентры Пробста» – балансовая разверстка использования территориальных ресурсов в связи с размещением конкретного производства и выбором его мощности. В региональном развитии большое методологическое значение имеют экономическое районирование и межрегиональная интеграция на основе построения оптимизационных межотраслевых и межрегиональных моделей (опыт Института экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения РАН). Обязательным условием изучения территориального развития является системный подход к оценке, использованию и воспроизводству природно-ресурсных потенциалов конкретных территорий. Здесь ярко проявляется значение геосистемной организации природы и общества. Поэтому учения о геосистемах (В.И.Вернадский, А.Е.Ферсман, Ю.Г.Саушкин, В.Н.Сукачев, В.Б.Сочава), территориально-производственных комплексах, энергопроизводственных и природно-ресурсных циклах (Н.Н.Колосовский, М.К.Бандман, И.В.Комар), функциях места (А.А.Минц, В.С.Преображенский) являются основополагающими в организации междисциплинарного синтеза.

Все перечисленное входит в рамки пространственного развития, но с обязательным дополнением изучения и моделирования сетевых структур. В данном случае классическими являются такие модели, как кольца Тюнена, штандорты Вебера, решетки Кристаллера, экономические ландшафты Леша, линейно-узловые системы Родмана, сетевые структуры производства Бакланова и др. Именно на основе указанных моделей экономгеографы развивают теорию *организации* пространства (см., например, [6]).

Совершенствование методологии практической реализации научных знаний о пространственном развитии связано с новым наполнением региональной статистики, геоинформатики, территориального планирования, геопланировки и географической экспертизы (табл.2). Не излагая подробно содержание указанных видов практик (оно достаточно полно раскрыто в научных публикациях [7, 8, 9, 10 и др.], обратим внимание на актуальность поиска показателей, отражающих именно *развитие*,

отличая их от показателей *структуры и функционирования*. В настоящее время лишь в общих чертах намечен переход от роста к развитию, от состава к структуре, от состояния к функционированию [11]. Только определенная комбинация статистических показателей может отразить реальные процессы пространственного развития, т.е. смены качества больших и малых природно-хозяйственных систем. Геоинформатика, по-видимому, не будет ограничена разработкой кадастров, а продвинется в сторону стоимостной оценки (в том числе рентной) природных ресурсов и составления соответствующих экономических карт. Территориальное планирование и проектирование нуждаются в совершенствовании нормативной базы, особенно в части норм взаимодействия государственного, муниципального и фирменного управления. В технологию территориального планирования необходимо включить и географическую экспертизу.

Север и Арктика в пространственном развитии России

В академической программе «Фундаментальные проблемы пространственного развития: междисциплинарный синтез» Север выделен в качестве особого раздела. Вместе с тем, северные территории и арктические акватории рассматриваются также и в других разделах программы – «Дальний Восток», «Сибирь», «Урал» и «Северо-Запад». Двойственное положение Севера как общего объекта междисциплинарных исследований и как составных частей указанных макрорегионов весьма примечательно. Оно ориентирует на реализацию основополагающего правила системного анализа, а именно – один и тот же ресурс (в том числе и пространство) в разных геосистемах имеет различные оценки. Именно данное положение позволяет более полно отразить позиции Севера относительно пространственного развития России.

Блочная структура мирового хозяйства. Вхождение России в мирохозяйственное и геополитическое устройство приобретает значение одного из ведущих факторов развития ее экономики. На первый взгляд, это кажется аксиомой, соответствующей естественно-историческим закономерностям

Таблица 2

Практическая реализация научных знаний о пространственном развитии

Виды практик	Основное содержание	Актуализация
Региональная статистика	Показатели регионального воспроизводства, включая природные ресурсы	Поиск показателей по линиям: от состава к структуре ; от состояния к функционированию; от роста к развитию
Геоинформатика	Природно-ресурсные кадастры и информационно-аналитические карты	Поиск новых методов отражения динамики развития природы, использования ресурсов и охраны окружающей среды
Территориальное планирование и проектирование	Пропорции регионального воспроизводства, развитие районов и городов	Разработка стимулов к мобилизации местных возможностей повышения уровня и качества жизни
Географическая экспертиза	Соответствие управленческих решений закономерностям развития региональных хозяйственных систем с учетом местной природной и социально-экономической специфики	Введение экспертологии в систему территориального управления

ствам географического разделения труда. Однако нельзя не принять во внимание особенности проявления общественных законов в обстоятельствах конкретного места и конкретного времени. С точки зрения «места» можно сказать, что Россия сама для себя является пространством мирового уровня. Что же касается времени, то заметим: страны более или менее безболезненно входят в мировую экономику и получают от этого стратегическую выгоду только в том случае, если они имеют внутренний порядок в организации своего пространства.

В настоящее время Россия дезинтегрирована. Это является следствием экономической политики в части выбора приоритета между внутренними и внешними рынками.

Экспортный сценарий стратегии развития российской экономики теперь уже не только теоретически, но и по факту – нереалистичен, хотя бы по причине сложившейся в последние десятилетия иерархической системы международных финансовых институтов, в которой исключается возможность равной конкуренции за инвестиции. По этой причине Россия, не виновная в текущем мировом финансовом кризисе, будет выходить из него с более весомыми потерями, чем многие другие страны.

Выбранный российскими политиками в 1990–2007 гг. приоритет межгосударственной интеграции над межрегиональной (внутрироссийской) привел к размежеванию отдельных территорий нашей страны по крупным мировым геополитическим блокам. Дальний Восток «вписался» в Азиатско-Тихоокеанский регион, Сибирь и Урал – в Среднеазиатский, Поволжье и Юг – в Ближневосточный, Северо-Запад – в Североевропейский, Центр – в центральную и восточную Европу. Экономические связи с соседними и дальними зарубежными странами стали более тесными, чем с внутренними регионами России. Такого рода блочная структура в условиях отсутствия должного внутреннего экономического порядка есть угроза национальной безопасности.

В советские годы размещение перерабатывающей и обрабатывающей промышленности было специально увязано с сырьевыми базами Севера. Из-за чрезмерного экспортного крена теперь эта связь во многом нарушена. В 2006 г. (перед финансовым кризисом) вывозилось 60% добываемой в стране сырой нефти, 55 – нефтепродуктов, 35 – газа, 26 – угля, 18 – железной руды и 48 – стали, примерно 80% – минеральных удобрений. Мощности же отечественной обрабатывающей промышленности загружены крайне недостаточно: на 76% в нефтепереработке, 25 – оловометаллургии, 13 – в производстве металлорежущих станков, 23 – кузнечнопрессовых машин, 9% – тракторов. Усиление несбалансированности производственных мощностей по добыче и переработке ресурсов в конечном итоге приводит к нестабильности сырьевых рынков, что особенно отрицательно сказывается на социально-экономическом положении северных регионов [12].

Вопросы сбалансированности внутренних и внешних рынков, геополитических интересов разных стран, международной и межрегиональной интеграции могут быть решены более правильно, если основная часть сырьевых ресурсов континентального Севера будет перерабатываться внутри

России. Международные же ее обязательства по энергетическим ресурсам следовало бы выполнять в большей мере за счет совместного освоения прибрежной Арктики и арктических морей.

Арктический вектор геополитики и хозяйственной деятельности. Северная составляющая геополитического положения России усиливается за счет возрастания роли Арктики. По Северному Ледовитому океану, северным дальневосточным морям на протяжении 20 тыс. км проходит государственная граница Российской Федерации. В этой связи следует указать, что ледокольный, транспортный и аварийно-спасательный флоты, порты, навигационно-гидрографические и гидрометеорологические службы находятся в сложном, кризисном состоянии. Вместе с тем, наблюдаются попытки ряда государств расширить свое присутствие в Арктической зоне нашей страны, помешать реализации арктических интересов России, отстранить ее от участия в исследованиях Мирового океана, вытеснить с трасс Северного морского пути.

Согласие российского руководства, данное в 1997 г. на отмену секториального принципа в Арктике, было ошибочным. Этот принцип необходимо восстановить, тем более, что другие полярные страны, по-существу, его не отменяли. Конечно, Арктика является плацдармом международного сотрудничества. Если ресурсы ближнего и среднего Севера нуждаются в более жесткой привязке к национальной экономике ради формирования полноценного общероссийского рынка, то за этим должно следовать смещение центра тяжести во внешних экономических связях нашей страны в части минерально-сырьевых и топливных ресурсов именно в сторону Арктики [13]. Здесь природные условия столь сложны, а запасы полезных ископаемых и биоресурсов столь масштабны, что непременно требуется широкая международная кооперация, но с мобилизацией российского научно-технического потенциала и с установлением порядка, защищающего интересы нашей страны.

Вместе с тем подчеркнем, что защита военно-политических и экономических интересов должна сопровождаться государственными обязательствами в области социального, экологического и этнокультурного развития. Внешние и внутренние оценки общественного развития в Арктике весьма различны [14]. Первые опираются на идеи патернализма, вторые – саморазвития; в первом случае упор делается на государственные субсидии и субвенции, во втором – на внутренние источники и движущие силы развития [15]. Государственная политика в настоящее время не может не учитывать оба аспекта организации жизнедеятельности в Арктической зоне. Российский опыт интересен деталями районирования Севера и особого выделения Арктики, нормированием уровня дискомфорта; американский (относительно Аляски) – созданием экономической базы для местного населения; канадский – организацией этнического природопользования и земельного права; скандинавский и финский – сохранением традиционной культуры саамского населения; датский (относительно Гренландии) – предоставлением автономии политических прав и самоуправления.

Формирование широтных и меридиональных мегаструктур. Формирование пространственной структуры народного хозяйства России до сих пор было связано в основном с теорией экономического районирования и моделями программно-целевых территориально-производственных комплексов; в меньшей мере – с идеей транспортно-производственных каркасов и трасс освоения территорий; совсем незначительно – с широтной организацией хозяйства (наподобие выделения физико-географических зон). Научное объяснение процессов изучения, освоения и обживания северных территорий показало равнозначность указанных подходов. Кроме того, оно отразило конструктивность еще одного направления – меридионального.

Широтные социально-экономические полосы России. В настоящее время они зафиксированы в виде четырех северных зон дискомфорта: Арктика (абсолютно дискомфортная, чрезвычайно неблагоприятная), Субарктика (экстремально дискомфортная, очень неблагоприятная), приравненная к Крайнему Северу (дискомфортная, умеренно неблагоприятная), приравненная к Северу (относительно дискомфортная, относительно благоприятная). Нам представляется возможным северные зоны обозначить не только в научной литературе, но и в официальных документах названиями: Арктика, Дальний Север, Средний Север и Ближний Север (рис. 1). Кроме того, на территории России выделены еще две зоны: относительно комфортная (умеренно благоприятная) и комфортная (благоприятная).

Академические институты дали полные географические, климатические и медико-биологические характеристики условий жизнедеятельности в границах данных зон. Это служит основанием для использования такого рода характеристик, а также других сведений для оценки условий хозяйственной деятельности.

Меридиональные мегаструктуры. На наш взгляд, их нужно выделить особо, поскольку именно они определяют перспективные позиции Севера в пространственном развитии России. Они воспринимаются как результат естественно-исторического движения в направлении «Юг–Север». На экономической карте России весьма четко прослеживается огромная роль в организации ее пространства пересечений широтных железнодорожных магистралей с крупными реками меридионального направления и тихоокеанским морским путем. В точках пересечений выгодно размещать предприятия не только общероссийского значения, но и специально ориентированные на освоение Севера. Такая конструкция пространства будет укрепляться строительством новых железнодорожных магистралей, в первую очередь – Северосибирской, и модернизацией существующих – Транссибирской и Байкало-Амурской. В нее хорошо «вписывается» Северный морской путь, позволяющий осваивать новые территории в направлении «Север–Юг». Сочетание железнодорожных и водных путей дополняется строительством автодорог широтного и меридионального направления, а в ряде мест – новыми железными дорогами, соединяющими южные и север-



Рис. 1. Широтное районирование Севера России.

ные территории. В европейской части России отметим важнейшее значение «Белкомура», в азиатской – Амуро-Якутской железной дороги.

В интеграции пространства России важную роль могут сыграть такие мегаструктуры меридионального направления, как Тихоокеанская, Ленская, Енисейская, Обь-Иртышская, Восточно-Уральская, Западно-Уральская, Баренц-Балтийская (рис.2). Они выделяются без претензий на классическое экономическое районирование, но ради актуализации проблем наращивания транспортно-производственного каркаса России и совершенствования территориальной структуры ее народного хозяйства. Таковыми являются проблемы восстановления судоходства по крупным российским рекам, Тихому океану и Северному морскому пути, размещения производительных сил в предсеверной и ближне-северной зонах с целью экологической разгрузки опорной индустриальной полосы России.

Пример Западно-Уральского «меридиана» (от Печорского до Каспийского моря) показывает, что его выделение сопряжено с решением новых на-

Формирование территориальных научно-технологических комплексов. Значительную роль в организации пространственного развития играет теория полюсов роста (Ж.-Р.Будвиль, Ф.Перру, Л.Давен и др.). Она основана на агломерационных эффектах и диффузии нововведений (Г.Хагерstrand). В России эта теория долгое время не получала признания. Ей был противопоставлен принцип равномерного размещения производительных сил и выравнивания уровней развития крупных экономических районов. В итоге обе позиции (западная и отечественная) подвергались серьезной научной критике, как неправомерно претендующие на универсальность. Но отдельные удачные примеры «полюсов роста» (Силиконовая долина в Калифорнии, Академгородок в Новосибирске и др.) оказались «заразительными» для многих стран.

В стратегических планах развития России предусматривается создание ряда крупных технополисов со специализацией на «прорывных» технологиях и инновационных продуктах. Предпринята попытка обозначить их конкретно в ареалах Вла-

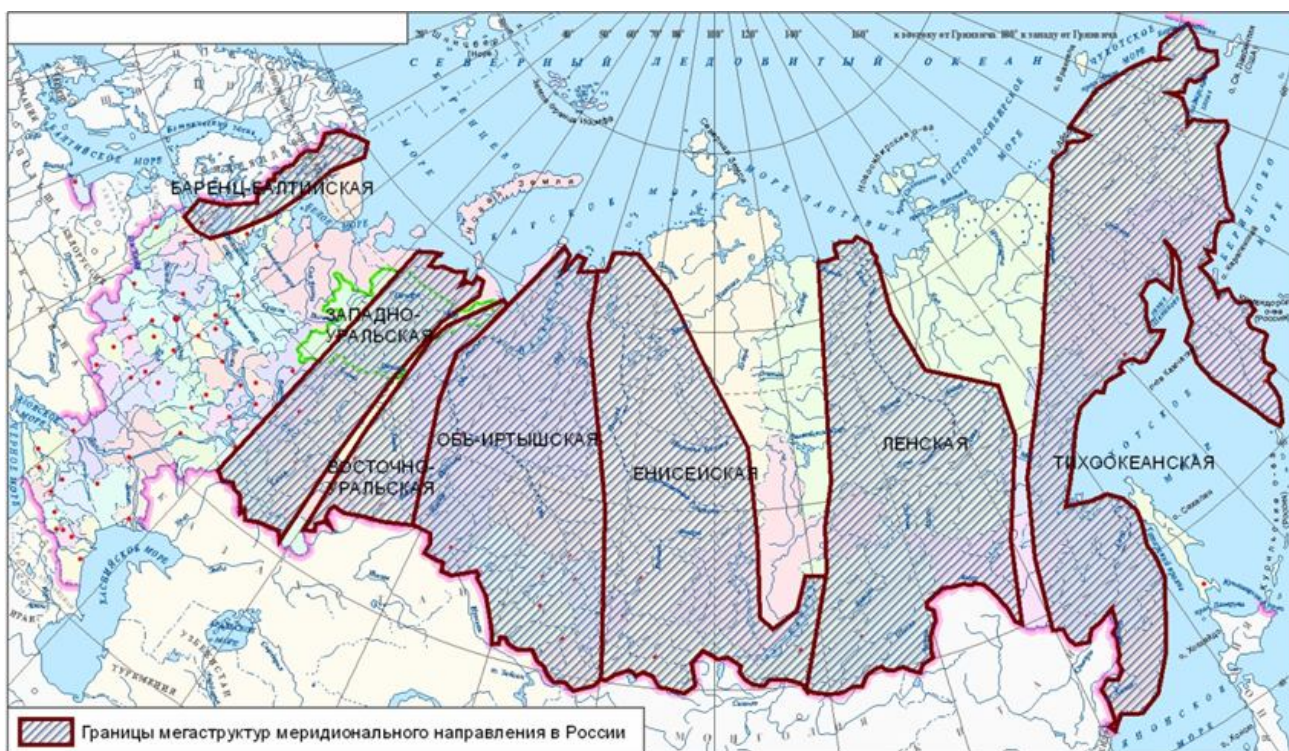


Рис.2. Мегаструктуры меридионального направления в России.

родно-хозяйственных вопросов: северная ориентация промышленного Урала, сбалансированное по ресурсам и экологической емкости развитие территорий Республики Коми и Пермского края, оптимизация территориально-производственной структуры нефтегазового сектора экономики (от Нарьян-Мара до Оренбурга), развитие транспортной сети с Севера на Юг и др.

Интеграция в рамках указанных меридиональных структур в какой-то мере является противовесом расколу пространства России и распределению его отдельных частей по мировым политико-экономическим блокам.

дивосток – Хабаровск, Новосибирск – Томск – Красноярск, Екатеринбург – Челябинск, Самара – Казань, Ростов-на-Дону – Краснодар, Москва – Московская область, Санкт-Петербург – Ленинградская область.

Министерство регионального развития РФ считает формирование указанных структур своей генеральной задачей. В «Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации» (версия Министерства экономического развития РФ – 2007) такое направление также обозначено, но дополнено более развернутой сетью территориально-производственных кластеров.

Ключевым для северных регионов в данном случае является вопрос – не уготовлена ли для них роль экстенсивного, традиционно сырьевого развития ради интенсификации и модернизации указанных производственно-технологических комплексов. При ограниченных людских и финансовых ресурсах именно так и может случиться. Поэтому, наряду с планами по формированию крупных технополисов в рамках опорного пространственного каркаса России, необходимо заявить о целесообразности и эффективности ресурсно-инновационного развития северной периферии со своими научно-технологическими кластерами и «полюсами роста».

Это возможно на основе высоких технологий в области энергетики и энергосбережения, добычи и обогащения полезных ископаемых (геотехнологии), получения жидкого синтетического топлива из углей, производства адсорбентов, комплексного использования парафина, этана, бутана, пропана, сероводородов и организации на этой основе производства полихлорвинила, пластмасс, газовой серы и других продуктов. Хорошие перспективы имеет производство различных видов керамик, каменное литье, выпуск базальтового и оптического волокон, искусственных кристаллов; биотехнология и лесохимия могут стать надежной основой социально-экономического развития таежных территорий.

Повышение уровня технологического развития природно-ресурсного сектора экономики и диверсификация производственной структуры, безусловно, сыграют положительную роль в сохранении Севера не только как энергетической и сырьевой базы, но и в качестве специфического жизненного пространства укорененного здесь населения.

Интеграция пространства и северный производственный опыт как ее дополнительное условие

Научное объяснение закономерностей географического разделения труда и размещения производительных сил позволило трактовать интеграцию как финальную стадию всех других форм общественной организации хозяйства – концентрации, специализации, комбинирования и кооперирования. Наука рекомендует практике уяснить значение объективных предпосылок для интеграции, суть которых заключается в следующем: по мере развития производительных сил, отдельно взятые отрасли теряют возможность ориентироваться лишь на оптимальные для себя варианты размещения производства; изолированное размещение отдельных предприятий становится невозможным точно так же, как и изолированное планирование развития отдельных регионов.

Интеграция происходит не сама по себе, а в результате целенаправленной деятельности, с помощью специальных институтов и особых методов регулирования хозяйства, например, координации и стимулирования. Взаимный интерес предприятий и регионов заключается в получении синергетического эффекта от общей деятельности.

Для практики полезна лишь непротиворечивая последовательность интеграции: сначала – вертикальная связь на технологической основе, за-

тем – ее горизонтальная корректировка с учетом возможностей консолидации потенциалов территорий для решения общих хозяйственных задач и далее – разработка совместных проектов.

Исходя из данного объяснения, северные и арктические ресурсы необходимо включать в сквозные технологические цепочки на всем общероссийском пространстве с учетом географических особенностей широтных и меридиональных мегаструктур. Это направление касается не только основных добывающих и перерабатывающих отраслей, но также и науки, методов строительства на мерзлых грунтах, ведения северного промыслового, сельского и парникового хозяйства, к вахтовому освоению природных ресурсов, созданию и эксплуатации зимних автодорог (зимников), к разработке и освоению техники в северном исполнении, образцов зимней одежды и обуви и т.п. То, что изучается и создается специально для Севера, затем не менее эффективно может использоваться в других местах, в первую очередь, в восточных регионах страны и предсеверных западных: Пермском крае, Кировской, Костромской, Ярославской, Вологодской, Тверской, Новгородской, Псковской и Ленинградской областях.

Особую позицию занимает взаимосвязь в области народонаселения. Предсеверные соседи в большей мере, чем южные регионы, приспособлены для расселения и проживания северных мигрантов. Это доказано многолетним опытом и рекомендациями медиков и физиологов о нецелесообразности при смене места жительства резко менять климатические условия жизни. С другой стороны, эти же регионы должны стать опорными в деле подготовки для Севера кадров.

Заключение

Ключевой в теории пространственного развития является генерация научных знаний с целью раскрытия закономерностей формирования и качественного преобразования интегральных геосистем. Междисциплинарный синтез в данном случае заключается не только в том, чтобы целенаправленно использовать сведения разных наук, но и в том, чтобы разработать непротиворечивую методологию перевода природного в социальное и установить взаимосвязь главных ориентиров устойчивого развития – энергоэкономической эффективности, социальной справедливости и экологической безопасности.

Применение научных знаний о пространственном развитии на практике предполагает совершенствование конкретных видов управленческой деятельности. Здесь ключевым является согласование политических и экономических решений на уровне мировых, национальных, региональных и локальных общественных и властных структур. Успех согласования зависит от совершенствования статистического анализа, развития геоинформационной сети, введения общих норм территориально-го планирования и географической экспертизы.

Из всего многообразия ориентиров и оценок пространственного развития России на первое место мы ставим формирование внутрироссийского

рынка и, соответственно, межрегиональную интеграцию, достаточную для снятия угроз со стороны мировых политико-экономических блоков. Север в интеграционных процессах играет роль «скрепляющего обруча» в том случае, если его ресурсы достаточно полно включены в технологические линии обрабатывающей промышленности России.

Компенсационная и стимулирующая освоение северных территорий государственная политика связана с определением норм жизнедеятельности в условиях широтных зон: Арктики, Дальнего, Среднего и Ближнего Севера; организация же экономических связей – с меридиональными мегаструктурами: Тихоокеанской, Ленской, Енисейской, Обь-Иртышской, Восточно-Уральской, Западно-Уральской, Баренц-Балтийской.

Север и Юг России в пространственном развитии России равноценны, а потому могут развивать эквивалентный обмен не только товарами, но и технологиями, а также опытом преодоления трудностей, вызванным сложными природно-климатическими условиями.

Работа выполнена в рамках Программы РАН «Фундаментальные проблемы пространственного развития: междисциплинарный синтез».

Литература

1. *Лажинцев В.Н.* Территориальное развитие: методология и опыт регулирования. СПб.: Наука, 1996. 109 с.
2. *Дмитриева Т.Е.* Методологический контекст пространственного развития северного региона // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития, 2009. № 1. С.22-29.
3. *Гранберг А.Г.* Программа фундаментальных исследований пространственного развития России и роль в ней Северо-Западного региона // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития, 2009. № 2-3. С.5-11.
4. *Окрепилов В.В.* Управление качеством в пространственном развитии // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития, 2009. № 2-3. С.11-16.
5. *Агранат Г.А.* Территория: повышение роли в жизни общества // Изв. АН СССР. Сер. географ., 1988. № 2. С.5-16.
6. *Трофимов А.М., Чистобаев А.И., Шарыгин М.Д.* Теория организации пространства // Изв. РГО, 1993. Т.125. Вып.2. С.10-18; Вып.3. С.9-17; Вып.5. С.11-21.
7. *Дмитриева Т.Е.* Геоэкспертологический подход к анализу «северных» нормативов // Экстремальные районы: вопросы хозяйственного освоения и структурных сдвигов. М. – Сыктывкар, 1991. С.71-83.
8. *Космачев К.П.* Географическая экспертиза (методологические аспекты). Новосибирск: Наука, 1981. 110 с.
9. *Лажинцев В.Н.* Экономико-географическая концепция территориального планирования. М.: Наука, 1990. 128 с.
10. *Лажинцев В.Н.* Экономико-географические аспекты управления территориальным развитием // Экономическая наука современной России, 2002. № 2. С.67-78.
11. *Лажинцев В.Н.* Статистика и экономическая география (исторические и методологические предпосылки взаимного развития) // Изв. РГО, 2006. Вып.2. С.48-55.
12. *Лажинцев В.Н.* Проблемы топливно-энергетического и минерально-сырьевого секторов хозяйства Севера // Вестник РАН, 2007. Т.77. С.598-607.
13. *Селин В.С., Цукерман В.А., Виноградов А.Н.* Экономические условия и инновационные возможности обеспечения конкурентоспособности месторождений углеводородного сырья Арктического шельфа. Апатиты: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2008. 267 с.
14. *Доклад о развитии человека в Арктике (ДоРЧА).* Перевод с англ./Ред.А.В.Головнев. Екатеринбург-Салехард, 2007. 244 с.
15. *Пилясов А.Н.* И последние станут первыми: Северная периферия на пути к экономике знания. М.: Кн.дом «ЛИБРКОМ», 2009. 544 с.

ОЦЕНКА ДЕМОГРАФИЧЕСКОГО И ТРУДОВОГО ПОТЕНЦИАЛОВ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

В.В. ФАУЗЕР

*Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера
Коми НЦ УрО РАН, г.Сыктывкар*

В статье предлагается система показателей, позволяющих количественно оценить демографический, трудовой и жизненный потенциалы региона. Приводятся примеры оценки демографического, трудового и жизненного потенциалов населения Республики Коми и отдельных муниципальных образований.

Ключевые слова: демографический, трудовой и жизненный потенциалы региона, естественный и механический прирост, миграция

V.V. FAUZER. ESTIMATION OF DEMOGRAPHIC AND LABOUR POTENTIAL OF THE KOMI REPUBLIC

The article describes the system of parameters allowing estimating quantitatively demographic, labour and vital potential of the region. Examples of estimation of demographic, labour and vital potential of the population of the Komi Republic and separate municipal formations are given.

Key words: demographic, labour and vital potentials of a region, natural and mechanical growth, migration

Потенциалы населения – содержание и измерение. Термин «потенциал» в различных трактовках получил широкое распространение в моделях биологических, социальных и экономических наук. Начиная с середины XIX – начала XX в. в научный оборот были введены различные «потенциалы», отражающие разные аспекты демографической системы. Несмотря на множество работ, концепции *потенциальной демографии* (капитализированная стоимость У. Фарра, репродуктивный потенциал Р. Фишера, потенциал роста П. Венсана, популяционная инерция Н. Кейфитца, жизненный и трудовой потенциалы Л. Херша и др.) не были обобщены на случай меняющихся во времени показателей рождаемости и смертности. Известные попытки обобщения репродуктивного потенциала (П. Самуэльсон, Я. Ким, Ш. Тулджапуркар и др.) опирались на модели специального вида, не были адекватны классической интерпретации концепции или содержали ошибки. Обобщение потенциала роста (популяционной инерции) на общий случай не было предложено, а известные оценки для специального случая асимптотически стационарного населения оказались ошибочны в условиях изменения среднего возраста деторождения. Не была также решена выдвинутая уже давно проблема разработки *единого* подхода к понятиям потенциальной демографии. Решение названных проблем отчасти нашло отражение в диссертации Д.М. Эдиева «Теория и приложения демографических потенциалов», отражающих вклад человека в демографические, экономические, экологические и прочие процессы с учетом последствий, реализующегося через его потомков [1, с. 4].

Серьезным фактором, ограничивающим применение вышеуказанных теоретических разработок, явилось то, что подходы определены только в рамках моделей с постоянным режимом воспроизводства. Это обуславливает необходимость дальнейших разработок оценки потенциалов населения. Актуальность работы также вызвана большим интересом к обоснованию новых методов демографического анализа и моделирования. Этот интерес особенно велик в связи с нынешней демографической ситуацией в стране и ее регионах.

Демографический потенциал. Если обратиться к специальной энциклопедической литературе по демографии [2-4], в ней не найти какого-либо «универсального» или устоявшегося определения «демографического потенциала». В указанных работах такое определение попросту отсутствует. В то же время в научной литературе используются категории демографического и трудового потенциалов. Большинство отечественных авторов дают совокупную оценку демографическому и трудовому потенциалам, не разделяя их на две самостоятельные дефиниции. На наш взгляд, это не совсем оправдано, несмотря на то, что в основе трудового потенциала лежит демографический.

Рассмотрим, что включают в себя демографический и трудовой потенциалы. В научной литературе демографический потенциал рассматривается как:

- демографический потенциал региональной экономики – отражает возможности воспроизводства населения и развития человека, характеризуется показателями уровня общественного развития, качества жизни, средней продолжительностью пред-

стоящей жизни, уровнем грамотности взрослого населения, объемом реального ВВП на душу населения;

- демографический потенциал (человеческий капитал) – совокупность знаний, навыков, способностей и мотиваций человека, имеющих экономическую ценность; демографический потенциал увеличивается в результате своеобразного инвестирования (рождений и воспитания детей, образования людей, миграции населения и др.) и уменьшается в результате износа (физического и морального);

- демографический потенциал рассматривается в контексте идеологии человеческого потенциала народонаселения. Количественный и качественный потенциалы его воспроизводства являются условием, основой и целью развития общества и государства [5, с. 52].

Из выше приведенных определений следует отождествление демографического потенциала с человеческим капиталом или с человеческим потенциалом, что, на наш взгляд, не совсем верно.

Ближе всего к определению сущности демографического потенциала подошли А.Г.Вишневский с соавторами [6]. Они отмечают, что демографический потенциал страны, в первом приближении, – это число ее жителей. Характеризуя демографический потенциал, авторы используют следующие показатели: численность населения и его воспроизводство (рождаемость, смертность), возрастную структуру, ожидаемую продолжительность жизни, миграционный прирост, прогнозы роста населения, жизненный потенциал населения, демографическое старение и пенсионное обеспечение.

Таким образом, можно заключить, что демографический потенциал представляет собой возможности количественного изменения населения в результате взаимодействия естественного и миграционного движений. Результаты или «скорость» изменения демографического потенциала региона зависят от исходных (базовых) количественных и качественных характеристик населения. Необходимо подчеркнуть, что величиной демографического потенциала можно управлять посредством демографической и миграционной политики.

Трудовой потенциал. Термин «трудовой потенциал» стал широко применяться в социально-экономической литературе в конце 1970-х – начале 1980-х гг., существенно потеснив традиционную категорию «трудовые ресурсы». На начальном этапе исследования трудового потенциала наблюдалась характерная ситуация – стремление более объемно выразить категорию «трудовые ресурсы» как единства их количественных и качественных параметров при ведущей роли последних, учитывающих образовательный уровень, профессионально-квалификационную подготовку и мобильность контингентов трудовых ресурсов [7, с.61]. Это стремление привело к тому, что без должной методологической проработки понятия некоторые авторы стали включать в число социально-экономических параметров неограниченное количество факторов, характеризующих всю совокупность социально-экономических и организационно-управленческих возможностей, определяющих условия трудовой деятельности.

Анализ различных подходов к трудовому потенциалу показывает, что обозначились две тенденции в толковании населения: с одной стороны, категория потенциала применялась исключительно к какой-либо одной из качественных характеристик населения, тогда как другие не входили в предмет исследования, т.е. свойства как бы отсекались от их носителя, что придавало исследованию весьма абстрактный характер; с другой стороны, наметилась тенденция включить трудовой потенциал в более общие социально-экономические категории потенциальности.

Можно вычленить характерные трактовки трудового потенциала:

- как форма воплощения личного фактора производства или человеческого фактора;

- как совокупная способность общества к труду (трудоспособное население);

- как потенциал труда.

Приведенные определения трудового потенциала свидетельствуют о неоднозначном толковании его разными авторами. Здесь следует подчеркнуть, что неверно сводить трудовой потенциал к трудоспособному населению (трудовым ресурсам) как ресурсно-личному фактору производства, поскольку человек всегда и во всех своих общественных проявлениях обнаруживает все качества своей личности. Будучи субъектом производства, человек остается гражданином, имеет те или иные воззрения на мир, является носителем определенного уровня духовной культуры, суждений об окружающей действительности и ее возможностях.

Наиболее полно трудовой потенциал исследовал В.И. Усачев [8, с.13, 16]. Он пишет, что под трудовым потенциалом следует понимать развитую в данном обществе совокупность демографических, социальных и духовных характеристик и качеств трудоспособного населения, которые реализованы или могут быть реализованы в условиях достигнутого уровня развития производительных сил, научно-технического прогресса и системы отношений, связанных с участием в процессе труда и общественной деятельности. В понятие трудоспособного населения в данном случае включается не только категория дееспособных лиц в трудоспособном возрасте, но и находящиеся за его пределами люди.

«Трудовой потенциал» – как базовое понятие применимо только к населению, выступающему носителем совокупности свойств и качеств трудового потенциала. Если население рассматривать в дифференцированном виде по различным признакам (например, пол, возраст, территория и др.), в таком случае можно говорить о трудовом потенциале мужчин и женщин, населения трудоспособного и нетрудоспособного возраста, конкретного региона и т.д. Трудовой потенциал отрасли народного хозяйства в принятой методологической постановке теряет научный смысл, так как отсутствует предмет исследования. Для обозначения лиц, занятых в отраслях народного хозяйства, лучше пользоваться термином «трудовые ресурсы». Здесь также важно подчеркнуть, что трудовой потенциал общества, территории, отдельной организации реализуется в процессе труда отдельно взятого работника. Поэтому с теоретико-методологической

точки зрения важно изучить трудовой потенциал работника. По нашему мнению, трудовой потенциал работника представляет из себя сложную систему, возникающую в результате взаимодействия личности с предметной и человеческой средой, образуемой другими работниками (группами) с их трудовым потенциалом, созданной и используемой технико-технологической, материальной, информационной и другими базами, условиями труда, системой, обеспечивающей воспроизведение умственных и физических затрат [9, с. 56, 59].

Жизненный потенциал населения. Представление о демографическом потенциале общества через понятие жизненного потенциала, который измеряется числом людей с учетом прожитого ими совокупного времени, расширяется. Число людей может становиться меньшим, а число прожитых ими лет, а значит, и возможности деятельности – большими. Понятно, что замедление, а затем и прекращение роста численности населения требует особого внимания к проблеме сохранения и увеличения понимаемого таким образом жизненного потенциала.

Долгая жизнь и длительное сохранение здоровья большинства населения – исторически новое явление. Только во второй половине XX в. несколькими десяткам промышленно развитых стран удалось достичь ожидаемой продолжительности жизни, превышающей 70-80 лет, и за счет этого резко расширить жизненный потенциал каждого поколения, сделав его более устойчивым. Важно и то, что, достигнув более долгой жизни, люди одновременно увеличили и продолжительность здоровой жизни. Между достижением этих двух целей есть известное противоречие, ибо общее удлинение жизни часто достигается за счет того, что медицина продлевает жизнь уже больного человека, так что по мере роста ожидаемой продолжительности жизни, доля лет, прожитых в здоровом состоянии, по отношению к общей сумме прожитых лет, может даже уменьшаться. И все же, несомненно, что в западных странах абсолютное среднее число лет здоровой жизни увеличивается: по имеющимся оценкам, продолжительность здоровой жизни составляет примерно 80-90% всей ожидаемой продолжительности жизни для мужчин и 77-87% – для женщин [10].

На конференции в Рио-де-Жанейро в 1992 г. была сформулирована главная цель современной человеческой цивилизации: найти такие способы существования, которые позволили бы не только сохранять достигнутый уровень жизненного потенциала человечества, но и обеспечивали бы постоянное его увеличение на протяжении неопределенно долгого времени. В практическом плане возникает задача, как измерять уровень жизненного потенциала? Обычно жизненный потенциал отдельного человека измеряется продолжительностью его предстоящей жизни. Жизненный потенциал семьи – суммарной продолжительностью предстоящей жизни членов этой семьи, т. е. количеством человеко-лет, которое могут про-

жить все члены семьи в ее нынешнем составе. Для оценки потенциала региона или государства в целом нужно определять суммарную продолжительность будущей жизни всего ныне живущего населения.

На упомянутой конференции также отмечено, что уровень жизненного потенциала является интегрирующим показателем, в котором отражаются все стороны жизни общества и отдельных людей: состояние систем охраны здоровья и правопорядка, образованность и уровень культуры населения, состояние экономики, политическая стабильность, социальное спокойствие и уверенность в завтрашнем дне. При этом подчеркивалось, что в качестве главной цели программы устойчивого развития региона целесообразно провозгласить цель постоянного увеличения жизненного потенциала его жителей [11].

Характеристика демографического, трудового и жизненного потенциалов Республики Коми

Общая характеристика демографического потенциала. На 1 января 2009 г. численность населения Республики Коми составила 958,5 тыс. чел., что на 9,6 тыс. меньше, чем было в 2008 г. Сокращение численности населения имело место как по городскому населению (6,2 тыс.), так и сельскому (3,4 тыс.). Динамика численности населения с конца 1950-х гг. по настоящее время показана в табл. 1. Как видно из представленных данных, демографический потенциал в республике увеличивался в период 1959-1989 гг., а затем стал постоянно снижаться. Эти тенденции характерны как для городского, так и для сельского населения. В двух взятых для сравнения муниципальных образованиях картина разная. В столице республики Сыктывкаре население постоянно увеличивалось, а в Ижемском районе, исконной территории коми народа, начиная с переписи 1970 г. оно постоянно уменьшалось. За редким исключением, убыль населения наблюдается во всех муниципальных образованиях.

Сокращение населения – не новость для нашей страны и большинства ее субъектов: на протя-

Таблица 1

Динамика численности населения Республики Коми за 1959-2009* гг., тыс. чел.

Годы	Республика Коми			г. Сыктывкар с подчиненной ему территорией			Ижемский район		
	Все население	В том числе		Все население	В том числе		Все население	В том числе	
		город	село		город	село		город	село
1959	815,6	484,3	331,3	76,1	74,5	1,6	22,0	-	22,0
1970	967,0	598,1	368,9	138,3	137,2	1,1	26,1	4,6	21,5
1979	1110,4	786,5	323,9	188,0	185,8	2,2	24,2	4,4	19,8
1989	1250,8	944,4	306,4	234,9	234,1	0,8	23,3	4,1	19,2
2002	1018,7	766,6	252,1	245,8	244,6	1,2	21,5	-	21,5
2009	958,5	727,1	231,4	248,2	247,2	1,0	19,7	-	19,7

* Данные за 1959-2002 гг. приведены согласно итогам переписей населения за 2009 г. – оценка на 1 января.

жении XX в. оно наблюдается уже в четвертый раз. Только за 1990-2008-е гг. население республики сократилось на 290,4 тыс. чел., и сейчас нет никаких оснований ожидать появления положительного прироста или хотя бы стабилизации численности населения.

Компоненты изменений демографического потенциала. И рост, и сокращение численности населения имеют два источника: естественный и миграционный приросты (убыль). До самого конца 1980-х гг. решающая роль в динамике населения принадлежала естественному приросту, тогда как влияние миграции оставалось то положительным, то отрицательным, т.е. было незначительным (табл. 2).

еще и тем, что с 1993 г. естественный прирост, который ранее покрывал миграционную убыль, стал сам отрицательным. При этом миграционная убыль в разы стала превосходить естественную убыль населения.

Появление отрицательного естественного прироста не было неожиданностью. На протяжении последних 30 лет сочетание низкой рождаемости и высокой смертности привело к тому, что не стало обеспечиваться даже простое замещение поколений, нетто-коэффициент воспроизводства населения опустился ниже единицы уже в середине 1960-х гг., воспроизводство населения из расширенного стало суженным. Особенности возрастного состава населения долгое время позволяли даже и в этих условиях поддерживать положительный естественный прирост. И это не могло продолжаться бесконечно. Рано или поздно он должен был смениться отрицательным.

Таблица 2

Прирост населения Республики Коми по источникам формирования за 1956-2008 гг., тыс. чел.

Периоды	Прирост (убыль)			Среднегодовой прирост (убыль)	
	общий	естественный	механический	естественный	механический
1956-1960	181,5	99,3	82,2	19,9	16,4
1961-1965	98,2	83,2	15,0	16,7	3,0
1966-1970	30,0	54,8	-24,8	11,0	-4,9
1971-1975	87,5	56,2	31,3	11,2	6,3
1976-1980	80,6	57,1	23,5	11,4	4,7
1981-1985*	77,0	70,1	6,9	14,0	1,4
1986-1990	28,3	60,5	-32,2	12,1	-6,4
1991-1995	-107,2	-2,3	-104,9	-0,5	-21,0
1996-2000	-89,8	-11,6	-78,2	-2,3	-15,6
2001-2005	-58,3	-19,9	-38,4	-4,0	-7,7
2006-2008	-26,5	-4,0	-22,5	-1,3	-7,5
1956-2008	301,3	443,4	-142,1	8,4	-2,7

* с 1981 г. численность постоянного населения, пересчитанная от итогов переписей населения 1989 и 2002 гг.

Таблица 3

**Динамика суммарного коэффициента рождаемости населения Республики Коми за 1958-2007 гг.
(на одну женщину к концу репродуктивного возраста)**

Годы	Республика Коми			г. Сыктывкар с подчиненной ему территорией	Ижемский район
	Всего	Город	Село		
1958-1959	3,34	2,81	4,29	-	-
1969-1970	2,21	1,99	2,75	-	-
1979-1980	1,98	1,83	2,48	-	-
1990	1,87	1,76	2,39	-	-
2000	1,22	1,15	1,53	1,17	1,49
2005	1,33	1,25	1,68	1,21	1,83
2006	1,32	1,92	1,88	1,12	2,31
2007	1,41	1,28	1,95	1,25	2,35

С середины 1960-х гг. миграционный прирост был даже отрицательным, но миграционная убыль населения почти в два раза перекрывалась его естественным приростом. Положение изменилось со второй половины 1980-х гг., когда республика из принимающей население, превратилась в республику, отдающей его. Положение стало усугубляться

однако следует обратить внимание, что в Ижемском районе СКР в 2006 г. достиг пороговой величины и продолжает расти.

Смертность – второй компонент формирования отрицательного естественного прироста населения. Сегодня смертность в России очень высока. Это, конечно, усугубляет общую неблагоприятную

Рождаемость, смертность и возрастная структура. Главной причиной долговременного снижения естественного прироста населения стало падение рождаемости. Ее динамику рассмотрим на примере суммарного коэффициента рождаемости (СКР). Напомним, что границе простого воспроизводства населения соответствует величина СКР, равная примерно 2,1-2,2 живорождения в среднем на одну женщину за всю ее жизнь (без учета брачного состояния), или 2,3-2,4 живорождения за всю жизнь в среднем на один брак, или 2,6-2,7 живорождения на один эффективный брак (т.е. брак, обладающий плодотворностью).

Рассчитанные для населения Республики Коми за относительно длительный период времени СКР показывают, что за последние 50 лет наблюдается не только снижение уровня рождаемости: уже с 1988 г. ее уровень (2,03) не обеспечивает простого воспроизводства населения (табл. 3). Анализ динамики СКР показывает, что уровень замещения поколений почти в два раза ниже необходимой величины. Сегодня ни городское, ни сельское население не имеют простого воспроизводства. Од-

ситуацию, увеличивая превышение числа смертей над числом рождений, которое и образует величину отрицательного естественного прироста.

В конце XIX – начале XX в. показатель общего коэффициента смертности в Коми крае колебался в пределах 26-46 чел. в расчете на 1000 чел. населения. Перелом в смертности населения наступил в послевоенные годы. С 1948 по 1965 г., с некоторыми отклонениями, уровень смертности постоянно снижался. В дальнейшем начались резкие колебания уровня смертности. В период с 1966 по 1983 г. общий коэффициент смертности увеличился в 1,3 раза. С середины 1980-х гг. в Республике Коми и России в целом произошли изменения в уровне смертности населения в связи с большими социальными преобразованиями, началом экономических реформ и способами их реализации.

В динамике смертности населения с 1985 по 2000 г. можно выделить несколько этапов: снижение – в 1985-1987 гг., повышение – в 1988-1994 гг. и вновь снижение – с 1995 г. (одной из ведущих причин снижения смертности в 1985-1987 гг. многие специалисты считают антиалкогольную кампанию). С 1988 г. смертность вновь стала расти по мере свертывания антиалкогольных мероприятий, началом реформ в 1992 г., и достигла своего максимума в 1994 г. Уровень смертности в республике в 1994 г. превысил уровень 1987 г. в два раза. С 1995 г. ситуация начала немного улучшаться, но с 1999 г. вновь наметилось ухудшение.

Рост общих коэффициентов смертности продолжался пять лет, а затем с 2004 г. и по настоящее время отмечается их снижение: 2003 г. – 15,6, 2004 г. – 15,2, 2008 г. – 12,7‰. Следует также обратить внимание, что уровень смертности на селе традиционно выше, чем в городе. В течение многих лет по ожидаемой продолжительности жизни и, в первую очередь у мужчин, Республика Коми имела худшие показатели, чем по России в целом (табл. 4). Например, в начале 1960-х гг. ожидаемая продолжительность жизни у российских мужчин составляла 63,8, а мужчин республики – 61,6 лет, в 2007 г. соответственно 61,4 и 59,8 лет. За рассматриваемый период произошло снижение ожидаемой продолжительности жизни: у российских мужчин – на 2,4, у республиканских – на 1,8 лет. В 2008 г. в Республике Коми произошло увеличение ожидаемой продолжительности жизни: у мужчин – на 0,4 и у женщин – на 0,3 лет. Также можно отметить, что в 2008 г. ожидаемая продолжительность жизни у обоих полов была выше республиканского уровня в Сыктывкаре на 2,4, а в Ижемском районе ниже на 6,7 лет.

Возрастная структура населения – третий фактор, от которого зависит его естественный прирост. В Республике Коми миграционные процессы долгое

Таблица 4

Ожидаемая продолжительность жизни при рождении населения Республики Коми в 1959-2008 гг.

Годы	Республика Коми			г. Сыктывкар с подчиненной ему территорией (оба пола)	Ижемский район (оба пола)
	Оба пола	Мужчины	Женщины		
1959	66,1	61,6	70,7	-	-
1970	67,0	61,2	72,0	-	-
1979	64,7	58,6	70,6	-	-
1989	68,4	63,3	72,9	68,5	66,5
1998	65,5	59,5	71,9	67,2	62,5
2000	63,5	57,8	70,8	64,5	61,2
2008	66,2	60,2	72,6	68,6	59,5

Таблица 5

Распределение населения Республики Коми по возрастным группам в 1959-2026 гг.

Годы	Все население, тыс. чел.	Удельный вес в общей численности, %		
		молоче трудоспо- собного	трудоспо- собном	старше трудоспо- собного
Республика Коми				
1959	815,6	29,1	65,0	5,9
1970	967,0	32,5	60,0	7,5
1979	1110,4	26,9	65,4	7,7
1989	1250,8	28,0	62,1	9,9
2002	1018,7	19,8	66,1	14,1
2009	958,5	17,3	67,0	15,7
2019	891,4	20,1	60,0	19,9
2026	832,9	20,4	59,7	19,9
Сыктывкар				
1989	234,9	26,4	62,2	11,4
2002	245,8	18,6	66,4	15,0
2009	248,2	16,9	66,9	16,2
Ижемский район				
1989	23,3	31,1	54,9	14,0
2002	21,5	24,7	60,7	14,6
2009	19,7	20,5	63,4	16,1

время маскировали депопуляционные тенденции и способствовали сохранению превышения числа рождений над числом смертей, хотя возрастные интенсивности рождаемости и смертности уже не давали для этого оснований. В 1970 – 1980-е гг. ежегодное абсолютное число смертей было относительно небольшим и не превышало число рождений не потому, что смертность была низкой или рождаемость высокой, а потому, что доля пожилых и престарелых людей, особенно мужчин, была не просто малой, а ненормально малой. Огромная их часть погибла до срока, просто не дожила до возрастов «нормальной» смертности. В этом легко убедиться, если обратить

ся к распределению населения по трем крупным возрастным группам (табл. 5).

Таблица 6

Численность и прирост населения в трудоспособном возрасте в Республике Коми за 1959-2025 гг.

Периоды	Численность на конец периода, чел.	Удельный вес в общей численности населения, %	Прирост (убыль) за период, чел.	Среднегодовой прирост (убыль), чел.
1959	529522	65,0	-	-
1959-1969	578915	60,0	49393	4490
1970-1978	726576	65,4	147661	18458
1979-1988	776383	62,1	49807	4981
1989-1998	683051	63,4	-10034	-1003
1999-2008	642499	67,0	-40552	-4055
2009-2018	534800	60,0	-107699	-10770
2019-2025	497200	59,7	-37600	-5371

С 1959 по 2009 г. доля лиц старше трудоспособного возраста увеличилась в 2,7 раза, а доля детей уменьшилась на 40,5% к исходному уровню. По последнему прогнозу Росстата, доля лиц старше 60 лет увеличится к 2026 г. до 19,9%, а доля детей – до 20,4. Несмотря на определенный оптимизм прогноза, в отношении детей необходимо отметить, что потенциал демографического роста, накопленный в возрастной структуре населения Республики Коми и России в целом, исчерпан. Естественный прирост теперь непосредственно будет зависеть от возрастных интенсивностей рождаемости и смертности, причем решающая роль принадлежит рождаемости. Таким образом, нынешняя демографическая ситуация и имеющиеся прогнозы ее развития не оставляют большой надежды на положительный естественный прирост в обозримой перспективе. Обществу придется приспосабливаться к новым демографическим реальностям, искать экономические и социальные ответы на вызов времени.

Трудовой потенциал. До 1990-х гг., с характерной для них ориентацией на экстенсивные факторы, подсчету и использованию трудовых ресурсов уделялось едва ли не самое большое внимание. В 1970 – 1980-е гг. считалось, что экономика постоянно испытывает нехватку трудовых ресурсов, большинство северных районов России относились к числу «трудонедостаточных». Это ощущение усиливалось в связи с особенностями динамики трудовых ресурсов. Их последнее значительное приращение по стране в целом за счет собственных источников наблюдалось в 1970-е гг., так как в этот период в трудоспособный возраст входили многочисленные, а выходили на пенсию малочисленные поколения. В Республике Коми наибольший прирост трудовых ресурсов был отмечен с 1970 по 1978 гг., затем он сократился почти в четыре раза, а с начала 1990-х гг. стал отрицательным. Отрицательным он будет и в прогнозный период вплоть до 2025 г. (табл. 6).

Количественная оценка трудовых ресурсов не исчерпывается оценкой числа работников. Как и в случае с населением, она может быть дополнена оценкой их жизненного потенциала. Сложнее судить о потерях, связанных с плохим состоянием здоровья, инвалидностью и т.п. Они хуже поддаются количественной оценке. Но нет сомнения, что эти потери тоже очень велики. При всей важности количественной оценки трудовых ресурсов или их жизненного потенциала, нельзя упускать из виду качественную сторону трудового потенциала. Наиболее богаты не те страны, где больше всего работников, а те, где наиболее высока отдача каждого работника, т.е. выше производительность труда.

Как на положительную сторону потенциала российского работника часто указывают на высокий

уровень знаний и профессиональной подготовки. Прямые сравнения с другими промышленными странами здесь затруднительны. Но даже если принять такую оценку без обсуждения, остается еще вопрос о структурных соответствиях. В какой мере структура знаний и навыков, сформировавшаяся на протяжении десятилетий индустриализации советского типа, милитаризации экономики и т.п., отвечает потребностям сегодняшнего народного хозяйства России? Если значительная часть носителей еще недавно весьма ценных специальностей и профессий не находит сегодня применения, сам по себе уровень их знаний или квалификации не повышает экономического потенциала страны.

Жизненный потенциал. По оценке жизненного потенциала ситуация в Республике Коми выглядит крайне неблагоприятной. Затянувшаяся стагнация в деле охраны здоровья и жизни населения республики означает огромные потери жизненного потенциала. Потери затрагивают все его основные составляющие (табл. 7).

Совокупные потери жизненного потенциала населения Республики Коми за 1990-2008 гг. составили 18 млн. 25,6 тыс. человеко-лет, в том числе городского – 13 млн. 181,3 тыс. и сельского – 4 млн. 844,3 тыс. чел. Уменьшение произошло во всех возрастных группах населения, но больше всего это коснулось населения до- и в трудоспособном возрастах. Чтобы исключить влияние различной численности населения в 1990 и 2008 г., необходимо разделить величину (сумму) жизненного потенциала на численность населения за соответствующий год. Полученная величина и есть уровень жизненного потенциала населения за определенный год (табл. 8). Как видим, за анализируемый период времени произошло не только уменьшение жизненного потенциала населения, но и его уровня в расчете на одного жителя республики. В целом по республике уровень жизненного потенциала уменьшился на 6,5 лет, в том числе у горожан – на 5,9 и у селян – на 8,7 лет.

Таким образом, анализ состояния и функционирования демографического, трудового и жизненного потенциалов Республики Коми позволяет сделать следующие выводы:

Таблица 7

**Динамика жизненного потенциала населения
Республики Коми за 1990-2008 гг., тыс. человеко-лет**

Показатели	1990 г.	2000 г.	2008 г.
Все население	52012,2	36839,1	33986,6
Городское население	39601,9	28172,7	26420,6
Сельское население	12410,3	8666,4	7566,0

Таблица 8

**Динамика жизненного потенциала одного жителя
Республики Коми за 1990-2008 гг., лет**

Показатели	1990 г.	2000 г.	2008 г.
Все население	41,6	34,8	35,1
В том числе:			
Городское население	41,9	35,3	36,0
Сельское население	40,9	33,4	32,2
В том числе:			
Мужчины	38,3	31,2	31,4
Женщины	44,5	38,4	38,3

- демографический, трудовой и жизненный потенциалы формируются в условиях суженного воспроизводства населения, сокращения абсолютной численности населения в трудоспособном возрасте и роста доли лиц старших возрастов в его структуре;

- значительные потери демографического, трудового и жизненного потенциалов происходят вследствие ухудшения здоровья и преждевременной смертности населения, в первую очередь в трудоспособном возрасте. Особо следует подчеркнуть, что трудовой потенциал населения в рабочих возрастах убывает не только за счет преждевременной смертности, но и в результате того, что часть людей становится инвалидами;

- количественные потери демографического, трудового и жизненного потенциалов происходят из-за миграционного оттока населения. В последние годы миграции наносят не только количественный урон, они существенно ухудшают качество демографического и трудового потенциалов.

В заключение необходимо подчеркнуть, что в обществе нужна планомерная работа по воспроизводству демографического и трудового потенциалов, чтобы в условиях долговременной демографической депопуляции создать условия для экономического роста и поддержания национальной безопасности России.

Литература

1. Эдиев Д.М. Теория и приложения демографических потенциалов: Автореф. д. ф.-м.н. М., 2008. 36 с.
2. Демографический понятийный словарь / Под ред. проф. Л.Л.Рыбаковского. М.: ЦСП, 2003. 352 с.
3. Демографический энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1985. 608 с.
4. Народонаселение. Энциклопедический словарь / Гл.ред. Г.Г.Меликьян. М., 1994. 640 с.
5. Федотовская Т.А. Проблемы развития человеческого потенциала в деятельности Совета Федерации // Информационно-аналитическое управление Аппарата Совета Федерации ФС РФ. М., 2001. С. 52-62.
6. Вишневский А.Г., Васин С.А., Зайончковская Ж.А. Демографический и трудовой потенциал населения России // Путь в XXI век (стратегические проблемы и перспективы российской экономики) / Под ред. Д.С. Львова. М.: Экономика, 1999. 181 с.
7. Чижова Л.С., Сергеева Г.П. Трудовой потенциал страны. М., 1982. 156 с.
8. Усачев В.И. Трудовой потенциал пореформенной России: социально-демографические аспекты. М.: Экон-Информ, 2008. 319 с.
9. Фаузер В.В., Климашевская Е.В. Человеческие ресурсы энергетического комплекса Республики Коми. Сыктывкар: Коми книжное издательство, 2004. 176 с.
10. Окольский М. Здоровье и смертность. Доклад на Европейской конференции по народонаселению. ООН, Европейская экономическая комиссия. Женева, 23-26 марта 1993г. E / CONF. 84/RM, EUR/WP.3, с.17.
11. Загоруйко Н.Г. О формулировке стратегической цели развития региона: интернет ресурс <http://www.citystrategy.leontief.ru/?u=material/chistjakov/zagoruyko.htm>

АКАДЕМИЧЕСКИЙ ЮБИЛЕЙ

В 2009 г. деятельность Коми научного центра осуществлялась под знаком двух юбилейных дат: 70-летия академической науки в Республике Коми и 65-летия со дня образования Коми научного центра УрО РАН. В стенах учреждения сложилась традиция празднования подобных юбилеев: институты организуют день открытых дверей, к торжественной дате, как правило, приурочивается публикация монографий, информационно-справочных изданий¹. Венчает событие праздничное собрание. 27 ноября в республиканской филармонии состоялся торжественный вечер, посвященный юбилею.

Собрание открыл председатель Коми научного центра, член-корреспондент РАН А.М. Асхабов, который выступил с докладом об истории становления академической науки в Коми и ее современном состоянии. Сегодня Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук – один из крупнейших академических научно-исследовательских центров на европейском Севере России. Как отметил А.М. Асхабов, все значимые экономические, социальные и культурные проекты, осуществляемые в Коми, в большей степени связаны с работами ученых Коми НЦ УрО РАН. Это создание в Европейской части России угольно-металлургической и топливно-энергетической баз, формирование промышленного комплекса по переработке и возобновлению биологических ресурсов, разработка рекомендаций по адаптации человека к высоким широтам, комплексное изучение многонациональной культуры народов Севера. Особое место в исследованиях ученых Коми НЦ УрО РАН занимают вопросы разработки проблем коми и других финно-угорских языков, традиционной культуры и современных этнополитических процессов северных народов. В настоящее время Коми научный центр состоит из шести научных институтов, в нем трудятся свыше 1000 сотрудников, в том числе три академика, три члена-корреспондента РАН, 80 докторов, более 300 кандидатов наук. Успешно функционируют аспирантура, докторантура, диссертационные советы по защите ученой степени кандидата и доктора наук. Говоря о перспективах развития, руководитель центра озвучил идею о создании физико-математического института в структуре Коми НЦ. «В настоящее время уже все осознают, что физико-математический институт нам крайне необходим. И может быть, сейчас, в период кризиса, самое время говорить о его создании. В истории Коми НЦ многие институты создавались в тяжелые, переломные моменты», – заметил по этому поводу А.М. Асхабов.

На собрании огромный интерес вызвало выступление председателя Уральского отделения РАН акад. В.Н. Чарушина, который рассказал о проекте под названием Инициатива «GIGA UrB PAS» по созданию единой информационно-коммуникационной сети, который объединит крупнейшие научные центры Уральского региона посредством оптоволоконной сети свяжет все научные центры Уральского отделения в Архангельске, Сыктывкаре, Перми, Ижевске и Екатеринбурге. Это стратегическая линия развития экономики регионов, поскольку по этому же вектору планируется проложить и железнодорожную магистраль Белкомур.

От имени руководителя региона ученых поздравил заместитель Главы Республики Коми И.А.Поздеев. В своем выступлении Иван Александрович отметил, что ему отрадно видеть в зале молодых ученых. По данным Коми научного центра, 30% нынешнего состава ученых – это специалисты до 35 лет. С приветственным словом выступила Председатель Государственного Совета Республики Коми М.Д.Истиховская, которая высоко оценила значимость вклада, внесенного учеными республики в освоение Тимано-Печорского комплекса, в решение самых актуальных проблем промышленности и экономики региона. Ученых также поздравили министр промышленности и энергетики РК К.В.Мальцев, министр природных ресурсов и охраны окружающей среды РК М.В. Некипелова, министр национальной политики РК В.И.Коробов, ректоры Сыктывкарского государственного университета и Ухтинского государственного технического университета В.Н.Задорожный и Н.Д.Цхадая, а также почетный президент Сыктывкарского лесного института Н.М.Большаков и директор В.В.Жиделева.

Юбилейной дате приурочено издание буклета, информирующего о направлениях и результатах исследований каждого института научного центра. Опубликована книга «Доктора наук Коми научного центра УрО РАН», в которую вошли биографическая информация, основные научные и научно-организационные достижения докторов наук, работающих в Коми НЦ. Гостям был представлен сборник по истории академической науки, где отображена наиболее важная фактическая информация, отражающая изменения в научной, научно-организационной и общественной жизни научного учреждения².

¹ Краткий справочник о Коми филиале. Академия наук СССР. Коми филиал. Сыктывкар, 1968. 109 с.; Коми научному центру Уральского отделения Российской академии наук 50 лет / Отв.ред. Н.И.Тимонин. Сыктывкар, 1994. 159 с.; Коми научному центру УрО РАН – 60 лет / Редкол.: акад. М.П.Рощевский и др. Сыктывкар, 2004. 208 с.; Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук: Буклет / Сост. А.Ф.Сметанин и др. Сыктывкар, 2004. 32 с.

² Учреждение Российской академии наук. Уральское отделение. Коми научный центр: Буклет / Сост. Н.В.Ладанова, Т.П.Шубина и др. Сыктывкар, 2009. 41с.; Доктора наук Коми научного центра УрО РАН / Отв. ред. чл.-корр. РАН А.М.Асхабов. Сыктывкар, 2009. 260 с.; Документальная история Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Коми филиал АН СССР в 1944-1964 гг. / Сост. Л.П.Рощевская, А.А.Бровина, А.В.Самарин, Э.Г.Чупрова. Сыктывкар, 2009. 456 с.

Изюминкой вечера стал показ документального фильма, в котором были отражены различные этапы развития науки на Севере. В основу фильма положены кинодокументы, хранящиеся в научном архиве центра. Кадры кинохроники запечатлели основоположников академической науки в регионе. За устаревшими теперь приборами мелькали молодые лица ныне всем известных ученых. Зрители с большим интересом смотрели фильм, демонстрирующий события, свидетелями которых они были.

Участники собрания имели возможность ознакомиться с выставкой архивных фотодокументов, отражающей научную и общественную жизнь коллектива. Академический центр был показан как в историческом ракурсе, так и в современном виде. Сотрудники научной библиотеки подготовили выставку работ ученых центра.

Н.В.Ладанова, А.В.Самарин

ХРОНОЛОГИЯ НАЧАЛА АКАДЕМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОМИ КРАЯ

В конце 2009 г. Коми научный центр отметил 70 лет стационарных академических исследований на территории Республики Коми. Юбилейная дата – хороший повод для того, чтобы оглянуться и вспомнить сделанные за этот период основные достижения академической науки в регионе.

Под академической наукой мы понимаем научные исследования, проводимые Императорской академией наук (до 1917 г.), Академией наук СССР (до 1991 г.) и Российской академией наук, ее институтами и филиалами. Естественно, что с организацией в Сыктывкаре Коми научного центра (База АН СССР в Коми АССР, Коми филиал АН СССР) практически все академические исследования в регионе осуществлялись именно этим учреждением или при его содействии.

С момента основания Академии наук в 1725 г., вплоть до начала XX в. интерес Императорской академии наук к Коми краю не носил систематического характера. Можно выделить экспедицию акад. И.И. Лепехина в 1768-1772 гг. Известный русский путешественник и натуралист обследовал обширную территорию России, включая и Коми край, где побывал на реках Вычегда и Сысола, Летка и Луза, посетив при этом расположенные на них населенные пункты [1]. В 1837 г. А.И. Шренк по поручению Петербургского ботанического сада совершил путешествие по неисследованным районам северо-восточной части Европейской России: через Архангельск и Мезень к р. Печора, далее через Большеземельскую тундру, исследовал южную часть острова Вайгач, затем повернул на юго-восток для исследования северной части Уральских гор и оттуда через Пустозерск, Мезень и Архангельск вернулся в Петербург [2]. В 1843 г. по поручению правительства А.А. Кейзерлинг совершил путешествие по Печоре и ее притокам. Он дал первое научное описание Тиманского кряжа, составил первую геологическую карту и предложил свою трактовку построения горных пород вдоль р.Ухты. Результатом исследований стала капитальная работа: «Wissenschaftliche Beobachtungen auf einer Reise in das Petschoraland», за которую он получил полную Демидовскую премию и был избран в почетные члены и члены-корреспонденты многих русских и иностранных ученых обществ и учреждений [3].

В конце XIX – начале XX в. инициатива в изучении территории Коми края принадлежала скорее научным обществам, нежели Академии наук. Экспедиции Русского географического общества положили начало изучению Ухтинского нефтяного района. Исследователи добились существенных успехов в изучении стратиграфии и палеонтологии Печорского Урала, исследовании фосфоритов, серного колчедана, железных руд. На средства общества любителей естествознания, антропологии и этнографии были проведены ботанические, ихтиологические и зоологические исследования. В начале XX в. исследования проводились в составе больших комплексных экспедиций, организованных департаментом земледелия и землеустройства, лесным департаментом и др. [4, с. 21-29].

Особое место в изучении Коми края занимает Печорская естественно-историческая станция, основанная А.В. Журавским и существовавшая под разными названиями. С 1905 г. А.В. Журавский проводил исследования по широкому кругу вопросов от обследования Печорского края до опытов с сельскохозяйственными культурами и животными [5]. В 1909 г. станция была принята под покровительство Императорской академии наук и получила устав и наименование Станция при Академии наук. Многие исследователи называют станцию Журавского «первым академическим учреждением на Приполярном Севере России» [4, с. 26].

Присутствие академической науки на Севере значительно усилилось с созданием в 1914 г. постоянной Полярной комиссии Академии наук, которая ставила перед собой задачу планомерного изучения северных территорий. Члены Полярной комиссии принимали участие в составлении 15 физико-географических и административных карт северных территорий, в том числе и карты Северного края, в который входил Коми край [6].

Организованная Полярной комиссией в 1933 г. Печорская бригада оказала существенное влияние на научные исследования в Коми АССР. В течение трех месяцев члены бригады проводили широкий комплекс научно-исследовательских работ, освещающих геоморфологию, геологию, геохимию, энергетику и сельскохозяйственный потенциал края. Руководитель Печорской бригады президент АН СССР, председатель Полярной комиссии акад. А.П.Карпинский провел множество деловых встреч в Сыктывкаре. В беседах с руководителями республики, а также рядовыми жителями он рассказывал о богатстве природы Коми края и о необходимости его научного изучения. По итогам работы Печор-

ской бригады состоялось заседание Президиума АН СССР, на котором была принята «Гипотеза развития Печорского края на 1935 – 1947 – 1950 гг.», а также намечен оперативный план на ближайшие годы. На базе этих документов разрабатывались правительственные постановления и определялась стратегия экономического развития республики [7]. Логичным завершением исследований Печорской бригады должна была стать организация на территории Коми АССР научного стационара Академии наук СССР. Очевидность этого шага была понятна не только столичным ученым, но и здесь, в республике. Об этом свидетельствует письмо одного из руководителей Коми облплана А.И.Бабушкина. Охарактеризовав промышленное развитие Печорского региона, он предлагал «создать на Печоре комплексную базу Академии наук» [4, с. 65-66]. Однако по результатам работы Печорской бригады академическое учреждение было создано в Архангельске. 15 декабря 1933 г. организовано Бюро по изучению Северного края, что стало прямым результатом работы Полярной комиссии на Европейском Севере, и в частности работы Печорской бригады [6, с. 81].

Сегодня мы можем высказать свое мнение, почему стационарное академическое учреждение не было организовано на территории Коми АССР. Во-первых, это отсутствие в регионе каких-либо научных учреждений с развитой материально-технической базой исследований, которые могли бы оказать помощь организуемому академическому учреждению. В 1930-х гг. научные исследования на территории Коми АССР проводились членами общества изучения Коми края, учреждениями ГУЛАГа и другими производственными предприятиями. Крупнейшим учреждением был Коми научно-исследовательский институт, открытый на основании Постановления Президиума ВЦИК в том же году, что и Бюро по изучению Северного края. Вторая причина – отсутствие подготовленных профессиональных кадров и возможности их восполнения. В 1932 г. в Сыктывкаре был открыт Коми государственный педагогический институт (КГПИ) – единственное тогда высшее учебное заведение в республике. Но он не мог в полной мере готовить выпускников, соответствовавших требованиям академического учреждения. Большинство преподавателей были либо школьными учителями, либо аспирантами, либо работали в техникумах. Должно было пройти время, прежде чем КГПИ прочно встал на ноги, выпустил достаточное количество учителей для Коми АССР. Но даже тогда он не мог покрыть потребности академического учреждения по всем специальностям. Третья причина – отсутствие железнодорожного сообщения – усугубляла вышеперечисленные трудности. Созданное научное учреждение оказывалось бы отрезанным от центральных академических институтов. Архангельск имел в этом плане свои преимущества. И к тому же там регулярно проводились заседания подкомиссий Полярной комиссии, посвященные подведению итогов исследований по северной тематике.

Работа Бюро по изучению Северного края оказалась плодотворной и востребованной. В центре внимания были вопросы планирования научно-исследовательских работ в регионе, проблемы перспективного освоения природных ресурсов. В 1936 г. Президиум Академии наук принял решение реорганизовать Бюро Северного края в г. Архангельске в Северную Базу Академии наук СССР во главе с известным ученым, почетным членом Академии наук СССР Н.М. Книповичем. Изучению территории Коми АССР по-прежнему уделялось большое внимание. Руководитель ботанического сектора А.И. Толмачев возглавил работы по исследованию сорно-полевой растительности Северного края. Проблема была не изучена и чрезвычайно актуальна для недавно созданных колхозов и МТС. В этих исследованиях принимали участие Ю.П. Юдин, И.С. Хантимер [8]. Геологические работы в регионе возглавил заведующий геологическим сектором А.А.Чернов. Геологические экспедиции расширили границы Печорского угольного бассейна, способствовали открытию промышленных залежей нефти на Средней Печоре [9].

Закономерно, что республиканские власти с большим интересом следили за достижениями академической науки в регионе и всемерно стремились расширить и углубить исследования, повернуть их в наиболее актуальное для республики русло. Формально Северная база располагалась в Архангельске и в Коми приезжали только экспедиционные отряды. Необходимо было создать представительство науки в регионе, к которому можно было бы официально обратиться, поручить исследования по конкретной теме. Для ученых также было бы удобнее иметь исследовательскую базу в Коми АССР. 20-22 июля 1939 г. в г. Сыктывкаре на конференции научно-исследовательских учреждений Коми АССР предложено организовать в республике Бюро по изучению края от Северной базы АН СССР [10]. В развитии этой идеи в Президиум Академии наук были направлены письма от Председателя Совета Народных Комиссаров Коми АССР И.И.Оплеснина и недавно занявшего пост директора Северной базы А.И.Толмачева о необходимости «расширения научных исследований Северной базы на территории Коми АССР» [4, с. 101]. Решение было быстро поддержано и уже в начале августа 1939 г. создана Сыктывкарская группа Северной базы. По сути, Сыктывкарская группа не являлась самостоятельным учреждением. Это был территориально обособленный филиал, в который вошли представители трех из четырех секторов Северной базы. Сыктывкарская группа включала примерно половину работников геологического сектора, основные силы лесохозяйственной группы ботанического сектора и одного сотрудника зоологического сектора [11].

Перед учеными Сыктывкарской группы были поставлены четыре крупные задачи, которые должны были определить развитие Коми АССР и всего европейского Севера:

1. Стратиграфия палеозойских отложений Северо-Востока европейской части СССР, как основа поисков полезных ископаемых.
2. Превращение районов Крайнего Севера европейской части СССР из потребляющих в производящие на основе комплексного развития сельского хозяйства.
3. Лесные ресурсы и лесное хозяйство Северо-Востока европейской части СССР.
4. Промысловая фауна в условиях строительства Камо-Печорско-Вычегодского гидроузла [12].

По всем направлениям были разработаны планы научно-исследовательских работ на ближайшую пятилетку. Кроме того, по просьбе СНК Коми АССР уделялось внимание координации научной деятельности в регионе. К 1940 г. в Коми АССР научно-исследовательской деятельностью занималось более 40 учреждений, в основном производственные [13]. Ведущую роль в координации их работы должна была сыграть Сыктывкарская группа Северной базы АН СССР.

В начале Великой Отечественной войны летом 1941 г. после того, как в Сыктывкар были эвакуированы Северная база АН СССР и Кольская база АН СССР им. С.М.Кирова, Сыктывкарская группа Северной базы фактически прекратила существование. Часть ученых во главе с руководителем группы П.Д. Калинин были мобилизованы на фронт. Решением СНК СССР от 30 сентября того же года обе базы были объединены в Базу АН СССР по изучению Севера под руководством академика А.Е. Ферсмана. Переезд в Сыктывкар двух крупных академических баз практически в полном составе многократно увеличил научно-исследовательский потенциал региона. Планы исследований были кардинально пересмотрены и расширены. На первое место вышли поиск минерального и растительного сырья на нужды обороны; выявление новых территорий, пригодных для сельскохозяйственного освоения и расширения посевных площадей; повышение урожайности сельскохозяйственных культур и расширение их ассортимента; внедрение в производство простейших приемов по заготовке и переработке растительного сырья; изучение внутренних водоемов с целью их рыбохозяйственной оценки [14].

К концу войны ученые Базы АН СССР по изучению Севера достигли значительных успехов. Геологи Базы обосновали наличие на территории республики полезных ископаемых. Были составлены карты возможных районов для разведок, определены потенциально нефтеносные районы. Подводя итог исследованиям довоенных и военных лет, проф. А.А.Чернов в научном отчете обосновал нефтегазоносность правобережья средней Печоры в районе Вуктыла [16]. Учеными-биологами под руководством С.А. Каспаровой была доказана перспективность выращивания картофеля в промышленных условиях, выведены районированные сорта. Биологи под руководством Е.Н. Ивановой и О.А.Полынцевой покрыли всю республику сетью экспедиций, которые дали новые знания о растительности и почвах Коми АССР. Было проведено изучение почвенного покрова, составлены общие представления об основных закономерностях перехода от одних биоклиматических зон к другим. На основе полученного материала составлены почвенные карты масштабами 1:200 000 и 1:1 000 000, а также карта растительности 1: 200 000 (А.А.Дедов, В.М.Болотова, А.Н.Лашенкова, О.А.Полянская, И.С.Хантимер) [15].

В 1944 г. в состав Базы АН СССР по изучению Севера вошел Коми научно-исследовательский институт вместе с персоналом, фондами и библиотекой [17]. Исследования Базы обогатились гуманитарной тематикой. Коллектив дополнили опытные ученые лингвисты и языковеды – А.С.Сидоров, А.И.Подорова, М.А.Сахарова, работавшие с начала 1930-х гг. по важнейшим направлениям коми литературы и языкознания.

Исследования, проведенные учеными Базы АН СССР по изучению Севера, многократно превысили все изыскания, проводимые на территории Коми АССР в предыдущий период. Результат был достигнут благодаря высокой концентрации крупных ученых в одном научном учреждении.

В 1944 г. повсеместно начался процесс реэвакуации академических учреждений из тыловых районов, который сопровождался просьбами директивных органов республик и краев сохранить академические стационары в местах временной эвакуации. Такую просьбу направил и СНК Коми АССР. В Архиве Российской академии наук (г. Москва) сохранились протоколы заседаний Президиума АН СССР, которые рассматривали подобные ходатайства [18]. В основном в прошении отказывали, мотивируя это тем, что у Академии наук нет финансовой, материально-технической и кадровой возможности расширять сеть академических учреждений. Было отказано и СНК Коми АССР. Однако директивные органы республики «заявили протест и повторно направили документы, настаивая, что при долгосрочном сотрудничестве академическая наука сможет превратить отсталый аграрный северный край в развитый индустриальный регион» [19, с. 124].

В результате согласно постановлению Президиума АН СССР и распоряжению Совета филиалов и баз от 3 июля 1944 г. № 390 База по изучению Севера была разделена на две. Первая – Кольская база АН СССР им. С.М. Кирова была реэвакуирована в г. Апатиты. Вторая Северная база АН СССР оставлена в Сыктывкаре и переименована в Базу АН СССР в Коми АССР (позднее в 1949 г., вследствие унификации учреждений Академии наук, все научные базы были переименованы в филиалы, а База АН СССР в Коми АССР стала называться Коми филиалом АН СССР). Сотрудники Северной базы, которые в начале войны остались в Архангельске для завершения исследований и оказания помощи в проведении научно-прикладных исследований, в результате реорганизации были усилены кадрами и закрепили свой статус в форме Архангельского стационара, просуществовавшего до 1957 г., после чего он окончательно вошел в состав Коми филиала АН СССР. Таким образом, разделение Базы АН СССР по изучению Севера стало отправной точкой отсчета истории Коми научного центра УрО РАН.

База АН СССР в Коми АССР, сохранив значительный кадровый и материально-технический потенциал, полученный от Северной базы, вместе с новым названием приобрела новые приоритетные направления исследований, которые были связаны с поиском полезных ископаемых, составлением почвенно-геоботанической карты республики, подбором наиболее перспективных сельскохозяйственных культур и борьбой с сорняками, расширением знаний в области письменности и теории происхождения коми языка [20].

Таким образом, в академическом изучении Коми края можно выделить несколько этапов. Первый – вторая половина XIX – начало XX в. – эпизодические экспедиции членов Императорской академии наук, направленные на общее ознакомление с регионом. В начале XX в. Коми край регулярно посещают экспедиции различных академических учреждений. Изучаются перспективы поиска полез-

ных ископаемых, растительный мир и др. Полученные результаты свидетельствовали о большом потенциале региона. С середины 1930-х гг. начинается процесс организации академических учреждений на Европейском Севере. В 1934 г. было организовано Бюро по изучению Севера (в 1936 г. преобразованное в Северную базу АН СССР), которое стало фундаментом для всех последующих академических учреждений на Европейском Северо-Востоке. В 1939 г. организована Сыктывкарская группа Северной базы АН СССР. Это было началом стационарных академических исследований в Коми АССР. В период Великой Отечественной войны Сыктывкар стал сосредоточением всей академической науки на Европейском Севере. В 1944 г. Северная база АН СССР реорганизована в Базу АН СССР в Коми АССР. Начался качественно новый этап изучения академической наукой Европейского Северо-Востока страны.

к.и.н. А.В.Самарин

Источники и литература

1. *Лепёхин И.И.* Продолжение Дневных записок путешествия доктора и Академии наук адъюнкта Ивана Лепёхина по разным провинциям Российского государства. Часть 4. СПб., 1805.
2. *Шренк А.И.* Путешествие к северо-востоку Европейской России через тундры самоедов к Северным Уральским горам, предпринятое по высочайшему повелению в 1837 г. / Пер. с нем. СПб., тип. Г. Трусова, 1855. 669 с.
3. *Keyserlyng, A.V.* Wissenschaftliche Beobachtungen auf einer Reise in das Petschoraland im Jahre 1843. St. Petersburg, 1846.
4. *Малкова Т.А.* Научные исследования территории Республики Коми в первой половине XX в. (1901-1945 гг.). Сыктывкар, 2008. С. 180.
5. *Овчинников В.* Печорский Азазель / Режим доступа: <http://www.ras.ru/digest/showdnews.aspx?id=88b004cc-9bf4-487e-af94-903cefbaa615&Language=ru> [Режим доступа: 08.07.2009]
6. *Красникова О.А.* Академия наук и исследования в Арктике: деятельность Полярной комиссии в 1914-1936 гг. // *Вопр. истории естествознания и техники*, 2006. № 4. С. 64-81.
7. *Юшкин Н.П.* Роль Академии наук в решении геологических проблем и в формировании минерально-сырьевого комплекса Тимано-Североуральского региона // *Вестн. ОГТГН РАН*, 1999. № 2(8). С. 113-114.
8. *Мартыненко В.А., Котелина Н.С.* Александр Иннокентьевич Толмачев: Серия «Люди науки». Вып. 29. Сыктывкар, 1998. 32 с.
9. *Елисеев А.И.* Профессор Александр Александрович Чернов. Сыктывкар, 2002. 60 с.
10. *Научный архив Учреждения Российской академии наук Коми НЦ УрО РАН* Ф. 1. Оп. 1. Д. 43. Л. 6.
11. *Архив РАН*. Ф. 188. Оп.1 (1931-1942). Д. 1051. Л. 1-7.
12. *НА Коми НЦ УрО РАН* Ф. 1. Оп. 1. Д. 42. Л. 2.
13. *ГУ РК НАРК* Хр. 1. Р. 1329 Оп. 1 Д. 679. Л. 101-102.
14. *НА Коми НЦ УрО РАН* Ф. 1. Оп. 1. Д. 62 а. Л. 5 об.
15. *НА Коми НЦ УрО РАН* Ф.1 Оп. 1, Д.98. Л.145-160, 172-180.
16. *НА Коми НЦ УрО РАН* Ф.1 Оп. 1, Д.98. Л.58-71.
17. *НА Коми НЦ УрО РАН* Ф.1 Оп. 18, Д.12. Л.69.
18. *Архив РАН*. Ф. 188. Оп. 1 (1946-1950). Д. 3. Л. 2-5, 15-18.
19. *Роцевский М.П.* Избранные статьи и выступления. Сыктывкар, 2003.
20. *НА Коми НЦ УрО РАН*. Ф. 44. Оп. 4 в. Д. 28. Л. 15-16.

РЕЦЕНЗИЯ

на издание «Документальная история

Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Коми филиал АН СССР в 1944-1964 гг.» (Сыктывкар, 2009. 456 с.)

Представленный на рецензирование труд «Документальная история Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Коми филиал АН СССР 1944-1964 гг.» является важным шагом в исследовании становления не только академической науки нашей республики. Он представляет научную ценность для объективного освещения многих аспектов истории Коми АССР. Рецензируемая работа позволяет обогатить и нередко существенно уточнить и расширить знания по истории науки СССР, функционирования и взаимодействия академических научных учреждений, влияние на науку государственных и местных органов власти, политики в целом.

В отличие от внешне подобных изданий авторы рецензируемого труда предлагают свою структуру. Ранее традиционно выделялись разделы «Предисловие», «Документы» и «Комментарии». В данной рукописи после «Предисловия» разработан раздел «Хроника», за которым следуют «Комментарии» и лишь потом размещена подборка документов. Такая структура является новой и, на мой взгляд, весьма удачной. С одной стороны, комментарии соединяют раздел «Хроники» с разделом «Документы», с другой – существенно облегчают понимание сути документальных материалов.

В «Предисловии» авторы емко и объективно оценивают значение науки и научных учреждений, определяются с периодизацией развития научного академического учреждения нашей республики, вплетения его в историю страны. Они выделяют три этапа развития Коми НЦ УрО РАН, предлагая объективные научно-исторические критерии периодизации. Особенно фундаментально обосновано выделение 1 этапа – 1944-1964 гг., что вполне понятно – именно этому этапу посвящен рецензируемый труд. «Предисловие» оцениваю как добротное самостоятельное историческое исследование, полезное с методологической и историографической точки зрения. Очень важно и то, что авторы уделили серьезное внимание анализу и группировке источников. Иными словами, раздел представляет интерес и для источниковедов. Раздел «Хроника» авторами продуман именно в сочетании с «Предисловием». Важно, что один другого не повторяет, хотя добиться этого автором явно было не просто.

Очень основателен раздел «Комментарии». Он удачно сочетается и с «Хроникой», и с разделом «Документы». Подбор последних отражает все стороны и аспекты становления научного академического учреждения нашей республики. Понятно, что авторы рецензируемого труда разработали «Послесловие» и «Приложения». В последнем самостоятельное научно-исследовательское значение имеют «Биографии» и «Структура» Коми филиала АН СССР за 1944-1964 гг.

В качестве основного критически-дискуссионного замечания вынужден обратить внимание на часть названия труда «документальная история». Представляется, что это не совсем «талантливое» определение для талантливо исполненной работы. Есть научные определения «политическая история», «история философии» и другие «истории», была «история КПСС», но «документальная история», – в каком смысле? Может ли быть история без документов, источников? Кроме этого, могут ли будущие исследователи назвать диссертацию «История Коми НЦ УрО РАН», чем такое исследование будет отличаться от рецензируемого? Вероятно, более выверенным было бы название «Коми филиал АН СССР (в крайнем случае – «Коми НЦ УрО РАН») в 1944-1964 гг.: хроника, комментарии, документы».

В заключение подчеркну, что рецензируемый труд вносит существенный вклад в развитие исторической науки и вне всякого сомнения его опубликование большая заслуга авторского коллектива к.и.н. А.А.Бровиной, к.и.н. А.В.Самарина, к.и.н. Э.Г.Чупровой под руководством д.и.н. Л.П.Рощевской.

Доцент кафедры истории России,
этнографии и археологии
Сыктывкарского государственного университета, к.и.н.

П.П.Котов

ИЯ ВАСИЛЬЕВНА ЗАБОЕВА



12 мая 2009 г. исполнилось 85 лет известному исследователю северных почв, заслуженному деятелю науки РСФСР, заслуженному работнику науки и культуры Коми АССР, лауреату премии ВАСХНИЛ им. акад. В.Р.Вильямса, лауреату Государственной премии Республики Коми в области науки, главному научному сотруднику от-

дела почвоведения Института биологии Коми НЦ УрО РАН, доктору сельскохозяйственных наук, профессору **Ие Васильевне Забоевой**.

С именем Ии Васильевны, крупного почвовед-географа, связано не только развитие новых направлений в Институте биологии, но и создание школы почвоведов Республики Коми, которая внесла весомый вклад в познание особенностей функционирования и эволюции почв и почвенного покрова на Европейском Северо-Востоке. Ия Васильевна всегда уделяла и уделяет особое внимание организации стационарных исследований по изучению процессов и режимов формирования целинных и пахотных почв. На основе именно таких исследований ею впервые были выявлены основные закономерности развития подзолистых и глееподзолистых почв, установлены их генетические, диагностические и агропроизводственные характеристики, особенности их свойств и режимов, разработаны рекомендации по повышению их эффективного плодородия и использованию в сельскохозяйственном производстве. При ее непосредственном участии выявлен количественный и качественный характер почвенного покрова Республики Коми, дан почвенный состав земельных ресурсов, составлен классификационный список почв республики. Все эти материалы легли в основу докторской диссертации «Почвы и земельные ресурсы Коми АССР», которую Ия Васильевна успешно защитила в 1973 г. в Почвенном институте им. В.В.Докучаева. А монография И.В. Забоевой «Почвы и земельные ресурсы Коми АССР» (1975) по праву считается классическим научным трудом и является настольной книгой нескольких поколений почвоведов России.

Глубокое детальное изучение современных почвенных процессов позволили Ие Васильевне Забоевой с сотрудниками отдела почвоведения Института биологии доказать наличие подзолообразовательного процесса на Европейском Северо-Востоке на суглинистых почвообразующих породах, что оспаривалось зарубежными иссле-

дователями. Позднее на экскурсии вблизи Сыктывкара, организованной в рамках X Международного конгресса почвоведов в 1974 г. (Москва), почвоведы всего мира воочию убедились в существовании подзолистых почв на территории Республики Коми.

Без сомнения, самое главное детище Ии Васильевны, основной итог ее многолетнего труда – это почвенная карта Республики Коми. За годы работы по изучению почв под руководством И.В. Забоевой и при ее участии изданы листы Государственной почвенной карты России на территории Европейского Северо-Востока Q-39 (Нарьян-Мар), Q-40 (Печора), Q-41 (Воркута), P-39 (Сыктывкар), P-40 (Красновишерск), созданы серии почвенно-экологических карт, имеющих важное значение для принятия управленческих решений по охране окружающей среды. Почвенная карта востребована на всех уровнях, поскольку она раскрывает причинные связи географических процессов и явлений, важнейшим источником материалов для оценки параметров окружающей среды, прогнозирования изменений ее состояния и научной основой для целей экологической экспертизы.

В 1965 г. Ия Васильевна возглавила Институт биологии Коми филиала АН СССР, которым бессменно руководила в течение 20 лет. В этот период она провела большую организаторскую работу по укреплению и расширению биологических исследований на Европейском Северо-Востоке. При ее непосредственном участии был создан ряд новых направлений в институте. Главное внимание она уделяла не только разработке научных основ рационального использования биологических ресурсов в условиях Севера, но и практическому применению научных рекомендаций в сельскохозяйственном производстве, в лесном хозяйстве, по охране окружающей среды. Институт был выполнен коллективная работа по спасению Коми края от надвигающейся беды – переброски части стока Печоры и Вычегды в бассейн Каспийского моря путем создания системы обширных водохранилищ с затоплением огромных территорий с населенными пунктами. Биологами были показаны невосполнимые потери земельных и лесных ресурсов, растительного и животного мира. И в том, что Правительством страны было принято решение о прекращении работ по повороту стока северных рек на юг (а эти работы уже были начаты), – есть заслуга и Института биологии.

Она – инициатор и организатор проведения многих российских и международных конференций как по биологическим проблемам в целом, так и по почвоведению. Большой резонанс в среде почвоведов получили Международные конференции

«Криопедология – 1997», «Биогеография – 2002», «Лесное почвоведение: итоги, проблемы, перспективы» (2007). На этих конференциях участвовали почвоведы США, Канады, Германии, Франции, Голландии, Дании, Финляндии, Венгрии, Китая, Италии, Турции и других стран. Ия Васильевна – потрясающий лектор, ее доклады на конференциях и, особенно во время полевых почвенных экскурсий, практически никого не оставляют равнодушным.

Ия Васильевна и сегодня полна желания передать научный опыт подрастающему поколению почвоведов. Она осуществляет научное руководство аспирантами и докторантами, руководит научными проектами. Она – председатель Коми отделения Докучаевского общества почво-

ведов РАН, почетный член Президиума Коми НЦ, ученого совета Института биологии и член его диссертационного совета.

Ия Васильевна Забоева не только крупный ученый, блестящий педагог, активный общественный деятель, но и человек огромного личного обаяния. Беззаветная преданность науке, научная принципиальность, одухотворенность, пронесенная через все перемены нашей жизни (экономические, политические и прочие), огромное жизнелюбие – вот та основа, на которой сформировался уникальный исследователь Земли Коми, известный почвовед Республики Коми и Российской Федерации – Ия Васильевна Забоева.

редколлегия

НИКОЛАЙ ИОСИФОВИЧ ТИМОНИН



2 января 2009 г. исполнилось 75 лет кавалеру ордена «Знак Почета», заслуженному деятелю науки Республики Коми, лауреату Государственной премии Республики Коми, главному научному сотруднику, доктору геолого-минералогических наук **Николаю Иосифовичу Тимонину**.

Н.И.Тимонин внес существенный вклад в изучение геологии Северного Урала и Новой Земли. По результатам работ, в том числе лично выполненных полевых исследований на Тимане, Северном Приуралье, Приполярном и Полярном Урале, Пай-Хое, островах Вайгач и Новая Земля, Н.И.Тимониным проведена палеотектоническая реконструкция территории Северо-Востока европейской части России, разработаны геодинамические модели развития Печорской плиты и Пай-Хоя, выделены главные рубежи структурной перестройки в истории развития Печорской плиты и составлены структурные карты по основным поверхностям несогласий. Фактической основой проведенных работ послужили материалы геолого-геофизических исследований и более 20 экспедиционных работ. Свыше 30 лет посвятил ученый проблемам геологического развития печорской плиты. Благодаря этим работам была дана перспективная оценка мало изученного восточного ограничения провинции, установлены новые поисковые критерии, намечены и обоснованы

новые площади для поисковых и разведочных работ на нефть и газ.

Результаты исследований ученого отражены в более чем 200 научных работах. Среди них фундаментальные монографии: «Тектоника гряды Чернышева», «Печорская плита: история геологического развития в фанерозое», «Палеогеодинамика Пай-Хоя», «Минерагения Пай-Хоя». Работы Н.И.Тимонина экспонировались на Выставке достижений народного хозяйства СССР. Одна из них удостоена Бронзовой медали ВДНХ (1977).

Н.И. Тимонин – крупный организатор науки. В 1983-1996 гг. на посту заместителя председателя Президиума Коми НЦ УрО РАН провел большую работу по организации научных исследований в Республике Коми, становлении и укреплении академических учреждений на европейском Севере России. Николай Иосифович активно участвовал в реорганизации Коми филиала АН СССР в Коми научный центр, в организации и проведении ряда международных, всероссийских и региональных конференций и совещаний; много внимания уделял координации исследований в регионе. Ученый был одним из организаторов и руководителей научных экологических программ: «Чистая Печора» (1986), «Охраняемые природные территории Республики Коми» (1996), членом редакционных коллегий по выпуску серийных изданий Президиума Коми НЦ УрО РАН, заместителем главного редактора трехтомной энциклопедии «Республика Коми».

Тимонин Николай Иосифович не только крупный ученый, но и заметный в республике общественный деятель.

редколлегия

ЮРИЙ ГРИГОРЬЕВИЧ СОЛОНИН



21 июня 2009 г. исполнилось 70 лет известному российскому ученому в области физиологии труда, физиологии и экологии человека, доктору медицинских наук, профессору, заведующему лабораторией социальной физиологии Института физиологии Коми НЦ УрО РАН **Юрию Григорьевичу Солонину**.

Ю.Г. Солонин успешно развивает актуальное направление в физиологии человека – широтную физиологию. Юрий Григорьевич впервые выявил у жителей Европейского Севера замедленные сенсомоторные реакции, сниженные переносимость гипоксемии и уровни физического здоровья, ускоренные темпы возрастной инволюции физиологических функций и ухудшения здоровья.

Им установлены зависимости между физической нагрузкой, физическим напряжением, утомлением и состоянием здоровья рабочих ведущих отраслей промышленности, выявлено неспецифическое влияние физической перегрузки, проявляющееся в повышении уровня общей заболеваемости с временной нетрудоспособностью. Ю.Г. Солониным подготовлены первые в стране, утвержденные Минздравом СССР в 1980 г., методические рекомендации «Физиологические нормы напряжения организма при физическом труде», которые оказались широко востребованными, и действуют до сих пор, а основные положения включены в руководства для врачей и научных работников, в учебники, справочники и документы Госсанэпиднадзора.

С 1985 г. Ю.Г.Солонин работает в Коми научном центре. Руководит лабораторией экологической физиологии человека на Севере Института физиологии. Он ведет активную педагогическую деятельность в вузах Сыктывкара. В 1994-2002 гг. работал главным государственным экспертом по условиям труда в Министерстве труда Республики Коми. В 2009 г. Ю.Г.Солонин активно включился в исследования Института медико-биологических проблем РАН по престижному международному проекту «Марс-500» (сателлитный наземный эксперимент в Сыктывкаре).

Ю.Г. Солонин является членом подкомиссии «Профессиональный риск и здоровье при воздействии неблагоприятных факторов трудового процесса» Проблемной комиссии Научного совета при РАМН, он – председатель Коми отделения Всероссийского физиологического общества при РАН и член Центрального Совета этого общества, член правления Сыктывкарского отделения геронтологического общества при РАН, председатель комитета по биоэтике при Институте физиологии Коми НЦ УрО РАН.

Трудовые достижения Ю.Г.Солонина отмечены наградами, среди них медаль «За освоение целинных земель» (1958), дипломы Всесоюзного Совета НТО за лучшие НИР по охране труда (1978, 1980), знак «Отличник здравоохранения» (1979), грамоты общества «Знание» (1997, 2002), почетная грамота Министерства труда и социального развития РФ (2001), Почетная грамота РАН и Профсоюза работников РАН (2008). В 2003 г. ему присвоено почетное звание «Заслуженный работник Республики Коми».

редколлегия

АНАТОЛИЙ ДМИТРИЕВИЧ НАПАЛКОВ



2 сентября 2009 г. исполнилось 70 лет известному ученому, организатору науки, политическому и общественному деятелю, заслуженному работнику народного хозяйства, лауреату Государственной премии Республики Коми, ведущему научному сотруднику Института языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН, кандидату исторических наук, члену-корреспонденту Академии военно-исторических наук **Анатолию Дмитриевичу Напалкову**.

А.Д.Напалков внес крупный вклад в изучение проблемы истории представительных органов власти республики, их места и роли в сложном и противоречивом процессе национально-государственного строительства. Его исследования содействовали гармонизации межнацио-

нальных отношений, развитию этнокультурных связей между народами Европейского Севера, активизации социокультурных контактов финно-угорских республик и регионов России, укреплению международного гуманитарного научного сотрудничества.

Ученый опубликовал серию обобщающих работ, которые подвели определенный итог исследованиям политической истории Коми: монографии «Представительные органы государственной власти Республики Коми: опыт конкретно-исторического анализа», «От Верховного Совета к Государственному Совету Республики Коми (представительные органы власти республики во второй половине 80-х – 90-е годы)», «Законодательная власть Республики Коми: очерки истории», «История Республики Коми», брошюры «Государственное строительство в Коми АССР во второй половине 40-х – 80-е годы», «Верховный Совет Коми АССР на новом историческом этапе» и др. Всего А.Д.Напалков написал более 80 научных работ, которые стали важным вкладом в историю

графию представительных органов власти, в историю национально-государственного строительства в республике в целом; являлся ответственным редактором и членом редколлегии многих изданий.

Его научное творчество имеет важное практическое значение. Авторский подход к рассмотрению проблемы позволяет актуализировать опыт деятельности Советов народных депутатов с точки зрения привлечения всего положительного в современную общественно-политическую практику. Публикации А.Д. Напалкова имеют также большую практическую значимость для изучения исторического опыта формирования и функционирования представительных органов власти республики, для организации учебного процесса в высших учебных заведениях. Ученый вносит неоценимый вклад в организацию и проведение различных собраний и совещаний Коми отделения Академии военно-исторических наук.

В ноябре 1985 г. А.Д.Напалков возглавил Институт языка, литературы и истории Коми филиала АН СССР и был его директором более 10 лет. Под его умелым руководством удалось значительно укрепить научный потенциал института: были подготовлены кадры высшей квалификации, осуществлены фундаментальные исследования, проведены крупные международные, всесоюзные, всероссийские и региональные научные форумы, углубилось международное научное сотрудничество, усилилась практическая значимость работ института.

А.Д.Напалков активно участвовал и в общественной жизни республики, став одним из инициаторов создания общества «Коми котыр» и членом его правления. Большую роль сыграл он и в подготовке съездов коми народа. Анатолий Дмитриевич руководил группой в составе Конституционной комиссии Верховного Совета Коми республики, входил в комиссию Верховного Совета по подготовке закона о коми языке, участвовал в подготовке «Программы совершенствования национальных отношений» в Коми республике и «Декларации о суверенитете Коми ССР». Поддержал он и идею о возрождении краеведческого движения в республике, воссоздании Общества изучения Коми края. Огромное значение ученый придает популяризации научных знаний, выступая с лекциями и участвуя в телепередачах.

А.Д.Напалков награжден медалями «За доблестный труд» и «Ветеран труда», медалью Академии военно-исторических наук «За отличие», Почетными грамотами Президиума Верховного Совета Коми АССР, Государственного Совета Республики Коми и др. Он – почетный член ученого совета института, член Коми регионального комитета международного общества финно-угорских историков «Fennougrica», Президиума Коми отделения Академии военно-исторических наук.

редколлегия

КАПИТОЛИНА СТЕПАНОВНА БОБКОВА



В ноябре 2009 г. отметила 70 летний юбилей лауреат Государственной премии Республики Коми, заслуженный работник Республики Коми, главный научный сотрудник Института биологии Коми НЦ УрО РАН, профессор, доктор биологических наук **Капитолина Степановна Бобкова**.

К.С. Бобкова – признанный специалист в области таежного лесоведения, лесной экологии, биогеоценологии. Она автор и соавтор более 200 научных работ, в том числе девяти монографий. Ею установлены зональные, фитоценотические и экотопические закономерности структурной организации, биологической продуктивности фитоценозов, обмена вещества в хвойных и лиственно-хвойных биогеоценозах Северо-Востока европейской тайги. Выявлены экологические факторы, определяющие продуктивность лесных насаждений на Севере; дана количественная и качественная оценка древесных и недревесных ресурсов хвойных насаждений Республики Коми. Разработанные ею предложения внесли значительный вклад в развитие теории лесной экологии, лесоводства.

К.С. Бобкова внесла большой вклад в развитие стационарных исследований лесных экосистем Севера. Коллективом авторов под ее руководством разработана теория биопродукционного процесса и устойчивости лесных экосистем в условиях Севера, проводится оценка баланса углерода в лесных сообществах и трансформации лесных фитоценозов в зоне действия крупных лесопромышленных производств.

Капитолина Степановна соавтор разработки «Генеральной схемы комплексного развития и размещения предприятий лесной, деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной промышленности и лесного хозяйства Республики Коми», «Схемы развития и размещения производительных сил России до 2015 гг. (Республика Коми)». Как соавтор двухтомной монографии «Леса Республики Коми» и «Лесное хозяйство и лесные ресурсы Республики Коми» она была удостоена Государственной премии Республики Коми.

Помимо научной и педагогической работы К.С. Бобкова ведет активную общественную деятельность. Капитолина Степановна – одна из старейших членов Российского ботанического общества, Общества физиологов растений. При ее поддержке и активном участии в Сыктывдинском районном музее создан Клуб ученых, который объединил видных деятелей науки – уроженцев Сыктывдинского района.

редколлегия

АЛЕКСАНДР ФРАНСОВИЧ СМЕТАНИН



24 апреля 2009 г. исполнилось 60 лет заслуженному работнику Республики Коми, академику Академии военно-исторических наук, организатору науки, директору Института языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН, кандидату исторических наук, доценту **Александру Франсовичу Сметанину**.

А.Ф.Сметанин – ведущий специалист в области аграрной истории Коми края XX в. Из-под его пера вышли работы, посвященные изменениям социально-классовой структуры сельского населения Коми АССР, развитию коми деревни, социально-политическим, экономическим и социально-культурным аспектам истории крестьянства республики 1930–1980-х гг. Фактически А.Ф.Сметанин первым приступил к специальному углубленному исследованию процессов развития колхозного строя и колхозного крестьянства, его численности, состава, места в социально-классовой структуре населения Коми АССР, основных отраслей колхозного производства и др. Ученый привлек богатый исторический материал по аграрной истории других регионов, показал сходство и региональные различия в истории крестьянства европейского Севера России. Основные результаты научных исследований А.Ф.Сметанина были обобщены в монографии «Советская северная деревня в 60-е – первой половине 80-х гг.» (1995). В этом и других трудах (их более 130) проанализированы формирование и реализация принципов аграрной политики государства в послевоенный период, отмечен ее региональный аспект, выявлены особенности социального и экономического развития северной деревни, прослежена динамика сельскохозяйственного производства, освещены демографические процессы в сельской местности, связь их с общей ситуацией в аграрной подсистеме общества.

Параллельно с изучением аграрной истории ученый во второй половине 80-х гг. начал активно исследовать проблемы развития национальной государственности народа коми. В опубликованной им большой серии работ, включая написанные в соавторстве с коллегами монографии «В начале пути. Очерки истории становления и развития Коми автономии» (1996), книге «Республика Коми – 80 лет» (2001), «Законодательная власть Республики Коми: очерки истории» (2008), показано, что в условиях федеративного государства для национального прогресса любого народа, с одной стороны, обязательно предоставление ему необходимой свободы самовыражения и самостоятельного исторического творчества, с другой – обеспечение общегосударственных гарантий реализации этих прав.

А.Ф.Сметанин имеет большой авторитет не только как ученый, но и как организатор. С 1995 по 2008 г. он являлся заместителем председателя Президиума Коми научного центра УрО РАН, а с 1996 г. одновременно возглавляет Институт языка, литературы и истории Коми НЦ. В институте под его руководством опубликованы фундаментальные обобщающие работы по историческим и филологическим наукам, проведены крупные международные и региональные конференции. Усилилась практическая направленность деятельности института, что проявилось в подготовке учебников для школ и вузов и научно-популярных изданий для населения республики.

Александра Франсовича хорошо знают не только в Республике Коми, но и в других финно-угорских республиках России. Он избран членом правления международного общества историков «Fennougrica», членом Российского комитета историков-финноугроведов.

редколлегия

АЛЕКСАНДР ВАСИЛЬЕВИЧ КУЧИН



31 мая 2009 г. отметил 60-летний юбилей член-корреспондент РАН, лауреат премии РАН им. А.Н. Несмеянова, лауреат премии Правительства Республики Коми им. П.А. Сорокина, удостоенный медали ордена «За заслуги перед Отечеством II степени», доктор химических наук, профессор, директор Института химии Коми НЦ

УрО РАН **Александр Васильевич Кучин**.

А.В. Кучин – крупный специалист в области органической химии. Им разработаны научные основы переработки продуктов лесохимии для получения биологически активных веществ. Разработаны высокоэффективные способы очистки сульфатного скипидара, выделения полипреолов из сульфатного мыла. Предложен оригинальный способ комплексной переработки древесной зелени, позволяющий повысить выход экстрактивных веществ в два-три раза по сравнению с известными методами. Для селективного окисления в органическом синтезе предложен

новый реагент – диоксид хлора и разработаны методы его использования.

Развивая идеи школы академика Б.А.Арбузова, А.В. Кучин показал высокую перспективность пиролизических превращений крупнотоннажных монотерпенов. Под его руководством разработаны катализаторы полимеризации оксиранов, оксетанов и алкилирования фенолов; сесквитерпеновые репелленты для защиты крупного рогатого скота от кровососущих насекомых; органоминеральное удобрение на основе отходов производства лесопромышленного комплекса; рост-стимулирующие и защитные препараты для растениеводства, способ очистки сульфатного скипидара от сераорганических соединений с получением ценных товарных продуктов; высокоэффективный способ переработки древесной зелени хвойных пород; синтез компонентов некоторых феромонов, используемых для защиты леса и сельскохозяйственных культур, сорбенты для медицины и технических целей.

В 1990 г. А.В. Кучин возглавил Отдел химии Коми научного центра УрО АН СССР. С его приходом научные исследования в Отделе приобрели большую академичность. Основные направления исследований несколько изменились: больше внимания стало уделяться исследованиям в области органического синтеза и лесохимии. Александр Васильевич сумел серьезно укрепить научный авторитет, кадровый состав и материальную базу Отдела химии, и в конце 1995 г. Отдел был преобразован в Институт химии Коми научного центра Уральского отделения РАН. За время работы А.В. Кучина на посту директора существенно расширились связи с отечественными и зарубежными научно-исследовательскими учреждениями и ВУЗами. Выполняется много совместных работ (проектов) с учеными Уральского, Сибирского и Дальневосточного отделений РАН.

В институте создана научная школа под руководством чл.-корр. РАН А.В. Кучина. Разработаны оригинальные подходы к комплексной переработке древесной зелени хвойных пород деревьев, позволяющие выделять полипренолы,

фитол, каротиноиды, полиеновые и смоляные кислоты, моно-, сесквитерпены и др. Осуществляется синтез О-, N- и S-органических соединений из монотерпеноидов – компонентов возобновляемого растительного сырья – для получения потенциально физиологически активных веществ. К настоящему времени А.В. Кучин – автор и соавтор более 300 научных трудов, в том числе 75 патентов.

Большое внимание ученый уделял и уделяет работе с молодежью и подготовке научных кадров. В середине 1990-х годов он возглавлял работу Малой Академии г. Сыктывкара. При непосредственном участии Александра Васильевича совместно с Сыктывкарским госуниверситетом и Сыктывкарским лесным институтом создан учебно-научный центр «Физико-химическая биология». С 2002 г. А.В. Кучин возглавляет кафедру органической химии Сыктывкарского университета, читает лекции, руководит курсовыми и дипломными работами студентов.

Александр Васильевич ведет большую научно-организационную работу – он член Научного совета по органической и элементоорганической химии ОХНМ РАН (Отделения химии и наук о материалах), Объединенного совета УрО РАН по химии, до недавнего времени был ученым секретарем Научного совета «Химия и технологии переработки возобновляемого растительного сырья (исключая целлюлозу)» Российской Государственной научно-технической программы Министерства образования и науки РФ и координировал работу 15 ведущих институтов России, он член правления Российского химического общества им. Д.И. Менделеева, член комиссии УрО РАН по работе с молодежью, член Президиума Коми НЦ УрО РАН, член оргкомитетов Всероссийских конференций.

Александр Васильевич полон творческой энергии, плодотворных идей, перспективных планов, желания передать свой богатый научный опыт молодому поколению.

редколлегия



11 января 2010 г. на 81 году жизни скончался заслуженный деятель науки Коми АССР и Российской Федерации, главный научный сотрудник, советник лаборатории литологии и геохимии осадочных формаций Института геологии Коми НЦ УрО РАН, доктор геолого-минералогических наук, профессор Сыктывкарского государственного университета

АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ ЕЛИСЕЕВ

А.И. Елисеев родился 17 марта 1929 г. в Карелии. В 1952 г. окончил геологический факультет Карело-Финского государственного университета и был принят на работу в Коми филиал АН СССР на должность младшего научного сотрудника Отдела геологии, впоследствии преобразованного в Институт геологии. В 1962 г. в Геологическом институте АН СССР в Москве защитил кандидатскую диссертацию, в 1983 г. – там же докторскую. В 1967-1975 гг. – заведовал лабораторией региональной геологии и тектоники, 1976-1996 гг. – лабораторией литологии и геохимии осадочного рудогенеза (с 1991 – лаборатория литологии и геохимии осадочных формаций). С 2003 г. профессор кафедры геологии Сыктывкарского государственного университета. С 2004 г. главный научный сотрудник Института геологии Коми НЦ УрО РАН.

А.И. Елисеевым детально исследованы палеозойские отложения севера Урала и Пай-Хоя, разработана их стратиграфия, установлены механизмы и закономерности осадкообразования и осадочного рудогенеза, дан прогноз на целый ряд полезных ископаемых. Наиболее выдающимся достижением стало проведение формационного анализа на принципиально новой разработанной им методической основе, выделение новых формаций и формационных рядов. В 1963-1964 гг. ученый проводил геологические исследования в Республике Мали. Внес большой вклад в познание истории геологических исследований. С началом подготовки геологов в Сыктывкарском госуниверситете А.И.Елисеев энергично включился в нее, раскрыв свой уникальный педагогический талант. Он был научным руководителем многих аспирантов и консультантом докторантов.

Им опубликовано более 130 научных работ, в том числе три фундаментальные монографии: «Стратиграфия и литология каменноугольных отложений гряды Чернышева» (1963), «Карбон Лемвинской зоны севера Урала» (1973), «Формации зон ограничения северо-востока Европейской платформы» (1978). Награжден орденом «Знак Почета», медалями, знаком «Почетный разведчик недр». Его именем назван целый ряд новых видов древних организмов.

А.И. Елисеев проработал в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН 57 лет.

НАГРАДЫ

СОТРУДНИКИ КОМИ НЦ УрО РАН, ПОЛУЧИВШИЕ ГОСУДАРСТВЕННЫЕ НАГРАДЫ В 2009 г.



Председатель Коми НЦ УрО РАН, директор Института геологии Коми НЦ УрО РАН, член-корреспондент РАН **Асхаб Магомедович Асхабов** награжден **орденом «Дружбы»** за большой вклад в развитие фундаментальных и прикладных исследований в области нанотехнологии и заслуги в укреплении академической науки на Европейском Севере.



Медалью ордена «За заслуги перед Отечеством II степени» награждены: ученый секретарь Института языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН, к.и.н. **Игорь Орестович Васкул** и старший научный сотрудник того же института, к.и.н. **Александр Михайлович Мурыгин** за большой вклад в развитие археологических исследований в Республике Коми и в России, за подготовку ряда трудов, имеющих важное научное и практическое значение.



Директор Института биологии Коми НЦ УрО РАН, к.б.н. **Анатолий Иванович Таскаев**, старший научный сотрудник лаборатории биохимии и биотехнологии Института биологии Коми НЦ УрО РАН, к.б.н. **Мария Юрьевна Маркарова** и д.г.-м.н. экс-министр природных ресурсов Республики Коми **Александр Павлович Боровинских** были удостоены **Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники** за цикл работ по теме «Разработка и внедрение комплекса биотехнологий и систем восстановления нарушенных и загрязненных углеводородами тундровых и северотаежных биогеоценозов».



Почетного звания «Заслуженный деятель науки Российской Федерации» удостоен д.б.н., профессор **Модест Михайлович Долгин** за существенный вклад в изучение фауны и экологии наземных и почвенных беспозвоночных европейского Северо-Востока России.

Почетного звания «Заслуженный работник Республики Коми» удостоены д.г.-м.н. **Людмила Николаевна Андреичева** (Институт геологии), д.х.н. **Анатолий Петрович Карманов** (Институт химии), к.х.н. **Светлана Альбертовна Рубцова** (Институт химии) за заслуги перед республикой в научно-исследовательской деятельности.

Почетной грамотой Республики Коми награждены к.и.н. **Татьяна Леонидовна Кузнецова** (Институт языка, литературы и истории), **Петр Петрович Юханов** (Институт геологии), к.б.н. **Сергей Владимирович Попов** (Институт биологии), к.г.-м.н. **Валентин Леонидович Андреичев** (Институт геологии).

Премия Правительства Республики Коми в области научных исследований вручена: **Валерию Ивановичу Силаеву** за монографическую работу «Механизмы и закономерности эпигенетического марганцевого минералообразования» (Институт геологии); **Владимиру Витальевичу Володину**, **Светлане Олеговне Володиной**, **Ивану Федоровичу Чадину**, **Вере Антоновне Мартыненко** за цикл работ «Экдистероидсодержащие растения: ресурсы и биотехнология использования» (Институт биологии); **Игорю Любомировичу Жеребцову**, **Анатолию Дмитриевичу Напалкову**, **Александру Франсовичу Сметанину** за работу «Законодательная власть Республики Коми: очерки истории» (Институт языка, литературы и истории).

Научный журнал

ИЗВЕСТИЯ

Коми научного центра
Уральского отделения РАН

Вып.2

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 23.08.2010.
Формат бумаги 60x84¹/₈. Печать офсетная.
Усл.-печ.л. 16. Уч.-изд.л. 16,2. Тираж 300. Заказ № 42.

Информационно-издательский отдел
Коми научного центра УрО РАН.
167982, ГСП, г.Сыктывкар, ул.Первомайская, 48.