

Научный журнал

Основан в 2010 г.
Выходит 4 раза в год

Учредитель
Коми научный центр
УрО РАН

ИЗВЕСТИЯ

КОМИ НАУЧНОГО ЦЕНТРА
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН

№3(7)

2011

Главный редактор:

член-корреспондент РАН А.М. Асхабов

Редакционная коллегия:

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

Редакционный совет:

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

Адрес редакции:

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

ISSN 1994-5655

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

© Коми научный центр УрО РАН, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

- А.В. Жубр. Некоторые новые результаты о трехмерных узлах в замкнутых 2-связных 6-мерных многообразиях. Часть 2 (доказательства основных теорем) 4
- В.Ф. Соколов. Основы теории робастного управления в l_1 -постановке 13

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

- М.А. Торлопов. Синтез производных целлюлозы, содержащих фосфатные, amino- и меркаптогруппы 23
- Е.Ф. Кривошапкина, П.В. Кривошапкин, Б.Н. Дудкин. Микропористая керамика кордиеритового состава на основе природного сырья 27

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- А.А. Злобин, Е.А. Мартинсон, Ю.С. Оводов. Антиоксидантная и антимикробная активность пектинов ряда растений европейского Севера России 33
- О.Г. Берникова, К.А. Седова, Я.Э. Азаров, А.О. Овечкин, Д.Н. Шмаков. Электрокардиографическое отображение дисперсии реполяризации миокарда: интервал $T_{peak}-T_{end}$ при острой коронарной окклюзии и реперфузии 38
- Ю.Г. Солонин, А.Л. Марков, Е.Р. Бойко. Функциональные показатели здоровья у мужчин-северян 43
- Т.И. Ширшова, Н.А. Голубкина, И.В. Бешлей, Н.В. Матисов. Селенодефицит и возможности его сокращения. Аккумулирующие свойства некоторых представителей рода *allium* l. по отношению к селену 48
- Н.И. Филиппов, М.М. Долгин. Зоогеографическая характеристика фауны шмелей (*hymenoptera*, *apidae*, *bombus latr.*) европейского Северо-Востока России 55

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Л.Н. Андреичева, М.Н. Буравская. Фациальное расчленение голоценового аллювия на средней Вычегде 59
- А.В. Фридман, Н.Н.Тимонина. Перспективы развития нефтедобычи в Республике Коми 64
- А.М. Асхабов. Кватеронная концепция: основные идеи и некоторые приложения 70

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Б.И. Тарбаев, С.Л. Садов, Т.О. Сизоненко. Экономическая оценка истощенного месторождения нефти методом статистической базы 78

ИСТОРИКО-ФИЛОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Е.Ф. Кринко. Репрессии «по закону»: лишение избирательных прав советских граждан 81
- В.И. Меньковский. История ГУЛАГа в новейшей российской историографии 86
- Э.А. Савельева, К.С. Королев. Торгово-экономические связи Перми вычегодской с Волжской Булгарией 89

ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

- О.В. Бурый. Топология бизнес-пространства в топливно-энергетическом секторе Республики Коми 98
- А.А. Гибез, Т.Е. Дмитриева, В.А. Носков. Территориально-отраслевая организация лесопромышленного комплекса Республики Коми 106

- ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТДЕЛ (ЮБИЛЕИ) 112

C O N T E N T S

PHYSICAL And MATHEMATICAL SCIENCES

- A.V.Zhubr.** Some new results on three-dimensional knots in closed two-connected 6-manifolds. Part 2 (Proofs of main theorems) 4
V.F.Sokolov. Foundations of robust control theory in the l_1 setup 13

CHEMICAL SCIENCES

- M.A.Torlopov.** Synthesis of cellulose derivatives containing phosphate, amino and mercapto groups 23
E.F.Krivoshapkina, P.V.Krivoshapkin, B.N.Dudkin. Microporous cordierite ceramics on the basis of natural raw materials 27

BIOLOGICAL SCIENCES

- A.A.Zlobin, E.A.Martinson, Yu.S.Ovodov.** Antioxidant and antimicrobial activities of pectins from some plants of the European North of Russia 33
O.G.Bernikova, K.A.Sedova, Ya.E.Azarov, A.O.Ovechkin, D.N.Shmakov. Electrocardiographic manifestation of the myocardial dispersion of repolarization: interval $T_{\text{peak}}-T_{\text{end}}$ under experimental coronary occlusion and reperfusion 38
Yu.G.Solonin, A.L.Markov, E.R.Bojko. Health indices in male northerners 43
T.I.Shirshova, N.A.Golubkina, I.V.Beshlei, N.V.Matisov. Selenium-deficiency and possibilities of its reduction. Accumulating properties of some representatives of the genus *allium l.* in relation to selenium 48
N.I.Filippov, M.M.Dolgin. Zoogeographic characteristics of Bumblebees fauna (hymenoptera, apidae, bombus latr.) of the European northeast of Russia 55

GEOLOGICAL And MINERALOGICAL SCIENCES

- L.N.Andreicheva, M.N.Buravskaya.** Facies separation of the Holocene alluvium in the Middle Vychegda 59
A.V.Fridman, N.N.Timonina. Prospects of development of oil producing industry in the Republic of Komi 64
A.M.Askhabov. Quataron concept: the main ideas and some applications 70

TECHNICAL SCIENCES

- B.I.Tarbaev, S.L.Sadov, T.O.Sizonenko.** Economic evaluation of the depleted oil fields by statistical basis method 78

HISTORICAL And PHILOLOGICAL SCIENCES

- E.F.Krinko.** Reprisals “under the law”: deprivation of the Soviet citizens of electoral rights 81
V.I.Men’kovsky. History of GULAG in the newest Russian historiography 86
E.A.Savelyeva, K.S.Korolev. Trade-economic relations of the Vychegda Perm with the Volga Bulgaria 89

SOCIAL SCIENCES

- O.V.Buriy.** Business-space typology in the fuel and energy sector of the Komi Republic 98
A.A.Gibezh, T.E.Dmitrieva, V.A.Noskov. Territorial-branch organization of the timber-industrial complex of the Republic of Komi 106

- OFFICIAL (ANNIVERSARIES)** 112

УДК 515.164.6

**НЕКОТОРЫЕ НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ О ТРЕХМЕРНЫХ УЗЛАХ
В ЗАМКНУТЫХ 2-СВЯЗНЫХ 6-МЕРНЫХ МНОГООБРАЗИЯХ.
ЧАСТЬ 2 (ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ОСНОВНЫХ ТЕОРЕМ)**

А.В. ЖУБР

*Отдел математики, Коми научный центр УрО РАН, г.Сыктывкар
avzhubr@gmail.com*

В первой части работы были приведены формулировки ряда теорем, описывающих действие группы Хефлигера 3-мерных узлов в 6-мерной сфере на множестве 3-мерных узлов в 2-связном 6-мерном многообразии. Здесь даются подробные доказательства этих теорем.

Ключевые слова: многомерные узлы, классификация, изотопия, диффеоморфизм

**A.V. ZHUBR. SOME NEW RESULTS ON THREE-DIMENSIONAL KNOTS
IN CLOSED TWO-CONNECTED 6-MANIFOLDS. PART 2 (PROOFS OF MAIN
THEOREMS)**

In the first part of this paper some statements were given, describing the action of the Heepliter group of 3-knots in the 6-sphere on the set of 3-knots in a 2-connected 6-manifold. Here we provide detailed proofs of these statements.

Key words: high-dimensional knots, classification, isotopy, diffeomorphism

Настоящая статья представляет собой завершение работы [1]. Здесь приводятся подробные доказательства основных утверждений, сформулированных в конце первой части (теоремы 1–3 разд. 14). Мы используем единую (сквозную) нумерацию всех элементов текста, так что, например, “рис. 8” означает ссылку на часть 1, а “рис. 9” — на настоящий текст. Сказанное не относится к списку литературы: каждая из частей имеет собственный список.

15. Несколько вспомогательных утверждений

Нам понадобится некоторое расширение “области определения” инвариантов μ и γ . Мы теперь будем считать, что набор $(\mu, \gamma) \in \mathbb{Z}_{d \cdot (3,d)} \oplus \mathbb{Z}_d$ определен (для каждого $d = 0, 1, 2, \dots$) на множестве пар вида (M, ω) , где M — замкнутое односвязное 6-мерное спинорное многообразие и $\omega \in H^2(M; \mathbb{Z}_d)$ — произвольный класс когомологий (таким образом, теперь мы не требуем, чтобы группа $H_2(M)$ была изоморфна группе $\mathbb{Z}_d$, или чтобы класс ω являлся образующей группы $H^2(M; \mathbb{Z}_d)$). Возможность такого расширения, как и то, что равенства (12)–(14) продолжают при этом выполняться, следует из результатов работы [2] (см. ниже замечания к лемме 5, являющейся, по существу, следствием определений).

Лемма 5. Пусть (M, ω) и (M_1, ω_1) — две такие пары как выше. Пусть W — спинорное 7-мерное многообразие с краем $\partial W = \bar{M} \cup M_1$ (т. е. спинорный кобордизм между M и M_1), и пусть класс $\sigma \in H^2(W; \mathbb{Z}_d)$

удовлетворяет условиям $\sigma|_M = \omega$, $\sigma|_{M_1} = \omega_1$. Тогда $\mu(M, \omega) = \mu(M_1, \omega_1)$ и $\gamma(M, \omega) = \gamma(M_1, \omega_1)$.

Несколько замечаний вместо доказательства. Пара (M, ω) определяет гомотопический класс отображений $M \rightarrow K(\mathbb{Z}_d, 2)$, и тем самым некоторый элемент $[M, \omega]$ (класс спинорных бордизмов) группы $\Omega_6^{spin}(\mathbb{Z}_d, 2)$. Таким образом, смысл леммы 5 в том, что “правильная” область определения инвариантов μ и γ — это группа спинорных бордизмов $\Omega_6^{spin}(\mathbb{Z}_d, 2)$. Но это именно тот самый способ, которым инварианты μ, γ и определяются в работе [2] (напомним, что инвариант γ обозначается там через p). Более того, как утверждает теорема 5 цитируемой работы, отображение

$$(\mu, \gamma) : \Omega_6^{spin}(\mathbb{Z}_d, 2) \rightarrow \mathbb{Z}_{d \cdot (3,d)} \oplus \mathbb{Z}_d$$

— мономорфизм, а образ этого мономорфизма — подгруппа группы $\mathbb{Z}_{d \cdot (3,d)} \oplus \mathbb{Z}_d$, заданная соотношением (14) (в действительности гомоморфизм (μ, γ) рассматривается в работе [2] в гораздо более общей ситуации).

Следствие 5. Пусть X, Y — замкнутые 2-связные 6-мерные многообразия и $f : S^3 \times D^3 \rightarrow X$ — оснащенный узел в X . Пусть узел $f' : S^3 \times D^3 \rightarrow X \# Y$ получен как композиция отображения f с естественным вложением $X \setminus U_0 \rightarrow X \# Y$, где $U_0 \subset X$ — вложенный шар, отождествление границы которого с границей вложенного шара $V_0 \subset Y$ дает связную

сумму $X \# Y$; иначе говоря, f' — это связная сумма узлов $f \# o$ (см. раздел 4 части 1), где $o : S^3 \times D^3 \rightarrow Y$ — тривиальный узел. Тогда имеют место равенства $\mu(f) = \mu(f')$ и $\gamma(f) = \gamma(f')$.

Доказательство. Пусть (M, h) — пара (многообразие, класс гомологий), построенная по узлу f таким образом, как это описано на стр. 10 части 1, и пусть $\omega \in H^2(M; \mathbb{Z}_d)$ — соответствующий 2-мерный класс когомологий, описанный там же (через d обозначается, как и в 1-й части, индекс узла f). Тогда, в соответствии со сказанным в начале этого раздела, мы можем написать: $\mu(f) = \mu(M, \omega)$, $\gamma(f) = \gamma(M, \omega)$.

Прделаем все то же самое для узла f' , и обозначим соответствующие объекты через M' , h' и ω' . Теперь заметим, что мы можем отождествить многообразие M' (результат перестройки многообразия $X \# Y$ вдоль узла f') со связной суммой $M \# Y$, при этом группа $H_2(M')$ естественным образом отождествляется с $H_2(M)$, а классы h' и ω' — соответственно, с h и ω .

Пусть Q — параллелизуемое многообразие с краем Y (например, связная сумма по краю нужного числа экземпляров произведения $S^3 \times D^4$). Приклеив многообразие Q к одному из оснований цилиндра $I \times (M \# Y)$ по отождествлению

$$\begin{array}{ccc} Q & & I \times (M \# Y) \\ \cup & & \cup \\ Y \setminus V_0 & \longrightarrow & 0 \times (Y \setminus V_0), \end{array}$$

мы получим кобордизм W между M и M' . При этом включения $M \rightarrow W$, $M' \rightarrow W$, как нетрудно видеть, индуцируют изоморфизмы $H^2(W; \mathbb{Z}_d) \rightarrow H^2(M; \mathbb{Z}_d)$ и $H^2(W; \mathbb{Z}_d) \rightarrow H^2(M'; \mathbb{Z}_d)$, что позволяет продолжить классы ω и ω' на многообразие W . Теперь осталось сослаться на лемму 5. $\square$

Замечание 2. Это следствие можно рассматривать как очень специальный случай теоремы 3, которая в полном виде будет доказана ниже.

Лемма 6. Пусть многообразие M имеет вид связной суммы

$$S^4 \times S^2 \# S^4 \times S^2 \# \dots \# S^4 \times S^2. \quad (20)$$

Для любого $d = 0, 1, 2, \dots$ и любого $\omega \in H^2(M; \mathbb{Z}_d)$ имеют место равенства

$$\mu(M, \omega) = 0, \quad (21)$$

$$\gamma(M, \omega) = 0. \quad (22)$$

Доказательство. Прежде всего заметим, что при $d = 0$ утверждение леммы вытекает из соотношений (12), (13) и того очевидного факта, что для многообразия M указанного вида тривиальны кубы любых классов когомологий, а также тривиален класс Понтрягина $p_1(M)$. Далее, любой класс $\omega \in H^2(M; \mathbb{Z}_d)$ может быть представлен как результат приведения по модулю d некоторого класса $\tilde{\omega} \in H^2(M)$, так что мы имеем $P_3(\omega) = \rho_{d, (3, d)}(\tilde{\omega}^3) = 0$, и соотношение (12) опять дает $\mu(M, \omega) = 0$. К сожалению, мы не можем применить это же рассуждение к доказательству равенства (22) в общем случае ввиду множителя 4 в левой части соотношения (13), из-за которого нужное нам равенство получится лишь по мо-

дулю элементов порядка 4. Вместо этого для доказательства равенства (22) мы применим соотношение $\gamma(M, \rho_d \tilde{\omega}) = \rho_d \gamma(M, \tilde{\omega})$, справедливое для любого замкнутого односвязного 6-мерного спинорного многообразия M и любого класса $\tilde{\omega} \in H^2(M)$; это соотношение можно представить в виде коммутативной диаграммы

$$\begin{array}{ccc} \Omega_6^{spin}(\mathbb{Z}, 2) & \xrightarrow{\gamma} & \mathbb{Z} \\ \downarrow \rho_d & & \downarrow \rho_d \\ \Omega_6^{spin}(\mathbb{Z}_d, 2) & \xrightarrow{\gamma} & \mathbb{Z}_d, \end{array} \quad (23)$$

представляющей собой специальный случай диаграммы на странице 842 работы [2]. Принимая во внимание, что класс бордизмов $[M, \tilde{\omega}] \in \Omega_6^{spin}(\mathbb{Z}, 2)$ переводится левой стрелкой ρ_d этой диаграммы в класс $[M, \omega]$, а верхней стрелкой γ в нуль (согласно сказанному выше о случае $d = 0$), мы и получаем требуемое равенство (22). $\square$

Лемма 7. Пусть M — замкнутое односвязное 6-мерное спинорное многообразие, $\omega \in H^2(M; \mathbb{Z}_d)$ — класс когомологий, s — делитель числа d . Имеют место следующие равенства:

$$\mu(M, \rho_s \omega) = \rho_{s(3, s)} \mu(M, \omega),$$

$$\gamma(M, \omega) = \rho_s \gamma(M, \omega).$$

Доказательство. Первое из равенств получается непосредственно как следствие соотношения (12) (часть 1) и соответствующего свойства когомологической операции P_3 :

$$P_3 \circ \rho_s = \rho_{s(3, s)} \circ P_3 \quad (24)$$

(см. [4]). Что же касается второго равенства, то оно прямо вытекает из коммутативности диаграммы

$$\begin{array}{ccc} \Omega_6^{spin}(\mathbb{Z}_d, 2) & \xrightarrow{\gamma} & \mathbb{Z}_d \\ \downarrow \rho_s & & \downarrow \rho_s \\ \Omega_6^{spin}(\mathbb{Z}_s, 2) & \xrightarrow{\gamma} & \mathbb{Z}_s, \end{array} \quad (25)$$

обобщающей диаграмму (23), и из интерпретации инварианта γ как гомоморфизма $\Omega_6^{spin}(\mathbb{Z}_d, 2) \rightarrow \mathbb{Z}_d$. С другой стороны, коммутативность диаграммы (25) легко следует из ее коммутативности в специальном случае (23) и из “подготовительной леммы” работы [2], утверждающей, в частности, что все гомоморфизмы

$$\Omega_6^{spin}(\mathbb{Z}, 2) \xrightarrow{\rho_d} \Omega_6^{spin}(\mathbb{Z}_d, 2)$$

являются эпиморфизмами (соответствующее несложное рассуждение мы опускаем). $\square$

16. Многообразия с краем и “несферические” перестройки

Пусть Y — компактное многообразие с краем; предположим, что многообразие ∂Y , в свою очередь, представлено как объединение многообразий Y_1, Y_2

с общим краем Y_0 . Это так называемая “триада многообразий” (см. [3, с.3–7] относительно общего определения “ n -ады” в произвольной категории). В систематических обозначениях, изложенных в цитированной книге Уолла, то, что мы здесь обозначаем как Y , Y_1 , Y_2 и Y_0 , следует записывать, соответственно, как $Y\{1, 2\}$, $Y\{1\}$, $Y\{2\}$ и $Y\{\emptyset\}$, или, в другом варианте, как $|Y|$, $|\partial_2 Y|$, $|\partial_1 Y|$ и $|\partial_{12} Y|$ (а Y следует понимать как функтор на категории подмножеств множества $\{1, 2\}$ или, в общем случае, множества $\{1, 2, \dots, n\}$), однако мы будем пользоваться более краткой “несистематической” нотацией. Впрочем, нам будет удобно в некоторых случаях обозначать подмногообразия Y_1 и Y_2 как, соответственно, $\partial_2 Y$ и $\partial_1 Y$.

Пусть M — многообразие с краем, и пусть имеется вложение коразмерности нуль

$$\varphi : (Y_1, Y_0) \times D^k \rightarrow (M, \partial M),$$

трансверсальное к краю ∂M (откуда, в частности, следует, что $\varphi^{-1}(\partial M) = Y_0 \times D^k$). В этом случае мы можем образовать новое многообразие с краем

$$\hat{M} = (M \bigcup_{\varphi} (Y \times D^k)) \setminus (Y \times \text{int } D^k), \quad (26)$$

которое будем называть результатом перестройки многообразия M по вложению φ и обозначать $\chi(M, Y, \varphi)$ (как всегда подразумевается, что образовавшиеся при склеивании “углы” сглажены). Как нетрудно видеть, при этом край $\partial \hat{M}$ нового многообразия — это результат аналогичной перестройки:

$$\partial \hat{M} = (\partial M \bigcup_{\varphi_2} (Y_2 \times D^k)) \setminus (Y_2 \times \text{int } D^k), \quad (27)$$

где $\varphi_2 : Y_0 \rightarrow \partial M$ — сужение отображения φ . С помощью введенного выше обозначения $\chi(M, Y, \varphi)$ формула (27) может быть также записана в виде

$$\partial \chi(M, Y, \varphi) = \chi(\partial M, \partial_1 Y, \partial_1 \varphi), \quad (28)$$

где отображение $\varphi_2 = \varphi|_{\partial_1 Y}$ обозначено через $\partial_1 \varphi$.

В дальнейшем мы всегда будем предполагать, что многообразия M и Y (а следовательно и Y_1) ориентированы, и что вложение $\varphi : Y_1 \times D^k \rightarrow M$ согласовано с ориентациями. В этом случае многообразие $\hat{M}$ оказывается, очевидно, также ориентируемым; будем считать, что $\hat{M}$ снабжается ориентацией, *согласованной* с ориентацией многообразия M ; как показывает довольно рутинное вычисление ориентаций, стандартная “ориентация произведения” на многообразии $Y \times S^{k-1}$ отличается от ориентации многообразия $\hat{M}$ множителем $(-1)^{\dim Y - 1}$.

Наконец, в случае, когда триада (Y, Y_1, Y_2) имеет вид $(D^p, S^{p-1}, \emptyset)$, описанная конструкция — это классическая сферическая перестройка индекса p .

Пусть $\dim M = n$, тогда $\dim Y_1 = n - k$. Относительный фундаментальный класс

$$[\varphi(Y_1)] \in H_{n-k}(M, \partial M)$$

обозначается далее через y .

Лемма 8. Пусть выполнены следующие условия:

1. Многообразия Y, Y_1 связны;
2. $H_{k-2}(Y_1) = 0$;

$$3. H_{k-1}(M) = H_{k-1}(Y) = H_{k-1}(Y_1) = 0;$$

$$4. H_k(Y) = 0.$$

Тогда имеет место изоморфизм

$$H_{k-1}(\hat{M}) \approx \mathbb{Z}/H_k(M) \cdot y,$$

где $H_k(M) \cdot y$ — подгруппа группы $\mathbb{Z}$, составленная из всех коэффициентов пересечений $x \cdot y$ с $x \in H_k(M)$, причем в качестве образующей группы $H_{k-1}(\hat{M})$ может быть взят класс гомологий вида $[u \times S^{k-1}]$, $u \in Y$.

Доказательство. Для сокращения формул мы обозначим топологическое пространство $M \bigcup_{\varphi} (Y \times D^k)$ через $\mathcal{K}$. Рассмотрим отрезок точной последовательности пары $(\mathcal{K}, \hat{M})$:

$$H_k(\mathcal{K}) \xrightarrow{j_*} H_k(\mathcal{K}, \hat{M}) \xrightarrow{\partial} H_{k-1}(\hat{M}) \xrightarrow{i_*} H_{k-1}(\mathcal{K}).$$

Мы воспользуемся соотношениями

$$\mathcal{K}/\hat{M} = (Y \times D^k)/(Y \times S^{k-1}) (\text{вырезание}) = \Sigma^k Y^+,$$

дающими изоморфизм

$$\sigma : H_0(Y) = \mathbb{Z} \xrightarrow{\sim} H_k(\mathcal{K}, \hat{M})$$

(изоморфизм надстройки или, если угодно, изоморфизм Тома), что позволяет переписать рассматриваемую точную последовательность в виде

$$H_k(\mathcal{K}) \xrightarrow{\sigma^{-1} \circ j_*} \mathbb{Z} \xrightarrow{\partial \circ \sigma} H_{k-1}(\hat{M}) \xrightarrow{i_*} H_{k-1}(\mathcal{K}). \quad (29)$$

Гомоморфизм $\sigma^{-1} \circ j_*$ этой последовательности может быть более детально представлен как композиция

$$H_k(\mathcal{K}) \xrightarrow{j_*} H_k(\mathcal{K}, \hat{M}) \xrightarrow{ex_*} \xrightarrow{ex_*} H_k(Y \times D^k, Y \times S^{k-1}) \xrightarrow{\sigma^{-1}} H_0(Y) = \mathbb{Z},$$

откуда непосредственно очевидно, что образ класса $x \in H_k(\mathcal{K})$ при этом гомоморфизме — не что иное как индекс пересечения $x \cdot Y$ (многообразия Y имеет в пространстве $\mathcal{K}$ окрестность со структурой ориентированного k -мерного расслоения, поэтому индекс пересечения определен даже в том случае, если Y не является ориентируемым; строго говоря, в этой ситуации индекс пересечения определен для любого связного множества Y , даже не являющегося многообразием).

С другой стороны, гомоморфизм $\partial \circ \sigma$, опять-таки в более детальном виде, можно записать как

$$\mathbb{Z} = H_0(Y) \xrightarrow{\sigma} H_k(Y \times D^k, Y \times S^{k-1}) \xrightarrow{\partial} \xrightarrow{\partial} H_{k-1}(Y \times S^{k-1}) \xrightarrow{i_*} H_{k-1}(\hat{M}),$$

так что мы имеем

$$1 \xrightarrow{\sigma} [u \times D^k] \xrightarrow{\partial} [u \times S^{k-1}],$$

где $u \in Y$ — произвольная точка.

Выписав часть точной последовательности Майера-Вьеториса триады $(\mathcal{K}, M, Y \times D^k)$

$$H_i(M) \oplus H_i(Y) \rightarrow H_i(\mathcal{K}) \rightarrow H_{i-1}(Y_1) \quad (30)$$

и взяв $i = k, k - 1$, мы получим в первом случае, что гомоморфизм включения $H_i(M) \rightarrow H_k(\mathcal{K})$ является эпиморфизмом (см. предположения леммы), а

во втором — что $H_{k-1}(K) = 0$. Таким образом, точная последовательность (29) принимает вид

$$H_k(M) \longrightarrow \mathbb{Z} \longrightarrow H_{k-1}(\hat{M}) \longrightarrow 0. \quad (31)$$

Здесь по-прежнему первый гомоморфизм можно трактовать как пересечение с множеством Y ; однако, поскольку теперь мы пересекаем с Y лишь классы, принадлежащие многообразию $M \subset K$, то, следовательно, можем взять вместо Y меньшее множество $Y_1 = M \cap Y$, никак при этом не повлияв на последовательность (31). В то же время выражение $x \cdot Y_1$ является уже “настоящим” индексом пересечения ориентированных подмногообразий и, значит, может интерпретироваться в терминах спаривания

$$H_k(M) \otimes H_{n-k}(M, \partial M) \longrightarrow \mathbb{Z}. \quad (32)$$

Лемма, таким образом, полностью доказана. $\square$

Лемма 9. Пусть выполнены следующие условия:

1. Многообразие Y_1 связно;
2. $H_1(M) = H_1(Y) = 0$;
3. $k > 2$.

Тогда $H_1(\hat{M}) = 0$.

Доказательство. Точная последовательность (30) с $i = 1$, вместе с предположениями леммы, показывает, что $H_1(K) = 0$. Выписав теперь последовательность (29) для интересующих нас размерностей, получим

$$\begin{array}{ccccc} H_2(\Sigma^k Y^+) & \longrightarrow & H_1(\hat{M}) & \longrightarrow & H_1(K). \\ \parallel & & & & \parallel \\ 0 & & & & 0 \end{array}$$

$\square$

17. Доказательство теоремы 1

Мы будем доказывать утверждение теоремы для стандартного узла в многообразии $X = S^3 \times S^3$; общий случай $X = r(S^3 \times S^3)$ мгновенно сводится к этому в силу следствия 5. Пусть $f : S^3 \times D^3 \rightarrow X$ — представитель узла s_d , описанный в разделе 13. Согласно сказанному в разделе 10, инварианты μ и γ для узла s_d получаются как инварианты пары (M, ω) , где многообразие

$$M = M_{\tilde{f}} = (X \setminus f(S^3 \times \text{int } D^3)) \cup_f D^4 \times S^2 \quad (33)$$

— результат перестройки многообразия X по вложению f , а класс $\omega \in H^2(M; \mathbb{Z}_d)$ определяется тем условием, что принимает значение 1 на циклах вида $f(x \times S^2)$, представляющих стандартную образующую h группы $H_2(M) \approx \mathbb{Z}_d$. Чтобы доказать требуемые равенства $\mu(M, \omega) = \gamma(M, \omega) = 0$, мы построим кобордизм такого типа, как в лемме 5, соединяющий пару (M, ω) с другой парой (M_1, ω_1) , где многообразие M_1 будет иметь вид (20), после чего останется сослаться на лемму 6.

Мы начнем с построения многообразия M_1 и класса ω_1 . Зафиксируем набор попарно непересекающихся открытых шаровых окрестностей точек $a_1, a_2, \dots, a_d \in S^3$ (см. опять описание узла s_d в разделе 13) и будем обозначать эти окрестности, соответственно, $U_1, U_2, \dots, U_d$. Многообразие M_1 — это результат применения к многообразию $X = S^3 \times S^3$

“полисферической перестройки” — перестройки по набору оснащенных сфер $S^3 \times U_i$:

$$M_1 = (X \setminus (S^3 \times \cup_i U_i)) \cup (D^4 \times \cup_i \dot{U}_i). \quad (34)$$

Очевидно, ни умножение на S^3 , ни приклеивание ручек $D^4 \times \dot{U}_i$ не изменяет группы 2-мерных гомологий, так что мы имеем

$$H_2(M_1) = H_2(S^3 \setminus \cup_i U_i) \approx \mathbb{Z}^{d-1},$$

с порождающим множеством $\{h_i = [\dot{U}_i]\}$, $i = 1, 2, \dots, d$, и соотношением $\sum_i h_i = 0$. В действительности легко убедиться в том, что многообразие M_1 — это связная сумма $d - 1$ экземпляров многообразия $S^4 \times S^2$. В самом деле, после перестройки вдоль одной из сфер $S^3 \times U_i$ мы получаем, очевидно, просто сферу S^6 . Оставшиеся сферы $S^3 \times U_i$ можно теперь считать вложенными в S^6 ; они образуют там тривиальное зацепление, так что можно указать набор из $d - 1$ попарно непересекающихся вложенных в S^6 шестимерных шаров, каждый из которых содержит образ одной из наших оснащенных сфер. Ясно, что результат перестройки шара D^6 вдоль стандартно вложенной 3-мерной сферы со стандартным же оснащением — это многообразие $S^4 \times S^2$ “с дыркой”, и мы получаем вышеуказанную связную сумму. Очевидно, мы имеем $H^2(M_1; \mathbb{Z}_d) = \text{Hom}(H_2(M_1), \mathbb{Z}_d)$, поэтому можем определить класс ω_1 условиями $\langle \omega_1, h_i \rangle = 1$ для всех $i = 1, 2, \dots, d$.

Нам осталось построить кобордизм W и класс $\sigma \in H^2(W; \mathbb{Z}_d)$. Напомним, что отображение $f : S^3 \times D^3 \rightarrow X$, представляющее оснащенный узел s_d , получается посредством соединения “горизонтальных” сфер $S_i^3 = S^3 \times a_i$ трубками $g_i(I \times D^3)$, $j = 1, 2, \dots, d - 1$ попарно: 1-я сфера со 2-й, 2-я с 3-й и т.д., и удаления после этого “внутренностей” трубок $g_i(I \times \text{int } D^3)$ (часть 1, стр. 8 и 11), после чего мы получаем единственную вложенную сферу, на которую и продолжаем стандартное (постоянное) оснащение сфер S_i^3 . Введя сокращения $T_i = g_i(I \times D^3)$, $T_i^0 = g_i(I \times \text{int } D^3)$, мы можем написать

$$f(S^3) = (\cup_i S_i^3) \cup (\cup_i T_i) \setminus (\cup_i T_i^0).$$

В общих чертах, построение многообразия W будет состоять в следующем: мы подвергнем сферу $f(S^3)$, вместе с ее стандартным оснащением, некоторой деформации “с особенностями”; в итоге деформации мы вернемся к набору сфер S_i^3 . Вышеупомянутые особенности — это “точки разрыва” трубок T_i ; от каждой из трубок, в результате “разрыва”, останется пара, если можно так сказать, “щупалец”, которые после этого, уже без всяких особенностей, втягиваются каждое в “свою” сферу и исчезают. Образ данной деформации в цилиндре $I \times X$ окажется гладким 4-мерным оснаственным подмногообразием, перестройка по которому и даст требуемый кобордизм.

Приступим теперь к реализации данной программы. Пусть $p_i = g_i(\frac{1}{2}, 0)$ — “центральная точка” трубки T_i (будущая точка разрыва). Выберем окрестность V_i точки p_i в многообразии X и систему координат

$$(x, y_1, y_2, y_3, z_1, z_2) = (x, y, z)$$

в этой окрестности таким образом, что пересечение $T_i \cap V_i$ задается условиями:

$$x^2 - y^2 \geq -\varepsilon, \quad (35)$$

$$z = 0, \quad (36)$$

где $y^2 = y_1^2 + y_2^2 + y_3^2$, и где ε — некоторое достаточно малое положительное число. На рис. 9 показано сечение множества $T_i \cap V_i$ плоскостью (x, y_1) , стрелки здесь изображают векторное поле v_1 — первое поле нормального оснащения трубки (см. описание на стр. 8 части 1). Все множество $T_i \cap V_i$, вместе с полем v_1 , получается из этого двумерного сечения действием ортогональной группы $SO(3)$ в координатной плоскости (y_1, y_2, y_3) , а оставшиеся два вектора нормального оснащения — это стандартные базисные векторы $\frac{\partial}{\partial z_1}, \frac{\partial}{\partial z_2}$. Заметим, что поле v_1 в описанной выше системе координат может быть задано, с точностью до нормировки, как $\text{grad}(y^2 - x^2)$.

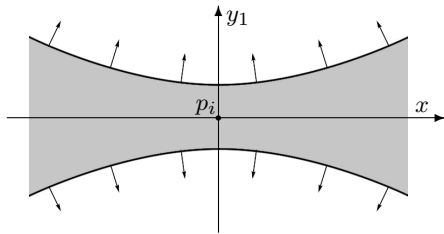


Рис. 9. Трубка до разрыва.

Если мы теперь заставим правую часть неравенства (35) “перепрыгнуть через нуль”, т.е., попросту говоря, заменим это неравенство на $x^2 - y^2 \geq \varepsilon$, то получим требуемый результат — “разорванную” трубку (точнее, ее часть $T_i \cap V_i$):

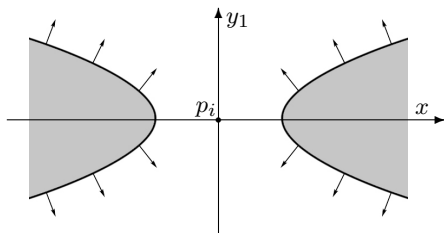


Рис. 10. Трубка после разрыва.

Учитывая то обстоятельство, что вдали от точки p_i (при $x^2 + y^2 \gg \varepsilon$) рис. 9 и 10 становятся близкими (C^∞ -близкими) между собой, мы можем посредством дополнительной малой изотопии сделать их там (т.е. вблизи границы окрестности V_i) совпадающими, и таким образом объединить рис. 10 с оставшейся частью трубки, а именно $T_i \setminus V_i$. Результат этого объединения мы обозначаем через $\tilde{T}_i$, а соответствующую “внутренность” — через $\tilde{T}_i^0$. Отметим еще раз, что множества T_i и $\tilde{T}_i$ (соответственно, T_i^0 и $\tilde{T}_i^0$) различаются только в пределах координатной окрестности V_i (рис. 9 и 10).

Проведем эту операцию над всеми трубками $T_1, T_2, \dots, T_{d-1}$ и введем следующие обозначения (их

смысл станет скоро понятен):

$$Z(-\varepsilon) = (\cup_i S_i^3) \cup (\cup_i T_i) \setminus (\cup_i T_i^0) = f(S^3); \quad (37)$$

$$Z(\varepsilon) = (\cup_i S_i^3) \cup (\cup_i \tilde{T}_i) \setminus (\cup_i \tilde{T}_i^0). \quad (38)$$

Мы, таким образом, определили некоторое дискретное семейство 3-мерных подмногообразий многообразия X , принимающее всего два значения: сфера $Z(-\varepsilon)$ (наш исходный стандартный узел s_d) и набор сфер $Z(\varepsilon)$ (результат разрыва трубок). Теперь мы собираемся превратить этот “процесс разрыва” в непрерывный, а именно продолжить наше семейство $Z(t) \subset X$, $t = \pm \varepsilon$, на отрезок $[-1, 1]$ (который в оставшейся части этого раздела будет обозначаться чертой I). Это продолжение будет строиться по-разному в следующих трех областях: $-1 \leq t \leq -\varepsilon$, $-\varepsilon \leq t \leq \varepsilon$ и $\varepsilon \leq t \leq 1$.

1. Область $-1 \leq t \leq -\varepsilon$. Это самый простой случай: мы определяем $Z(t)$ как константу — формулой $Z(t) \equiv Z(-\varepsilon)$.

2. Область $-\varepsilon \leq t \leq \varepsilon$. Здесь $Z(t)$ определяется по-разному в окрестностях V_i и в дополнении к ним. Дополнения $Z(t) \setminus (\cup_i V_i)$, как и в первом случае, не зависят от t ; что же касается пересечений $Z(t) \cap V_i$, то они определяются в выбранных выше координатах уравнениями

$$\begin{cases} x^2 - y^2 = t, \\ z = 0. \end{cases} \quad (39)$$

При этом, чтобы “склеить” между собой эти два разных определения — внутри координатных окрестностей и в дополнении к ним, — нужно, как и выше, воспользоваться тем, что вблизи границы координатной окрестности решения уравнений (39) являются C^∞ -близкими между собой и, следовательно, посредством подходящей малой изотопии (содержащей параметр t) могут быть сделаны постоянными (т.е. совпадающими с $Z(-\varepsilon)$). Заметим, что при $t = 0$ мы получаем в качестве $Z(t)$ многообразие с особенностями (коническими точками $p_1, \dots, p_{d-1}$).

3. Область $\varepsilon \leq t \leq 1$. Как уже отмечалось, каждая из двух компонент “разорванной” трубки $\tilde{T}_i$ может быть посредством надлежащей изотопии “втянута” в соответствующую сферу S_i^3 или S_{i+1}^3 . Считая, что параметр этой изотопии пробегает отрезок $[\varepsilon, 1]$, и что аналогичной изотопии подвергаются одновременно все компоненты, мы определяем $Z(t)$ как образ подмногообразия $Z(\varepsilon)$ в момент t этой изотопии; в частности $Z(1) = \cup_i S_i^3$ (конечный момент изотопии). Заметим, что вышеупомянутая изотопия устроена довольно просто — каждая из компонент движется в процессе изотопии по себе самой, и нетрудно было бы задать эту изотопию явными формулами (мы этого делать не будем).

Наконец, вложим наше семейство $Z(t)$ в цилиндр $I \times X$: положим

$$Z = \bigcup_{t \in [-1, 1]} t \times Z(t).$$

Вообще, для любых $a, b \in [-1, 1]$, $a < b$, положим

$$Z[a, b] = \bigcup_{t \in [a, b]} t \times Z(t)$$

(так что Z — это то же, что $Z[-1, 1]$ или $Z(I)$).

Как нетрудно видеть, 4-мерное гладкое подмногообразие $Z \subset I \times X$ не имеет особых точек: в окрестности $(-\varepsilon, \varepsilon) \times V_i$ точки $(0, p_i)$ с локальными координатами (t, x, y, z) множество Z задается невырожденной системой уравнений (39). Краем этого многообразия является набор 3-мерных сфер

$$\partial Z = (1 \times \cup_i S_i^3) \cup ((-1) \times f(S^3)).$$

Замечание 3. Строго говоря, утверждение о гладкости подмногообразия Z не вполне корректно: мы не позаботились о точках $t = \pm\varepsilon$, где наши три области граничат между собой и где, вообще говоря, нет дифференцируемости по параметру t . Это не представляет никакой проблемы: например, можно было бы, посредством подходящей перепараметризации, сделать в этих точках скорость деформации нулевой (с сохранением C^∞ -дифференцируемости). Мы будем считать, что такое сглаживание уже тем или другим способом сделано.

Установим, что представляет собой 4-мерное многообразие Z . Легче всего это увидеть, рассмотрим семейство $Z[t, 1]$ и заставив параметр t пробежать отрезок $[-1, 1]$ в обратном направлении. Согласно конструкции, изложенной выше, при $s > 0$ все $Z(s)$ — это один и тот же набор из d дизъюнктивных трехмерных сфер, подвергающийся гладкой изотопии в многообразии X ; таким образом, при любом $t > 0$ многообразие $Z[t, 1]$ — цилиндр над вышеуказанным набором сфер или, если угодно, набор из d дизъюнктивных четырехмерных шаровых слоев. При переходе через “критическое” значение $t = 0$ к нашим шаровым слоям окажутся приклеенными $d - 1$ ручек индекса 1 (тех самых “трубок”; индекс ручки — это “положительная сигнатура” квадратичной формы в левой части неравенства (35)), в результате чего d граничных сфер окажутся склеены в одну сферу (эта сфера — наш узел $f(S^3)$), иначе говоря, мы получим многообразие, диффеоморфное 4-мерной сфере с $d + 1$ “дыркой” (или, если угодно, шару D^4 с d “дырками”, см. рис. 11).

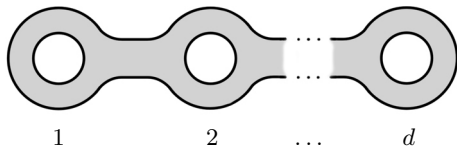


Рис. 11. Многообразие Z (двумерное сечение).

Мы снабдим подмногообразие Z нормальным оснащением, продолжая стандартное оснащение на его крае. Для этого разобьем Z на три части $Z[-1, -\varepsilon]$, $Z[\varepsilon, 1]$, $Z[-\varepsilon, \varepsilon]$, и опишем нормальное оснащение для каждой из этих частей отдельно.

1. Подмногообразие $Z[-1, -\varepsilon]$ представляет собой цилиндр, и мы просто продолжаем на него оснащение основания $(-1) \times f(S^3)$ как постоянное по отношению к параметру t .

2. Подмногообразие $Z[\varepsilon, 1]$ получается посредством изотопии набора сфер $Z(\varepsilon)$ к стандартному набору “горизонтальных” сфер $\cup_i S_i^3$; мы можем продолжить эту изотопию на окрестность многообразия $Z(\varepsilon)$ и, тем самым, на векторные поля, задающие оснащение (описанные на стр. 8, см. также рис. 10). Заметим, что при “втягивании” каждой из компонент “разорванной” трубки (при котором компонента в конечном счете превращается в маленький “диск” на одной из сфер S_i^3) вышеупомянутые нормальные поля становятся “почти постоянными” (это достаточно очевидно), откуда следует, что мы действительно вернемся к стандартному оснащению многообразия $\cup_i S_i^3$ (т.е. не произойдет “подкручивания” его на ненулевой элемент группы $\pi_3 \text{SO}(3) = \mathbb{Z}$).

3. Подмногообразие $Z[-\varepsilon, \varepsilon]$ вне окрестностей $(-\varepsilon, \varepsilon) \times V_i$ является, опять-таки, цилиндром, и мы действуем как в п. 1. Что же касается окрестностей “особых точек”, то здесь мы определяем поле v_1 формулой

$$v_1 = \text{grad}(y^2 - x^2) + \alpha(t, x, y, z) \frac{\partial}{\partial t}, \quad (40)$$

где α — любая неотрицательная C^∞ -функция в $(-\varepsilon, \varepsilon) \times V_i$, удовлетворяющая условию $\alpha(0) > 0$ и обращающаяся в нуль вне некоторой (меньшей) окрестности начала координат. Наконец, поля v_2 и v_3 определяются так же, как на стр. 8. Положим $\Phi(t, x, y) = t + y^2 - x^2$ (таким образом, $\Phi(t, x, y) = 0$ — это одно из уравнений 39). Непосредственно проверяется, что производная $v_1(\Phi) = 2x^2 + 2y^2 + \alpha(t, x, y, z)$ положительна, так что поле v_1 нигде не обращается в нуль; в то же время производные $v_2(\Phi)$ и $v_3(\Phi)$, очевидно, нулевые, откуда вытекает линейная независимость набора векторов (v_1, v_2, v_3) и его “трансверсальность” по отношению к подмногообразию Z . Конечно, для согласования формулы (40) с полем v_1 вне окрестностей $(-\varepsilon, \varepsilon) \times V_i$ нужна некоторая подходящая нормализация поля v_1 , а чтобы получить именно нормальное оснащение, требуется эти три поля еще и ортогонализировать по отношению к Z и друг к другу (собственно, последнее относится ко всему подмногообразию Z , а не только к $Z[-\varepsilon, \varepsilon]$). Все эти тривиальные моменты мы опускаем.

Выберем в сфере S^4 набор непересекающихся подмногообразий $D_0^4, D_1^4, \dots, D_d^4$, каждое из которых диффеоморфно шару D^4 ; обозначим их объединение $\cup_i D_i^4$ через $\tilde{D}$, а дополнение $S^4 \setminus \text{int } \tilde{D}$ — через $\tilde{Z}$. Согласно сказанному выше, существует сохраняющий ориентацию диффеоморфизм $\tilde{Z} \rightarrow Z$; мы обозначаем через φ как этот диффеоморфизм, так и соответствующее вложение $\tilde{Z} \rightarrow I \times X$. Будем при этом считать, что $\varphi(\tilde{D}_0^4) = (-1) \times f(S^3)$ и $\varphi(\tilde{D}_i^4) = 1 \times S_i^3$, $1 \leq i \leq d$. Построенному нами оснащению подмногообразия Z отвечает продолжение вложения φ на произведение $\tilde{Z} \times D^3$, которое мы также обозначаем через φ .

Положим теперь $W = \chi(I \times X, D^5, \varphi)$. Согласно формуле (28), мы имеем, без учета ориентаций,

$$\begin{aligned} \partial W &= \chi(-1 \times X, D_0^4, \varphi_{-1}) \cup \chi(1 \times X, D_1^4 \cup \dots \cup D_d^4, \varphi_1) \\ &= M \cup M_1, \end{aligned}$$

где φ_{-1} и φ_1 — соответствующие сужения. Если принять во внимание ориентации, то формула должна быть записана как $\partial W = \bar{M} \cup M_1$; таким образом, W — это кобордизм между многообразиями M и M_1 , что и требовалось.

Применим к нашей ситуации лемму 8. Класс y , фигурирующий в формулировке упомянутой леммы — это, в данном случае, относительный фундаментальный класс $[Z] \in H_4(I \times X, \{\pm 1\} \times X)$. Образующие группы $H_3(I \times X) = \mathbb{Z}^2$ представлены, например, “горизонтальной” и “вертикальной” сферами $S_h^3 = 1 \times S^3 \times a$ и $S_v^3 = 1 \times a \times S^3$ в верхнем основании цилиндра $I \times X$. Их индексы пересечения с подмногообразием Z в цилиндре — то же, что индексы пересечения с краем этого подмногообразия в верхнем основании цилиндра, т.е. с набором “горизонтальных” сфер $1 \times S_i^3$. Таким образом, $S_h^3 \cdot Z = 0$ и $S_v^3 \cdot Z = d$, откуда $H_3(I \times X) \cdot [Z] = d \cdot \mathbb{Z}$ и следовательно, в силу леммы 8, $H_2(W) \approx \mathbb{Z}_d$. В качестве представителя образующей s группы $H_2(W)$ мы можем, в силу той же леммы 8, взять любой из циклов $-1 \times f(S^2)$, $1 \times \dot{U}_1$, $\dots$, $1 \times \dot{U}_d$, откуда следует, что гомоморфизмы включения

$$i_* : H_2(M) \rightarrow H_2(W), \quad (41)$$

$$(i_1)_* : H_2(M_1) \rightarrow H_2(W) \quad (42)$$

переводят все классы $h \in H_2(M)$, $h_i \in H_2(M_1)$ в класс s . Группа $H_1(W)$ согласно лемме 9 тривиальна, поэтому мы можем отождествить $H^2(W; \mathbb{Z}_d)$ с $\text{Hom}(H_2(W), \mathbb{Z}_d)$ и определить класс $\sigma \in H^2(W; \mathbb{Z}_d)$ формулой $\langle \sigma, s \rangle = 1$. В силу сказанного выше о гомоморфизмах (41) и (42), и в силу определения классов ω и ω_1 , мы имеем соотношения $i^*(\sigma) = \omega$ и $i_1^*(\sigma) = \omega_1$; таким образом, выполнены условия леммы 5. Согласно этой лемме, инварианты μ и γ пары (M, ω) совпадают с инвариантами пары (M_1, ω_1) ; последние же, по лемме 6, равны нулю. Теорема 1, таким образом, полностью доказана.

18. Доказательство теоремы 2

Мы будем доказывать теорему 2 для случая неоснащенных узлов; из доказательства будет видно, что вариант с оснащенными узлами получается точно таким же образом.

Пусть $x \in H_3(S^3 \times S^3)$ — класс гомологий индекса d (напомним, что индексом мы здесь называем наибольший натуральный делитель класса x при ненулевом x , и нуль при $x = 0$). Теорема 2 равносильна утверждению, что все элементы множества $\Sigma_3(S^3 \times S^3; x)$ можно получить посредством связного суммирования некоторого “начального” элемента этого множества с узлами Хефлигера (элементами группы $\Sigma_{3,6}$).

Мы воспользуемся тем, что, как известно, группа $\text{Diff}_+(S^3 \times S^3)$ действует транзитивно на множестве классов фиксированного индекса. Следовательно, достаточно доказать утверждение теоремы для какого-нибудь одного “выделенного” класса x для каждого d . В качестве такого выделенного класса мы возьмем класс $d \cdot [S^3 \times a]$. Как и выше, мы называем сферы $S_h^3 = S^3 \times a$ и $S_v^3 = a \times S^3$, соответственно, “горизонтальной” и “вертикальной”. В качестве же “начального” элемента множества $\Sigma_3(S^3 \times S^3; d[S_h^3])$ мы

возьмем, для каждого положительного d , стандартный узел s_d . Заметим теперь, что часть теоремы 2, относящаяся к случаю $d = 0$, по существу тривиальна. В самом деле, если гомологический класс узла f нулевой, то и индексы пересечения сферы $f(S^3)$ с “базисными” сферами S_h^3 и S_v^3 (как и любыми другими) равны нулю; применяя “трюк Уитни”, мы можем, посредством подходящей изотопии, представить узел f сферой, не имеющей точек пересечения с “базисным букетом” $S_h^3 \vee S_v^3$, т.е. лежащей в шаре $S^3 \times S^3 \setminus S_h^3 \vee S_v^3$. Но это как раз и означает, что f — элемент группы Хефлигера $\Sigma_{3,6}$ (здесь еще уместно добавить, что естественное отображение $\Sigma_{3,6} \rightarrow \Sigma_3(S^3 \times S^3)$ является вложением, что немедленно вытекает из следствия 5).

В свете вышесказанного мы будем далее доказывать следующее утверждение, равносильное теореме 2.

Для любого узла $f : S^3 \rightarrow S^3 \times S^3$ с $h(f) = d[S_h^3]$, $d > 0$, найдется такой узел $g \in \Sigma_{3,6}$, что имеет место равенство (изотопических классов) $f = s_d \# g$.

Доказательство сводится к более или менее явному построению изотопии, приводящей произвольный узел указанного в вышеприведенной формулировке вида к такому, для которого разложение в сумму стандартного и хефлигеровского узлов было бы непосредственно очевидно. Требуемая изотопия, в свою очередь, получается в виде нескольких достаточно простых “деформаций” заданного узла, которые мы последовательно и опишем.

1. Из гомологических условий на узел f вытекает, что индекс пересечения сфер $f(S^3)$ и S_h^3 равен нулю, что позволяет избавиться (опять посредством “трюка Уитни”) и от геометрических пересечений. Что касается пересечений сферы $f(S^3)$ с “вертикальной” сферой S_v^3 , то, применяя тот же метод, мы можем получить ровно d геометрических пересечений (все индекса $+1$). Рассмотрим касательное векторное поле класса C^∞ на S_h^3 , обращающееся в нуль в двух точках — в точке a и противоположной к ней, скажем a' , а во всех прочих точках направленное от a к a' вдоль дуг больших окружностей. Рассмотрим порожденную этим полем однопараметрическую группу диффеоморфизмов многообразия $S^3 \times S^3$ и действие ее на сферу $f(S^3)$. Очевидно, что при достаточно большом значении параметра мы получим картину, изображенную на рис. 12:

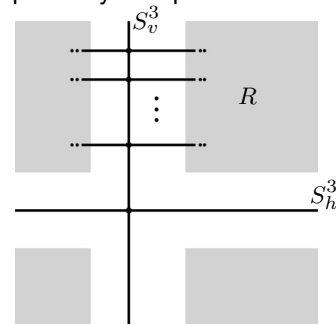


Рис. 12. Пересечение с $S_h^3 \vee S_v^3$.

(в окрестности “горизонтальной” сферы нет точек сферы $f(S^3)$, а d пересечений с окрестностью “вер-

тикальной” сферы устроены стандартно — как пересечения с “горизонтальными” сферами). При этом “затененная” область R на рис. 12, т.е. дополнение к окрестности букета $S_h^3 \vee S_v^3$ в $S^3 \times S^3$ — это 6-мерный шар (точнее, произведение $D^3 \times D^3$). Таким образом, узел f представлен “3-мерной сферой с d дырками”, вложенной в 6-мерный шар R , и края “дырок” заклеены “горизонтальными” 3-мерными дисками, расположенными “с внешней стороны” по отношению к R . Та же самая конфигурация “в другом ракурсе” изображена на рис. 13. Затененная область здесь — это меньший 6-мерный шар, вложенный в область R .

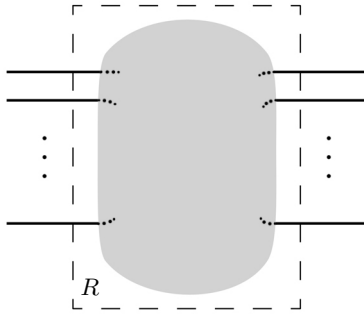


Рис. 13. Дополнение к $S_h^3 \vee S_v^3$.

2. Дальнейшую деформацию достаточно ясно иллюстрирует рис. 14:

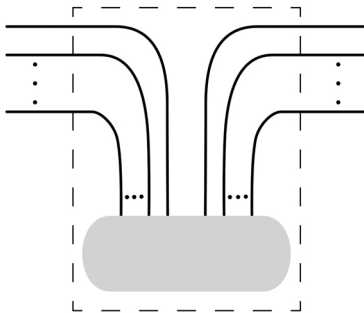


Рис. 14. “Концентрические” трубки.

Отметим, что вся средняя часть рис. 14 (там, где трубки — произведения $I \times S^2$ — идут “вертикально”) представляет собой цилиндр над набором 2-мерных сфер, расположенных в 5-мерном шаре; следовательно, наши трубки не зацеплены друг с другом и могут свободно перегруппировываться. Результат такой перегруппировки показан на следующем далее рис. 15. Как и выше, затененная область здесь — это 6-мерный шар, содержащий вложенную 3-мерную сферу с d “дырками”, к краям которых каким-то образом приклеены изображенные на рисунке “параллельные” трубки. В действительности мы уже получили нужный нам хефлигеровский узел: в самом деле, если заклеить 3-мерными дисками “основания” трубок, то мы получим вложенную в шар 3-мерную сферу, которую обозначим как $g(S^3)$; то, что изображено на рис. 15, можно представить как результат последовательного связного суммирования сферы $g(S^3)$ (другими словами, хефлигеровского узла g) с “горизонтальными” сферами $S^3 \times a_i$, $i = 1, \dots, d$.

Теперь нам лишь остается, используя (соответствующим образом понимаемые) свойства ассоциативности и коммутативности операции связного суммирования, по-другому расположить наши “слагаемые” (детальное описание см. далее).

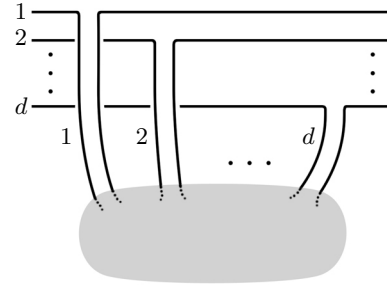


Рис. 15. “Параллельные” трубки.

3. Напомним, что наши трубки — это, по существу, одномерные объекты (постольку поскольку их “толщина” не играет для нас роли), и следовательно, изотопический класс каждой трубки (в дополнении к остальным частям конфигурации) определяется только местами приклеивания ее начала и конца. Таким образом, мы можем взять (маленький) 3-мерный диск, по которому, допустим, конец первой трубки приклеен к сфере $g(S^3)$, и начать двигать этот диск по сфере в направлении к месту приклеивания 2-й трубки, а затем по 2-й трубке к “горизонтальной” сфере номер 2. Продолжив эту деформацию на весь наш узел, мы получим, вместо трубки на рис. 15, новую трубку, соединяющую между собой 1-ю и 2-ю “горизонтальные” сферы. Теперь проделаем все то же самое с трубками номер 2, 3 и т.д., за исключением последней. То, что мы после этого получим, показано на рис. 16:

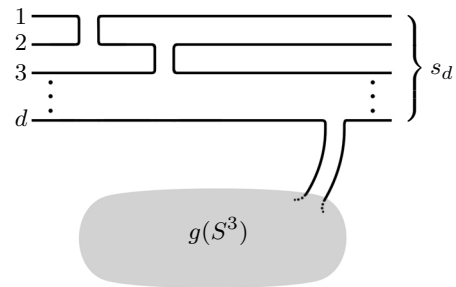


Рис. 16. Сумма $s_d \# g$.

Непосредственно видно, что это и есть требуемая связная сумма. Теорема 2, таким образом, доказана.

19. Доказательство теоремы 3

В теореме 3 речь идет о связи между инвариантами узлов $f_1 : S^3 \times D^3 \rightarrow X_1$, $f_2 : S^3 \times D^3 \rightarrow X_2$ и узла $f_1 \# f_2 : S^3 \times D^3 \rightarrow X_1 \# X_2$, где X_1, X_2 — замкнутые 2-связные 6-мерные многообразия. Пусть d_1, d_2 — индексы узлов f_1, f_2 , тогда индекс узла $f_1 \# f_2$ равен $d = (d_1, d_2)$ (лемма 3). Многообразие $\chi(X_i, f_i)$ (результат перестройки многообразия X_i вдоль f_i) мы обозначаем через M_i , стандартную

образующую группы $H_2(M_i) \approx \mathbb{Z}_{d_i}$ (класс гомологий цикла $f_i(a \times S^2)$) — через h_i . Аналогично, многообразие $\chi(X_1 \# X_2, f_1 \# f_2)$ обозначается через M , стандартная образующая группы $H_2(M) \approx \mathbb{Z}_d$ — через h .

Для любых замкнутых односвязных спинорных 6-мерных многообразий V_0, V_1 и любых 2-мерных классов гомологий $x_i \in H_2(V_i)$ имеется операция “связной суммы вдоль x_0, x_1 ”, описанная в разделе 5 в более общей ситуации и в других терминах. Мы приведем здесь эквивалентное описание этой операции для нашего случая. Рассмотрим оснащенные узлы

$$\varphi_i : S^2 \times D^4 \rightarrow V_i, \quad i = 0, 1,$$

однозначно с точностью до изотопии определенные условиями:

1. $h(\varphi_i) = x_i$;
2. Вложение φ_0 сохраняет ориентацию;
3. Вложение φ_1 обращает ориентацию.

Обозначим произведение $I \times S^2 \times D^4$ через T (где $I = [0, 1]$), его подмножество $I \times S^2 \times \text{int } D^4$ — через T^0 , сферу вида $a \times S^2 \times b \subset T$ — через $S_{a,b}^2$. Определим частичное отображение $\varphi : T \rightarrow V_0 \sqcup V_1$ формулой

$$\varphi(x) = \varphi_i(x) \quad \text{для } x \in i \times S^2 \times D^4, \quad i = 0, 1.$$

Теперь положим

$$(V_0, x_0) \vee (V_1, x_1) = ((V_0 \sqcup V_1) \cup_\varphi T) \setminus T^0, [S_{a,b}^2], \quad (43)$$

где $a \in I, b \in S^3$ выбраны произвольно. Лемма 2 может быть в рассматриваемой ситуации сформулирована в виде соотношения

$$(M, h) = (M_1, h_1) \vee (M_2, h_2). \quad (44)$$

Рассмотрим цилиндр $I \times M$ (где многообразие M получено по формуле (43), и приклеим к его верхнему основанию трубку T по тождественному вложению

$$I \times S^2 \times S^3 \subset I \times S^2 \times S^4 = T \subset M$$

(можно сказать, что на верхнем основании мы “вернули на место” вырезанную в соответствии с формулой (43) внутренность T^0). В результате этой операции верхняя компонента края цилиндра окажется “разрезанной” на два отдельных многообразия, естественным образом отождествляемых с M_1 и M_2 . Мы получили кобордизм $W = (I \times M) \cup T$, соединяющий M с $M_1 \sqcup M_2$.

Лемма 10. *Имеют место утверждения:*

1. Группа $H_1(W)$ тривиальна;
2. Включение $M \rightarrow W$ индуцирует изоморфизм $H_2(M) \rightarrow H_2(W)$;
3. Включения $M_i \rightarrow W$ индуцируют эпиморфизмы $H_2(M_i) \rightarrow H_2(W)$, переводящие образующие h_i групп $H_2(M_i) \approx \mathbb{Z}_{d_i}$ в образующую h группы $H_2(W) = H_2(M) \approx \mathbb{Z}_d$.

Доказательство. Многообразие W гомотопически эквивалентно многообразию $W_1 = (M_1 \sqcup M_2) \cup_\varphi T$ (результату стягивания цилиндра $I \times M \subset W$ на его верхнее основание). Точная последовательность пары (W_1, M) , плюс вырезание и изоморфизм надстройки (ср. доказательство леммы 8), дают точные последовательности

$$H_3(T/T^0) = 0 \rightarrow H_2(M) \rightarrow H_2(W) \rightarrow 0 = H_2(T/T^0)$$

и

$$H_1(M) = 0 \rightarrow H_1(W) \rightarrow 0 = H_1(T/T^0),$$

что доказывает утверждения 1 и 2. Утверждение 3 очевидно: сфера $\varphi_i(S^2)$ принадлежит как многообразию M_i , так и многообразию W и порождает в первом из них класс гомологий h_i , а во втором h . $\square$

Теперь мы возвращаемся к доказательству теоремы 3. Определим когомологические классы $\omega_i \in H^2(M_i; \mathbb{Z}_{d_i})$, $\omega \in H^2(M; \mathbb{Z}_d)$ и $\sigma \in H^2(W; \mathbb{Z}_d)$ условиями

$$\omega_i(h_i) = \omega(h) = \sigma(h) = 1.$$

В силу этих условий и леммы 10, мы имеем соотношения

$$\sigma|_M = \omega, \quad (45)$$

$$\sigma|_{M_i} = \rho_d \omega_i, \quad i = 1, 2. \quad (46)$$

Сопоставляя парам вида (M, ω) классы спинорных бордизмов $[M, \omega] \in \Omega_6^{spin}(\mathbb{Z}_d, 2)$ и учитывая равенства (45), (46), получаем соотношение

$$[M, \omega] = [M_1, \rho_d \omega_1] + [M_2, \rho_d \omega_2],$$

что дает

$$\mu(M, \omega) = \mu(M_1, \rho_d \omega_1) + \mu(M_2, \rho_d \omega_2),$$

$$\gamma(M, \omega) = \gamma(M_1, \rho_d \omega_1) + \gamma(M_2, \rho_d \omega_2).$$

Ссылка на лемму 7 завершает доказательство теоремы 3.

Литература

1. Жубр А.В. Некоторые новые результаты о трехмерных узлах в замкнутых 2-связных 6-мерных многообразиях. Часть 1// Известия Коми НЦ УрО РАН, 2010. Вып.4. С.4–11.
2. Жубр А.В. Классификация односвязных шестимерных спинорных многообразий// Изв. АН СССР. Сер. мат., 1975. С. 839–859.
3. Wall C.T.C. Surgery on Compact Manifolds. 2nd ed.// Math. Essays and Monogr. 69. Providence, RI:AMS, 1999. xv+302pp.
4. Thomas E. A generalization of the Pontrjagin square cohomology operation// Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1956. Vol. 42. P. 266–269.

Статья поступила в редакцию 31.05.2011.

УДК 517.977 + 62-50

ОСНОВЫ ТЕОРИИ РОБАСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ В ℓ_1 -ПОСТАНОВКЕ

В.Ф. СОКОЛОВ

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

В статье изложены основы теории робастного управления в ℓ_1 -постановке, зародившейся в начале 1990-х гг. Представлены базовые результаты теории, относящиеся к робастной устойчивости и робастному качеству систем с дискретным временем. Дано описание и сравнение встречавшихся в литературе постановок задач синтеза оптимальных робастных регуляторов.

Ключевые слова: робастное управление, ограниченное возмущение, неопределенность, робастная устойчивость, робастное качество

V.F. SOKOLOV. FOUNDATIONS OF ROBUST CONTROL THEORY IN THE ℓ_1 SETUP

This paper presents foundations of robust control theory in the ℓ_1 setup born in the 1990s. Basic results on robust stability and robust performance of discrete-time systems are presented. Various problems of optimal robust synthesis are described and compared.

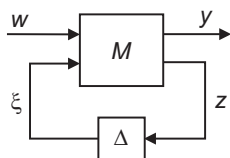
Key words: robust control, bounded disturbance, uncertainty, robust stability, robust performance

Введение

Типичная зарубежная классификация основных периодов развития теории управления имеет вид [1]:

- Классическая теория управления – с конца XIX века до 1960 г.
- Современная теория управления – 1960-1980 гг.
- Робастное управление – с 1980 г.

В силу ряда известных причин теория робастного управления долгое время оставалась малоизвестной основной массе российских специалистов по теории управления, и исследования в области робастного управления в России были относительно немногочисленны. Цель данной статьи заключается в кратком изложении основ одного из направлений классической теории робастного управления.

Рис. 1. M - Δ конфигурация.

Универсальной и общепринятой схемой описания робастных систем управления является M - Δ конфигурация, изображенная на рис. 1. Обозначение M обозначает *номинальную систему*, Δ – *неопределенность* в описании системы. Номинальную систему M называют также *номинальной моделью* в тех случаях, когда требуется подчеркнуть, что номинальная система является приближенным или упрощенным описанием реальной системы управле-

ния. В этих случаях неопределенность Δ называют *неопределенностью модели*. Сигналы w и y на рис. 1 обозначают соответственно внешний вход и выход системы, сигналы z и ξ – вход и выход неопределенности. В связи с тем, что современные системы автоматического управления в своем подавляющем большинстве строятся с использованием компьютеров, все большая доля исследований посвящается системам управления с дискретным временем $t = 0, 1, 2, \dots$. В случае дискретного времени сигналы в системе описываются вещественными векторными последовательностями. Компонентами внешнего входа w могут быть известные и неизвестные внешние возмущения, помехи измерений и задающие (отслеживаемые) сигналы. В качестве номинальной системы M , как правило, рассматривается линейное стационарное причинное отображение. Неопределенность Δ предполагается неизвестной, но принадлежащей некоторому известному множеству D : $\Delta \in D$. Множество D может состоять из линейных или нелинейных, стационарных или нестационарных, а также других причинных отображений, позволяя учитывать неопределенности в параметрах системы, немоделируемую динамику, нестационарности, нелинейности, запаздывания и другие неопределенности в описании системы управления. В этой статье будут рассматриваться системы с линейными нестационарными или нелинейными строго причинными отображениями Δ , и неопределенность модели будет трактоваться как *операторное возмущение* в номинальной системе.

В общих словах предметом теории робастного управления являются анализ и синтез систем управления, обеспечивающих надлежащее качество

управления при наличии неопределенности и возмущений. При этом априорная информация о системе в классических вариантах теории включает описание номинальной системы и множеств допустимых операторных и внешних возмущений.

Доминирующим направлением теории робастного управления является H_∞ -теория, в которой основным сигнальным пространством является гильбертово пространство суммируемых с квадратом сигналов (сигналов с ограниченной энергией). H_∞ -теория допускает частотные, временные и вероятностные интерпретации и ей посвящены десятки монографий. Ограничимся ссылкой на одну из самых подробных и цитируемых книг [2], содержащую обширную библиографию по H_∞ -теории. Другое направление теории робастного управления имеет дело с основным сигнальным пространством ограниченных по модулю сигналов и носит название ℓ_1 -теории. Таким образом, в ℓ_1 -теории рассматриваются системы с неопределенностью и ограниченными по модулю внешними возмущениями. Такие системы представляют немалый интерес для практики, однако задачи анализа и синтеза подобных систем относятся к числу трудных (неудобных) с математической точки зрения.

Методологической базой нескольких направлений теории робастного управления стала теорема о малом коэффициенте усиления [3], гласящая, что система на рис. 1 устойчива для всех неопределенностей, коэффициент усиления которых меньше обратной величины к коэффициенту усиления отображения M . Основы ℓ_1 -теории в части анализа робастных систем были заложены в работах Хаммаша и Пирсона [4, 5], в которых получены необходимые и достаточные условия робастной устойчивости и робастности качества систем со структурированной неопределенностью. Качество робастных систем принято оценивать в терминах наихудшего значения нормы выхода в классах допустимых возмущений. В работе [6] необходимые и достаточные условия робастной устойчивости и робастности качества получены для систем с операторными возмущениями с конечной или затухающей памятью и с фиксированными внешними входами. В [7] приведены формулы для равномерного показателя качества в задаче регулирования и для асимптотического показателя качества для систем с фиксированным внешним входом. Формулы для показателей качества систем общего вида, допускающих одновременно внешние возмущения и внешние фиксированные сигналы, получены в [8, 9].

Основными в части синтеза робастных систем в ℓ_1 -постановке стали работы [10, 11]. В первой из них предложен удобный для компьютерной реализации метод решения стандартной задачи ℓ_1 -оптимизации. Во второй работе рассмотрена стандартная задача синтеза регулятора, обеспечивающего заданное качество управления. Поскольку эта задача является сложной задачей невыпуклого математического программирования, предложенное в [11] решение основано на поиске по мелкой сетке в пространстве вспомогательных параметров, число которых равно числу независимых блоков структурированной неопре-

деленности. Соответствующая поисковым методам экспоненциальная оценка вычислительной сложности предложенного решения как функции параметра точности сильно ограничивает возможности его практического использования для синтеза робастного управления высокого качества.

В работах [12–16] рассматривались задачи синтеза оптимального робастного управления для объектов с возмущениями несократимых множителей передаточной матрицы номинальной системы. Одно из важных достоинств таких объектов заключается в сводимости ряда задач оптимального робастного синтеза к однопараметрическому семейству стандартных задач ℓ_1 -оптимизации, что позволяет эффективно решать эти задачи с помощью современного программного обеспечения.

По-видимому, единственной монографией, содержащей изложение базовых результатов по анализу устойчивости и качества робастных систем в ℓ_1 -постановке, является работа [17]. Однако основное содержание этой книги составляет неробастная теория ℓ_1 -оптимального управления. Литература по теории робастного управления на русском языке относительно бедна, и едва ли не единственной, дающей представление о различных направлениях современной теории робастного управления, является монография [18].

Основные понятия и обозначения. ℓ – вещественное линейное пространство вещественных последовательностей $x = (x(0), x(1), x(2), \dots)$; ℓ^p – вещественное линейное пространство векторных последовательностей $x = (x_1, \dots, x_p)^T$, $x_i \in \ell$; ℓ_∞ – нормированное пространство ограниченных вещественных последовательностей с нормой

$$\|x\| := \sup_k |x(k)|, \quad x \in \ell_\infty;$$

$\ell_\infty^p = \{x = (x_1, \dots, x_p)^T \mid x_i \in \ell_\infty\}$ – нормированное пространство ограниченных векторных последовательностей,

$$\|x\| := \max_i \|x_i\|;$$

ℓ_1 – нормированное пространство суммируемых вещественных последовательностей с нормой

$$\|x\|_1 := \sum_{k=0}^{\infty} |x(k)|, \quad x \in \ell_1;$$

P_k – оператор усечения на ℓ^p :

$$P_k x := (x(0), \dots, x(k), 0, 0, \dots);$$

q^{-1} – оператор сдвига назад на ℓ^p : $q^{-1}x(t) := x(t-1)$.

Отображение (система) $G: \ell^q \rightarrow \ell^p$ называется:

стационарным, если $q^{-1}G = Gq^{-1}$;

причинным, если $P_k G = P_k G P_k \forall k \in \mathbb{N}$;

строго причинным, если $P_k G = P_k G P_{k-1} \forall k \in \mathbb{N}$;

ℓ_∞ -устойчивым, если $G: \ell_\infty^q \rightarrow \ell_\infty^p$ – причинный, и существует постоянная $C > 0$ такая, что

$$\|Gx\| \leq C\|x\| \quad \forall x \in \ell_\infty^q \quad (Gx := G(x));$$

Для краткости ℓ_∞ -устойчивые отображения будут называться *устойчивыми*. Число

$$\|G\| := \sup_{x \neq 0} \frac{\|Gx\|}{\|x\|}$$

называется *коэффициентом усиления* системы G .

Любое линейное стационарное причинное отображение $M : \ell_\infty^q \rightarrow \ell_\infty^p$ характеризуется своей матрицей импульсных характеристик

$$M = (M(k))_{k=0}^{+\infty} = \begin{pmatrix} M_{11} & \dots & M_{1q} \\ \vdots & & \vdots \\ M_{p1} & \dots & M_{pq} \end{pmatrix},$$

где $M_{ij} \in \ell_1$ – импульсная характеристика от j -го входа к i -му выходу, и

$$Mx(t) = \sum_{k=0}^k M(k)x(t-k).$$

Функция $M(\lambda) = \sum_{k=0}^{\infty} M(k)\lambda^k$, $\lambda \in \mathbb{C}$, называется *передаточной матрицей системы* M . Для устойчивой системы M коэффициент усиления равен индуцированной норме M и

$$\|M\| = \|M(\lambda)\| := \|M\|_1 := \max_{1 \leq i \leq p} \sum_{j=1}^q \|M_{ij}\|_1.$$

1. Робастная устойчивость

Ядро ℓ_1 -теории робастного управления составляют необходимые и достаточные условия робастной устойчивости системы со структурированной неопределенностью:

$$\Delta = \begin{pmatrix} \Delta_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \Delta_2 & \dots & 0 \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & & \Delta_n \end{pmatrix}.$$

В качестве множества D допустимых неопределенностей Δ сначала будет рассматриваться множество

$$\Delta_n := \{ \Delta = \text{diag}(\Delta_1, \dots, \Delta_n) \mid \forall i \Delta_i : \ell_\infty \rightarrow \ell_\infty \text{ - строго причинный и } \|\Delta\| \leq 1 \}.$$

Для упрощения изложения все диагональные блоки Δ_i в Δ_n предполагаются одномерными. Множество Δ_n представляет класс нелинейных нестационарных возмущений, однако все сформулированные ниже результаты остаются справедливыми, если сузить класс допустимых операторных возмущений до линейных нестационарных или до нелинейных стационарных.

Уравнения, описывающие систему на рис. 1, имеют вид

$$\begin{aligned} y &= M_{yw}w + M_{y\xi}\xi \\ z &= M_{zw}w + M_{z\xi}\xi \\ \xi &= \Delta z, \end{aligned} \quad (1)$$

где

$$M = \begin{pmatrix} M_{yw} & M_{y\xi} \\ M_{zw} & M_{z\xi} \end{pmatrix} \quad (2)$$

– матрица импульсных характеристик линейной стационарной причинной номинальной системы. Для упрощения изложения сигналы w и y также считаются одномерными, так что блоки M_{yw} , $M_{y\xi}$, M_{zw} и $M_{z\xi}$ имеют размерности 1×1 , $1 \times n$, $n \times 1$ и $n \times n$ соответственно.

Из уравнения для сигнала z в системе (1) имеем

$$(I - M_{z\xi}\Delta)z = M_{zw}w.$$

Если все операторы $\Delta \in D$ строго причинные, то оператор $(I - M_{z\xi}\Delta) : \ell^n \rightarrow \ell^n$ обратим и

$$z = (I - M_{z\xi}\Delta)^{-1}M_{zw}w.$$

Тогда из уравнения для выхода y в системе (1) получаем

$$y = T_\Delta w, \quad (3)$$

где оператор

$$T_\Delta = M_{yw} + M_{y\xi}\Delta(I - M_{z\xi}\Delta)^{-1}M_{zw}$$

называется нижним дробно-линейным преобразованием. В силу дробно-линейной формы этого преобразования систему (1) называют системой с *дробно-линейным описанием неопределенности*. Для каждого фиксированного оператора $\Delta \in D$ оператор T_Δ описывает систему на рис. 1 как отображение пространства внешних входов w в пространство выходов y .

Определение 1. Система (1) называется *робастно устойчивой в классе D* , если оператор $(I - M_{z\xi}\Delta)^{-1}$ является ℓ_∞ -устойчивыми для всех $\Delta \in D$.

Если отображение M устойчиво и система (1) робастно устойчива в классе D , то отображение T_Δ и отображение, сопоставляющее входу w выход z , являются ℓ_∞ -устойчивыми для всех $\Delta \in D$.

Перед формулировкой основного результата по робастной устойчивости введем необходимые обозначения. Матрицу оператора $M_{z\xi}$ представим в виде

$$M_{z\xi} = \begin{pmatrix} M_{z1\xi_1} & \dots & M_{z1\xi_n} \\ \vdots & & \vdots \\ M_{zn\xi_1} & \dots & M_{zn\xi_n} \end{pmatrix},$$

и положим

$$[M_{z\xi}]_1 = \begin{pmatrix} \|M_{z1\xi_1}\| & \dots & \|M_{z1\xi_n}\| \\ \vdots & & \vdots \\ \|M_{zn\xi_1}\| & \dots & \|M_{zn\xi_n}\| \end{pmatrix},$$

$$R_n^+ := \{R = \text{diag}(r_1, \dots, r_n) \mid r_i > 0 \forall i\}. \quad (4)$$

Теорема 1 ([4,5]). Следующие утверждения эквивалентны:

- 1) Система (1) робастно устойчива в классе Δ_n .
- 2) Система неравенств $x \leq [M_{z\xi}]_1 x$ не имеет ненулевых решений $x \in \mathbb{R}^n$, удовлетворяющих условию $x \geq 0$, где неравенства понимаются покомпонентно.
- 3) $\rho([M_{z\xi}]_1) < 1$ ($\rho(\cdot)$ – спектральный радиус матрицы, т.е. максимальный из модулей ее собственных чисел).
- 4) $\inf_{R \in R_n^+} \|R^{-1}M_{z\xi}R\| < 1$.

2. Робастное качество

Для формулировки базового результата о робастном качестве системы (1) рассмотрим вспомогательный показатель качества

$$J_{\Delta}(M) := \|T_{\Delta}\|, \quad (5)$$

где T_{Δ} определено в (3).

Определение 2. Показатель качества $J_{\Delta}(M)$ системы (1) называется *робастным в классе операторных возмущений D* , если

$$J_{\Delta}(M) < 1 \quad \forall \Delta \in D. \quad (6)$$

Модифицируем систему (1), положив в ней $w = \Delta_0 y$, где $\Delta_0 \in \Delta(1)$. Модифицированная система изображена на рис. 2

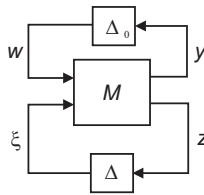


Рис. 2. Модифицированная система.

Теорема 2 ([5]). Показатель качества $J_{\Delta}(M)$ является робастным в классе Δ_n тогда и только тогда, когда система на рис. 2 робастно устойчива в классе Δ_{n+1} .

Теорема 2 позволяет применить теорему 1 для оценки робастности показателя качества $J_{\Delta}(M)$. В частности, в силу утверждения 3 теоремы 1 показатель качества $J_{\Delta}(M)$ является робастным в классе Δ_n тогда и только тогда, когда

$$\rho([M]_1) < 1, \quad (7)$$

где

$$[M]_1 = \begin{pmatrix} \|M_{yw}\| & \|M_{y\xi_1}\| & \dots & \|M_{y\xi_n}\| \\ \|M_{z_1w}\| & \|M_{z_1\xi_1}\| & \dots & \|M_{z_1\xi_n}\| \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \|M_{z_nw}\| & \|M_{z_n\xi_1}\| & \dots & \|M_{z_n\xi_n}\| \end{pmatrix}.$$

Критерий (7) можно использовать для прямого вычисления робастного качества системы (1) благодаря следующему свойству спектрального радиуса.

Лемма 1 ([7]). Пусть $A - (n+1) \times (n+1)$ матрица с неотрицательными элементами,

$$A := \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix}, \quad A_{11} \in \mathbb{R}, \quad A_{22} \in \mathbb{R}^{n \times n}.$$

Тогда $\rho(A) < 1$, если и только если $\rho(A_{22}) < 1$ и

$$\mathcal{F}(A) := A_{11} + A_{12}(I - A_{22})^{-1}A_{21} < 1. \quad (8)$$

Если не используются никакие дополнительные гипотезы о природе или свойствах возмущений, то естественным показателем качества системы (1) является наихудшее значение нормы выхода системы в классе допустимых возмущений:

$$J(M) := \sup_{\Delta \in \Delta_n} \|J_{\Delta}(M)\| = \sup_{\Delta \in \Delta_n} \sup_{\|w\| \leq 1} \|T_{\Delta}w\|. \quad (9)$$

Показатель качества (9) будем называть равномерным робастным показателем качества системы (1) в классе операторных возмущений Δ_n . Слово равномерный подчеркивает использование равномерной нормы пространства ℓ_{∞} для оценки качества системы управления. Заметим, что в случае линейной нестационарной неопределенности отображение T_{Δ} линейно и поэтому его индуцированную норму $\|T_{\Delta}\|$ можно вычислять как указано в (9).

Благодаря лемме 1 и критерию (7) можно получить следующее представление для показателя качества (9).

Теорема 3 ([7]). Для показателя качества (9) робастно устойчивой в классе Δ_n системы (1) справедливо представление

$$J(M) = \mathcal{F}([M]_1).$$

Введем обозначения

$$[M_{zw}]_1 := (\|M_{z_1w}\|, \dots, \|M_{z_nw}\|)^T,$$

$$[M_{y\xi}]_1 := (\|M_{y\xi_1}\|, \dots, \|M_{y\xi_n}\|).$$

Тогда формула для показателя качества с учетом определения функции $\mathcal{F}$ в (8) имеет вид

$$J_F(M, w) = \|M_{yw}\| + [M_{y\xi}]_1 (I - [M_{z\xi}]_1)^{-1} [M_{zw}]_1. \quad (10)$$

3. Асимптотическое робастное качество

Все описанные выше результаты неявно подразумевали нулевые начальные данные в системе управления. Применение этих результатов к системам с произвольными начальными данными возможно только за счет внесения значительного консерватизма, фактически обесценивающего эти результаты. Причина указанного консерватизма заключается в том, что неопределенности из класса Δ_n могут иметь сколь угодно большую память и, тем самым, оказывать негативное последствие на качество системы управления. Для получения неконсервативных условий устойчивости систем с произвольными начальными данными и оценки робастного качества систем в установившемся режиме, в работе [6] были рассмотрены более узкие, но более реалистичные классы неопределенностей с конечной и затухающей памятью. Оказалось, что изложенные выше результаты без изменений переносятся на случай таких неопределенностей и при этом открываются дополнительные возможности оценки робастного качества систем при наличии фиксированных внешних входов, например в системах слежения. Дадим краткое описание соответствующих результатов.

Последовательность векторов называется *финитной*, если содержит конечное число отличных от нуля элементов.

Определение 3. Причинный оператор $\Delta : \ell_{\infty}^n \rightarrow \ell_{\infty}^n$ называется *оператором с конечной памятью*, если он отображает финитные последовательности в такие же. Оператор $\Delta : \ell_{\infty}^n \rightarrow \ell_{\infty}^n$ называется *оператором с затухающей памятью*, если он отображает сходящиеся к нулю последовательности в такие же.

Все сформулированные далее результаты в равной мере справедливы для неопределенностей с конечной памятью и с затухающей памятью.

Множество

$$\Delta_n^F := \{ \Delta \in \Delta_n \mid \Delta - \text{оператор с конечной памятью} \}$$

будем называть классом (структурированных) неопределенностей с конечной памятью.

Теорема 4 ([6]). Система (1) робастно устойчива в классе неопределенностей Δ_n^F , если и только если система (1) робастно устойчива в классе неопределенностей Δ_n .

3.1. Асимптотическое робастное качество при фиксированном внешнем входе.

Пусть w – фиксированный внешний вход в системе (1). Положим

$$\|x\|_{ss} := \limsup_{t \rightarrow +\infty} |x(t)|$$

для вещественной последовательности $x \in \ell$,

$$[x]_{ss} := (\|x_1\|_{ss}, \dots, \|x_m\|_{ss})^T$$

для векторной последовательности $x = (x_1, \dots, x_m)^T \in \ell^m$,

$$[M_{zw}w]_{ss} := (\|M_{z1}w\|_{ss}, \dots, \|M_{zn}w\|_{ss})^T,$$

и определим блочную матрицу

$$M_{ss}(w) := \begin{pmatrix} \|M_{yw}w\|_{ss} & [M_{y\xi}]_1 \\ [M_{zw}w]_{ss} & [M_{z\xi}]_1 \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{(n+1) \times (n+1)}.$$

Рассмотрим сначала вспомогательный асимптотический показатель качества при фиксированном внешнем входе w и фиксированном операторном возмущении Δ :

$$J_{\Delta}(M, w) := \|y\|_{ss} = \limsup_{t \rightarrow +\infty} |y(t)|. \quad (11)$$

Определение 4. Показатель качества $J_{\Delta}(M, w)$ называется робастным в классе неопределенностей D , если

$$J_{\Delta}(M, w) < 1 \quad \forall \Delta \in D.$$

Теорема 5 ([6]). Пусть для внешнего входа $w \in \ell$ (последовательность w может быть неограниченной) элементы первого столбца матрицы $M_{ss}(w)$ конечны. Тогда показатель качества $J_{\Delta}(M, w)$ является робастным в классе операторных возмущений Δ_n^F тогда и только тогда, когда $\rho(M_{ss}(w)) < 1$.

Рассмотрим теперь асимптотический показатель качества, характеризующий робастное качество системы (1) в классе Δ_n^F при фиксированном внешнем входе w и произвольных допустимых неопределенностях:

$$J_F(M, w) := \sup_{\Delta \in D_F(n)} J_{\Delta}(M, w).$$

Следующая теорема дает представление показателя качества $J_F(M, w)$.

Теорема 6 ([6]). Пусть система (1) робастно устойчива в классе Δ_n^F и элементы первого столбца матрицы $M_{ss}(w)$ конечны. Тогда

$$J_F(M, w) = \mathcal{F}(M_{ss}(w)).$$

С учетом определения функции $\mathcal{F}$ в (8) формула для показателя качества имеет вид

$$J_F(M, w) = \|M_{yw}w\|_{ss} + [M_{y\xi}]_1 (I - [M_{z\xi}]_1)^{-1} [M_{zw}w]_{ss}. \quad (12)$$

3.2. Асимптотическое робастное качество в задаче слежения.

Рассмотрим систему, изображенную на рис. 3 и отличающуюся от системы на рис. 1 наличием дополнительного входа r , для простоты также одномерного. Вход w будет трактоваться как неизвестное ограниченное внешнее возмущение, а вход r – как известный задающий сигнал. В задачах слежения выходом y обычно является разность выходов управляемого объекта и задающего сигнала.

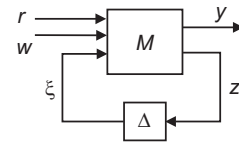


Рис. 3. Система слежения с задающим сигналом r .

Система на рис. 3 описывается уравнениями

$$\begin{pmatrix} y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_{yr} & M_{yw} & M_{y\xi} \\ M_{zr} & M_{zw} & M_{z\xi} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \\ w \\ \xi \end{pmatrix}, \quad (13)$$

$$\xi = \Delta z,$$

где размерности блоков матрицы M импульсных характеристик системы имеют размерности, соответствующие размерностям их входных и выходных сигналов.

Поскольку внешние входы не влияют на робастную устойчивость системы, необходимые и достаточные условия робастной устойчивости системы (13) в классе неопределенностей Δ_n^F остаются, в силу теоремы 4, теми же, что и в теореме 1.

Рассмотрим опять вспомогательный показатель качества для фиксированной неопределенности $\Delta \in \Delta_n^F$:

$$J_{tr, \Delta}(M, r) := \sup_{\|w\|_{\infty} \leq 1} \|y\|_{ss}.$$

Используя введенные ранее обозначения, определим матрицу

$$M(r) := \begin{pmatrix} [M_{yr}r]_{ss} + [M_{yw}]_1 & [M_{y\xi}]_1 \\ [M_{zr}r]_{ss} + [M_{zw}]_1 & [M_{z\xi}]_1 \end{pmatrix}.$$

Используя аналогичное введенным ранее определение робастности показателя качества $J_{tr, \Delta}(M, r)$, имеем следующее утверждение.

Теорема 7 ([9]). Пусть $\|M_{yr}r\|_{ss}$ и $\|M_{zr}r\|_{ss}$ конечны (что заведомо выполнено для ограниченного задающего сигнала r). Тогда показатель качества $J_{tr, \Delta}(M, r)$ является робастным в классе неопределенностей Δ_n^F , если и только если $\rho(M(r)) < 1$.

Пусть робастное качество системы слежения (13) оценивается показателем качества

$$J_{tr}(M, r) := \sup_{\Delta \in \Delta_n^F} \sup_{\|w\|_\infty \leq 1} \|y\|_{ss}. \quad (14)$$

Теорема 7 позволяет получить представления для показателя качества $J_{tr}(M, r)$.

Теорема 8 ([9]). Пусть $\|M_{yr}r\|_{ss}$ и $\|M_{zr}r\|_{ss}$ конечны и система (13) робастно устойчива в классе Δ_n^F . Тогда

$$J_{tr}(M, r) = \mathcal{F}(M(r)).$$

Явное представление для показателя качества $J_{tr}(M, r)$ с учетом формулы (8) имеет вид

$$J_{tr}(M, r) = [M_{yr}r]_{ss} + [M_{yw}]_1 + \\ + [M_{y\xi}]_1(I - [M_{z\xi}]_1)^{-1}([M_{zr}r]_{ss} + [M_{zw}]_1).$$

3.3. Асимптотическое робастное качество в классе неопределенностей с ограниченной памятью.

Во всех приведенных выше результатах как внешние возмущения, так и неопределенности предполагались нормализованными, т.е. ограничения на их нормы и коэффициенты усиления считались равными 1, поскольку любые другие ограничения можно учесть соответствующим изменением номинальной модели M . Поэтому априорная информация о системе в классической теории робастного управления, как отмечалось во введении, включает описание номинальной модели и верхних границ всех возмущений. Однако во многих практических задачах априорная информация является неполной или весьма неточной. В этих случаях возникают различные задачи восполнения недостающей информации по данным измерений, ставшие предметом активных исследований в течение двух последних десятилетий и образовавшие новое направление исследований под названием идентификации для робастного управления. Получить представление об этом направлении и найти обширную библиографию по нему можно, например, в последних специальных выпусках ведущих международных журналов по управлению [19, 20].

Первой и самой простой задачей в условиях неполной априорной информации можно считать задачу верификации модели, заключающуюся в проверке соответствия номинальной модели и верхних границ возмущений данным измерениям. Рассмотренные в предыдущем подразделе классы неопределенностей с конечной или затухающей памятью оказываются непригодными для решения задачи верификации модели, поскольку по конечным данным измерений невозможно судить о соответствии такой модели неопределенностей данным измерениям (по конечному отрезку последовательности нельзя судить, является ли она финитной или сходящейся к нулю). Для обеспечения возможности решения задачи верификации модели в [8, 9] был рассмотрен более узкий класс неопределенностей с ограниченной памятью

$$\Delta_n^\mu := \{ \Delta \in \Delta_n \mid \|\Delta x(t)\| \leq \max_{t-\mu \leq k \leq t-1} |x(t-k)| \forall t \},$$

где натуральное число μ характеризует память неопределенности.

Введем робастный показатель качества слежения для системы с ограниченными возмущениями:

$$J_{tr}^\mu(M, r) := \sup_{\Delta \in \Delta_n^\mu} \sup_{\|w\|_\infty \leq 1} \|y\|_{ss}.$$

Нетрудно показать, что $\Delta_n^\mu \subset \Delta_n^F$. Из этого следует, что робастная устойчивость системы (13) в классе неопределенностей Δ_n^F влечет ее робастную устойчивость в классе неопределенностей Δ_n^μ и

$$J_{tr}^\mu(M, r) \leq J_{tr}(M, r).$$

В [8, 9] было показано, что верхняя оценка $J_{tr}(M, r)$ является неконсервативной при больших значениях μ при дополнительном предположении о задающем сигнале r .

Определение 5. Будем говорить, что вещественная последовательность $\{x(t)\}_{t=0}^\infty$ равномерно часто попадает в окрестности своего верхнего предела $\|x\|_{ss}$, если для любого $\varepsilon > 0$ существуют натуральное число N и строго возрастающая последовательность натуральных чисел $\{t_j\}_{j=1}^\infty$ такие, что

$$\forall j \quad (t_{j+1} - t_j \leq N \wedge |x(t_j)| \geq \|x\|_{ss} - \varepsilon).$$

Теорема 9 ([9]). Пусть система (13) робастно устойчива в классе неопределенностей Δ_n^F , $\rho(M(r)) \geq 1$, и элементы первого столбца матрицы $M(r)$ равномерно часто попадают в окрестности своих верхних пределов. Тогда

$$\lim_{\mu \rightarrow \infty} J_{tr}^\mu(M, r) \geq 1. \quad (15)$$

Неконсервативность верхней оценки $J_{tr}(M, r)$ устанавливается в следующей теореме.

Теорема 10 ([9]). Пусть система (13) робастно устойчива в классе неопределенностей Δ_n^F , и элементы первого столбца матрицы $M(r)$ равномерно часто попадают в окрестности своих верхних пределов. Тогда

$$J_{tr}^\mu(M, r) \nearrow J_{tr}(M, r) \text{ при } \mu \rightarrow +\infty,$$

где символ $\nearrow$ означает монотонную сходимость снизу.

Обобщения теорем 7–10 для систем с многомерными входами и выходами даны в [8]. Заметим в заключение, что точное вычисление показателя качества $J_{tr}^\mu(M, r)$ остается открытой проблемой.

4. Задачи синтеза оптимальных робастных регуляторов

При решении задач синтеза робастных регуляторов блок-схема робастной системы управления принимает вид, изображенный на рис. 4, на котором отображение P обозначает обобщенный номинальный объект управления, а отображение K – синтезируемый конструктором регулятор. Таким образом, номинальная система M характеризуется обобщенным номинальным объектом P и регулятором K :

$$M = M(P, K).$$

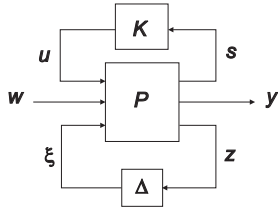


Рис. 4. Система управления с операторным возмущением.

Пусть робастное качество системы управления на рис. 4 оценивается показателем качества (9). Соответствующую этому показателю задачу

$$\inf_K J(M(P, K)) \quad (16)$$

будем называть задачей *оптимального робастного регулирования*. Эта задача, не говоря уже о более сложной задаче оптимального слежения, соответствующей показателю качества (14), является сложной невыпуклой оптимальной задачей и, за исключением нескольких частных случаев, даже не формулировались в литературе по робастному управлению. Один из стандартных подходов упрощения оптимальных задач заключается в рассмотрении *вспомогательной задачи* нахождения регулятора K , гарантирующего выполнение неравенства

$$J(M(P, K)) < \gamma \quad (17)$$

для заданного числа $\gamma > 0$, и в последующем поиске близкого к минимальному значения параметра γ .

Вспомогательная задача (17) решалась в [11] с помощью другой оптимальной задачи – минимизации спектрального радиуса:

$$\inf_K \rho([M(P, K)]_1), \quad (18)$$

обоснованием которой служит критерий 3) теоремы 1. Приближенное решение этой задачи сведено в [11] к решению порядка $1/\varepsilon^{n^2+n}$ задач конечномерного линейного программирования, где ε – требуемая точность решения и n – число независимых блоков структурированной неопределенности. Указанная оценка сложности решения оказывается хуже стандартной экспоненциальной оценки сложности для методов полного перебора по сетке в силу сложности целевой функции.

Для упрощения вспомогательной задачи (17) в работах [12–16] эта задача рассматривалась для достаточно общего класса объектов управления с возмущениями несократимых множителей передаточной матрицы. Для упрощения изложения выход объекта и управление по-прежнему предполагаются одномерными.

4.1. Объект управления с возмущениями несократимых множителей передаточной матрицы.

Пусть объект управления описывается уравнением

$$a(q^{-1})y(t) = q^{-d}b(q^{-1})u(t) + v(t), \quad t \in \mathbb{N}, \quad (19)$$

где суммарное возмущение v в объекте имеет вид

$$v := \delta_y \Delta_y y + \delta_u \Delta_u u + \delta_w w, \quad (20)$$

$\delta_y, \delta_u \geq 0$ – верхние границы операторных возмущений по выходу и управлению соответственно, $\delta_w \geq 0$ – верхняя граница внешнего возмущения,

$$\Delta = \begin{pmatrix} \Delta_y & 0 \\ 0 & \Delta_u \end{pmatrix} \in \Delta_2, \quad (21)$$

$a(q^{-1})$ и $b(q^{-1})$ – взаимно простые полиномы от оператора сдвига назад q^{-1} (напомним, что $q^{-1}x(t) := x(t-1)$):

$$a(q^{-1}) = 1 + a_1 q^{-1} + \dots + a_n q^{-n},$$

$$b(q^{-1}) = b_0 + b_1 q^{-1} + \dots + b_m q^{-m}, \quad b_0 \neq 0,$$

натуральное число $d \geq 1$ – запаздывание в управлении. Таким образом, функция $P(\lambda) = \lambda^d b(\lambda)/a(\lambda)$ является передаточной функцией номинального объекта, и неопределенности $\delta_y \Delta_y$ и $\delta_u \Delta_u$ можно считать возмущениями несократимых множителей передаточной функции.

Параметризация семейства всех регуляторов K , стабилизирующих номинальный объект управления, имеет вид [21]

$$K = K(Q) := G_{uv}(Q)G_{yv}(Q)^{-1}, \quad (22)$$

где $Q(\lambda) = \sum_{k=0}^{\infty} Q(k)\lambda^k$ – произвольная устойчивая передаточная функция с импульсной характеристикой $Q = (Q(0), Q(1), \dots) \in \ell_1$,

$$\begin{aligned} G_{yv}(Q) &= G_{yv}(\lambda) = \alpha^0(\lambda) - \lambda^d b(\lambda)Q(\lambda), \\ G_{uv}(Q) &= G_{uv}(\lambda) = \beta^0(\lambda) - a(\lambda)Q(\lambda) \end{aligned} \quad (23)$$

– семейство всех устойчивых передаточных функций замкнутой системы от суммарного возмущения v к выходу y и управлению u , и полиномы $\alpha^0(\lambda)$ и $\beta^0(\lambda)$ – фиксированные решения уравнения Безу

$$a(\lambda)\alpha^0(\lambda) - \lambda^d b(\lambda)\beta^0(\lambda) = 1.$$

Как правило, в качестве полиномов $\alpha^0(\lambda)$ и $\beta^0(\lambda)$ выбираются полиномы наименьшей степени ($\deg \alpha^0(\lambda) < d + m$, $\deg \beta^0(\lambda) < n$), вычисление которых сводится к решению невырожденной системы линейных уравнений относительно коэффициентов этих полиномов.

Применяя теорему 3 к системе, включающей объект (19)–(21) и регулятор (22), можно получить следующую формулу для показателя качества (9)

$$J(Q) := J(M(P, K)) = \frac{\delta_w \|G_{yv}(Q)\|}{1 - \delta_y \|G_{yv}(Q)\| - \delta_u \|G_{uv}(Q)\|}. \quad (24)$$

Необходимым и достаточным условием робастной устойчивости системы в классе неопределенностей Δ_2 является положительное значение знаменателя в представлении (24). Это условие вводит зависящее от параметра Q ограничение на верхние границы операторных возмущений.

4.2. Задачи оптимального робастного синтеза для скалярного объекта и их геометрическая интерпретация.

С учетом введенных в (22) и (24) обозначений $K(Q)$ и $J(Q)$, отражающих зависимость регулятора K и соответствующего ему значения показателя качества от параметра Q , задача оптимального робастного регулирования (16) принимает вид

$$\inf_{Q \in \ell_1} J(Q), \quad (25)$$

и соответствующая вспомогательная задача (17) заключается в нахождении импульсной характеристики $Q \in \ell_1$, гарантирующей выполнение неравенства

$$\frac{\delta_w \|G_{yv}(Q)\|}{1 - \delta_y \|G_{yv}(Q)\| - \delta_u \|G_{uv}(Q)\|} \leq \gamma. \quad (26)$$

В силу аффинной зависимости передаточных функций $G_{yv}(Q)$ и $G_{uv}(Q)$ от импульсных откликов $Q(k)$, задачу (26) можно классифицировать как квазивыпуклую задачу бесконечномерного дробно-линейного программирования. Для заданного значения γ неравенство (26) эквивалентно неравенству

$$\left(\frac{\delta_w}{\gamma} + \delta_y\right) \|G_{yv}(Q)\| + \delta_u \|G_{uv}(Q)\| \leq 1. \quad (27)$$

Задачу обеспечения неравенства (27) свяжем с оптимальной задачей

$$\inf_Q \nu \|G_{yv}(Q)\| + \delta_u \|G_{uv}(Q)\|, \quad (28)$$

где

$$\nu := \frac{\delta_w}{\gamma} + \delta_y.$$

Задача (28) называется задачей смешанной чувствительности, и для взаимно простых полиномов $a(\lambda)$ и $b(\lambda)$ она имеет решение для любых $\nu > 0$, $\delta_u > 0$ в силу теоремы 4 [22]. Более того, в силу теоремы 5 [22] точка минимума Q_ν этой задачи является финитной последовательностью, т.е. соответствующая ей передаточная функция $Q_\nu(\lambda)$ – полином. Заметим, что оптимальное значение показателя качества в задаче (25) есть наименьшее возможное значение параметра γ в задаче (27), которому, в свою очередь, соответствует наибольшее допустимое значение параметра ν . Положим

$$\nu_* := \sup \{ \nu > \delta_y \mid \nu \|G_{yv}(Q_\nu)\| + \delta_u \|G_{uv}(Q_\nu)\| \leq 1 \}. \quad (29)$$

Значение ν_* не определено, если не существует регулятора, робастно стабилизирующего объект (19), т.е. если для всех $\nu > \delta_y$ оптимальное значение в задаче (28) больше единицы.

Теорема 11. Пусть полиномы $a(\lambda)$ и $b(\lambda)$ взаимно простые. Тогда для любых фиксированных $\delta_y \geq 0$, $\delta_u > 0$ либо не существует линейного стационарного регулятора, стабилизирующего объект управления (19)–(21) в классе операторных возмущений Δ_2 , либо этот объект стабилизируем в классе операторных возмущений Δ_2 , при этом Q_{ν_*} – точка минимума в задаче оптимального робастного регулирования (25).

На рис. 5 представлена геометрическая интерпретация четырех различных задач оптимального синтеза, встречающихся в литературе по теории робастного управления в ℓ_1 -постановке. Дадим необходимые пояснения к этому рисунку.

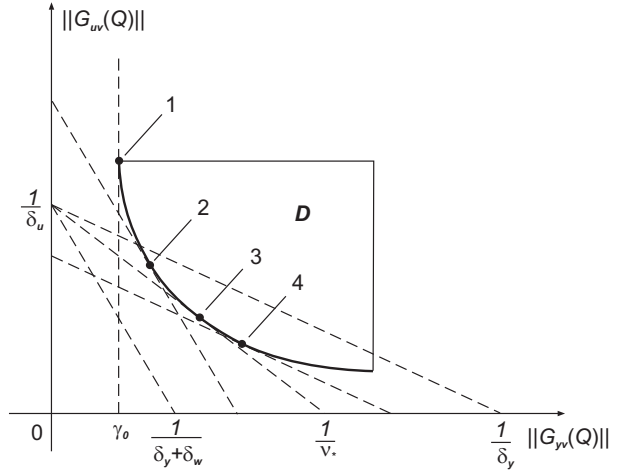


Рис. 5. Оптимальные пары $(\|G_{yv}(Q)\|, \|G_{uv}(Q)\|)$ в задачах: 1 – ℓ_1 -оптимальное робастное регулирование, 2 – минимальный спектральный радиус, 3 – ℓ_1 -оптимальное робастное регулирование, 4 – максимальный знаменатель.

Рассмотрим множество

$$D := \{ (\|G_{yv}(Q)\|, \|G_{uv}(Q)\|) \mid Q \in \ell_1 \} \quad (30)$$

пар норм передаточных функций $G_{yv}(Q)$ и $G_{uv}(Q)$, соответствующих всем параметрам $Q \in \ell_1$, т.е. всем линейным стационарным регуляторам K , стабилизирующим номинальный объект без возмущений. Условное изображение множества D приведено на рис. 5, где множеству D соответствуют точки сверху-справа от жирной кривой. Заметим, что в силу аффинности передаточных функций $G_{yv}(Q)$ и $G_{uv}(Q)$ по Q и выпуклости по G функции $\|G\|$ на пространстве ℓ_1 множество D является выпуклым. Поскольку любые разумные задачи синтеза робастных регуляторов ставят целью уменьшение норм передаточных функций $G_{yv}(Q)$ и $G_{uv}(Q)$, интерес представляет только часть множества D , ограниченная сверху и справа вертикальным и горизонтальным отрезками, изображенными на рис. 5.

Рассмотрим сначала задачу ℓ_1 -оптимального регулирования

$$\gamma_0 = \inf_{Q \in \ell_1} \|G_{yv}(Q)\|. \quad (31)$$

Задача (31) была впервые сформулирована в [23], где было получено ее аналитическое решение для минимально-фазового объекта (т.е. в случае устойчивого полинома $b(\lambda)$). Решение для произвольного скалярного объекта было получено в [24]. В работе [24] было доказано существование точки минимума в задаче (31), если полином $b(\lambda)$ не имеет корней на единичной окружности комплексной плоскости. Более того, минимум в этом случае достигается на финитной последовательности, т.е. оптимальная передаточная функция $Q(\lambda)$ является полиномом. В

зарубежной литературе задача (31) была впоследствии сформулирована в [25], а ее решение на основе линейного программирования было предложено в [26, 27]. Задача (31) стала предметом нового направления математической теории управления – теории ℓ_1 -оптимального управления [17, 28] и служит одной из основ ℓ_1 -теории робастного управления.

Пусть Q^0 – точка минимума в задаче (31). Оптимальная пара $(\|G_{yv}(Q^0)\|, \|G_{uv}(Q^0)\|)$, соответствующая этой задаче, отмечена на рис. 5 цифрой 1 и является точкой пересечения множества D с вертикальной касательной к этому множеству, проходящей через точку $(\gamma_0, 0)$.

Оптимальная пара $(\|G_{yv}(Q_{\nu_*})\|, \|G_{uv}(Q_{\nu_*})\|)$, соответствующая решению задачи оптимального робастного регулирования (25), отмечена на рис. 5 цифрой 3. Геометрическая интерпретация этой оптимальной пары следует из определения (29) оптимального значения ν_* и теоремы 11. Прямая

$$\nu_* x_1 + \delta_u x_2 = 1,$$

где (x_1, x_2) – координаты точек прямой, является касательной к множеству D , проходящей через точку $(0, 1/\delta_u)$. Именно условие касания и определяет оптимальное (максимальное) значение параметра ν_* и соответствующее этому параметру оптимальное значение параметра Q_{ν_*} . Таким образом, геометрическая интерпретация задачи оптимального робастного регулирования (25) заключается в нахождении точки касания множества D прямой, проходящей через заданную точку $(0, 1/\delta_u)$. В следующей теореме приведены простейшие свойства ℓ_1 -оптимального робастного регулятора.

Теорема 12. 1) ℓ_1 -оптимальный робастный регулятор $K(Q_{opt})$ для скалярного объекта (19)–(21) не зависит от верхней границы δ_w внешнего возмущения и верхней границы δ_y операторного возмущения по выходу.

2) Если в скалярном объекте (19)–(21) отсутствует операторное возмущение по управлению, т.е. $\delta_u = 0$, то ℓ_1 -оптимальный регулятор $K(Q^0)$ является и ℓ_1 -оптимальным робастным регулятором.

3) Для любого фиксированного значения верхней границы $\delta_u \geq 0$ ℓ_1 -оптимальный робастный регулятор $K(Q_{opt})$ обеспечивает наибольший промежуток допустимых значений верхней границы δ_y операторного возмущения по выходу, при которых скалярный объект (19)–(21) стабилизируем в классе операторных возмущений Δ_2 .

Дадим теперь геометрическую интерпретацию задачи минимизации спектрального радиуса (18). Оптимальная пара $(\|G_{yv}(Q)\|, \|G_{uv}(Q)\|)$, соответствующая решению этой задачи, отмечена на рис. 5 цифрой 2. Не приводя здесь детального обоснования, заметим, что эта оптимальная пара является точкой пересечения с множеством D касательной к этому множеству, имеющей вектор нормали $(\delta_y + \delta_w, \delta_u)^T$. Эта геометрическая интерпретация наглядно демонстрирует, что сама по себе задача минимизации спектрального радиуса является искусственной и представляет интерес только как средство решения вспомогательной задачи (17).

Наконец, дадим геометрическую интерпретацию типичной оптимальной задачи, рассматривавшейся в литературе по робастному управлению. Напомним, что необходимое и достаточное условие робастной устойчивости системы (19)–(21) в классе операторных возмущений Δ_2 имеет вид

$$\delta_y \|G_{yv}(Q)\| + \delta_u \|G_{uv}(Q)\| < 1. \quad (32)$$

Поскольку в классических вариантах теории робастного управления верхние границы возмущений считаются учтенными в передаточных матрицах (что позволяет полагать $\delta_y = \delta_u = 1$), условие робастной устойчивости записывается в “нормализованной” форме

$$\|G_{yv}(Q)\| + \|G_{uv}(Q)\| < 1.$$

На основании этого стандартная постановка задачи оптимального робастного синтеза имеет вид

$$\inf_{Q \in \ell_1} \|G_{yv}(Q)\| + \|G_{uv}(Q)\| \quad (33)$$

и называется задачей обеспечения *наибольшей области устойчивости* (см., например, [29]). Если явно учитывать верхние границы возмущений, то задача (33) следует записывать в виде

$$\inf_{Q \in \ell_1} \delta_y \|G_{yv}(Q)\| + \delta_u \|G_{uv}(Q)\|. \quad (34)$$

Строго говоря, для систем со структурированной неопределенностью, т.е. при $n \geq 2$, задача обеспечения наибольшей области устойчивости не имеет корректной постановки, и решение задачи (34) не обеспечивает максимизацию области устойчивости в пространстве верхних границ δ_y, δ_u (соответствующие области робастной устойчивости зависят от отношения δ_y/δ_u). Постановка задачи максимизации области робастной устойчивости корректна только для систем с неструктурированной неопределенностью, т.е. при $n = 1$ (см. краткую формулировку теоремы о малом коэффициенте усиления, приведенную во введении). Именно эта задача была главным мотивом разработки H_∞ -теории управления, ядра современной теории робастного управления (см. введение в [2]). Из представления (24) нетрудно видеть, что задача (34) является по существу задачей максимизации знаменателя в показателе качества задачи оптимального робастного регулирования (25). Таким образом, задача (34) представляет интерес не сама по себе, а только как средство для решения более слабой задачи обеспечения робастной устойчивости, т.е. выполнения неравенства (32). Оптимальная пара $(\|G_{yv}(Q)\|, \|G_{uv}(Q)\|)$ задачи (34) отмечена на рис. 5 цифрой 4 и является точкой пересечения с множеством D касательной к этому множеству, имеющей вектор нормали $(\delta_y, \delta_u)^T$.

Возвращаясь к задаче оптимального регулирования (25) после описанной выше ее геометрической интерпретации заметим, что множество (30) заранее неизвестно и его приближенное описание требует значительных вычислений. Однако эти вычисления не являются необходимыми для решения задачи (25). Алгоритмы решения задачи оптимального робастного регулирования для скалярного объекта управления приведены и обоснованы в [14, 15], а

их обобщения для многомерных объектов получены в работах [12, 16].

В статье рассматривались только «классические» задачи робастного управления, в которых номинальная система и верхние границы возмущений предполагаются известными и не рассматривались задачи для систем с неполной априорной информацией, включающие задачи верификации модели, идентификации систем и адаптивного управления.

Литература

1. Goodwin G.C., Graebe S.F. and Salgado M.E. Control Systems Design. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2001 (русский перевод: Гудвин Г.К., Греббе С.Ф., Сальгадо М.Э. Проектирование систем управления. М.: Бинном. Лаборатория знаний, 2004).
2. Zhou K., Doyle J.C., Glover K. Robust and optimal control. Prentice-Hall Inc. Upper Saddle River. N.J. 1996.
3. Zames G. On the input-output stability on nonlinear time-varying feedback systems. Part I: Conditions derived using concepts of loop gain, conicity and positivity// IEEE Transactions on Automatic Control. 1966. Vol. 11. P. 228-238.
4. Khammash M., Pearson J.B. Analysis and design for robust performance with structured uncertainty // Systems and Control Letters. 1993. Vol. 20. P. 179-187.
5. Khammash M., Pearson J.B. Performance Robustness of Discrete-Time Systems with Structured Uncertainty // IEEE Transactions on Automatic Control. 1991. Vol. 36. P. 398-412.
6. Khammash M.H. Robust steady-state tracking // IEEE Transactions on Automatic Control. 1995. Vol. 40. P. 1872-1880.
7. Khammash M.H. Robust Performance: Unknown Disturbances and Known Fixed Inputs // IEEE Transactions on Automatic Control. 1997. Vol. 42. P. 1730-1P734.
8. Соколов В.Ф. Асимптотическое робастное качество дискретной системы слежения в ℓ_1 -метрике // Автоматика и телемеханика, 1999. № 1. С. 101-112.
9. Sokolov Vol.F. ℓ_1 robust performance of discrete-time systems with structured uncertainty // Systems and Control Letters. 2001. Vol. 42(5). P. 363-377.
10. Khammash M.H. A new approach to the solution of the ℓ_1 control problem: the scaled-Q method // IEEE Transactions on Automatic Control. 2000. Vol. 45. P. 180-187.
11. Khammash M., Salapaka M.V., Voorhis T.V. Robust Synthesis in ℓ_1 : A Globally Optimal Solution // IEEE Transactions on Automatic Control. 2001. Vol. 46. P. 1744-1754.
12. Соколов В.Ф. Синтез ℓ_1 -субоптимальных робастных регуляторов для многомерных объектов при возмущениях несократимых множителей // Доклады Академии наук, 2001. Т. 381. №. 4. С. 463-468.
13. Соколов В.Ф. Синтез ℓ_1 -субоптимального робастного регулятора для линейного скалярного объекта с неструктурированной неопределенностью // Автоматика и телемеханика, 2001. № 1. С. 150-163.
14. Соколов В.Ф. Синтез ℓ_1 субоптимального робастного регулятора для линейного дискретного скалярного объекта со структурированной неопределенностью // Автоматика и телемеханика, 1999. № 11. С. 80-99.
15. Sokolov V.F. ℓ_1 Optimal Robust Controller for SISO Plant under Coprime Factor Perturbations // IEEE Transactions on Automatic Control. 2000. Vol. 45. P. 2339-2345.
16. Sokolov V.F. Suboptimal robust synthesis for MIMO plant under coprime factor perturbations // Systems and Control Letters. 2008. Vol. 57(4). P. 348-355.
17. Dahleh M.A. and Diaz-Bobillo I.J. Control of uncertain systems: a linear programming approach. Englewood Cliffs. NJ:Prentice-Hall. 1995.
18. Поляк Б.Т., Щербаков П.С. Робастная устойчивость и управление. М.: Наука, 2002.
19. Ljung L. and Vicino A. (Eds.) Special Issue on System Identification // IEEE Transactions on Automatic Control. 2005. Vol. 50. No. 10.
20. Soderstrom T., Van Den Hof P., Wahlberg B. and Weiland S. (Eds.) Special Issue on Data-Based Modelling and System Identification // Automatica. 2005. Vol. 41. No. 3.
21. Фоми́н В.Н., Фрадков А.Л., Якубович В.А. Адаптивное управление динамическими объектами. М.: Наука, 1981.
22. McDonald J.C. and Pearson J.B. ℓ_1 -optimal control of multivariable systems with output norm constraints // Automatica. 1991. Vol. 27. 317-329.
23. Якубович Е.Д. Решение задачи оптимального управления линейным дискретным объектом // Автоматика и телемеханика. 1975. № 9. С. 73-79.
24. Барабанов А.Е., Граничин О.Н. Оптимальный регулятор линейного объекта с ограниченной помехой // Автоматика и телемеханика, 1984. № 5. С. 39-46.
25. Vidyasagar M. Optimal rejection of persistent bounded disturbances // IEEE Transactions on Automatic Control. 1986. Vol. 31. P. 527-534.
26. Dahleh M.A., Pearson J.B. ℓ^1 - optimal-feedback controllers for discrete-time systems // Proc. American Control Conference. 1986. Seattle, WA, June, P. 1964-1968.
27. Dahleh M.A., Pearson J.B. ℓ^1 -optimal feedback controllers for MIMO discrete-time systems // IEEE Transactions on Automatic Control. 1987. Vol. 32. P. 314-322.
28. Барабанов А.Е. Синтез минимаксных регуляторов. С.-Петербург: Изд-во С.-Петербургского ун-та, 1996.
29. Dahleh M.A. BIBO stability robustness in the presence of coprime factor perturbations // IEEE Transactions on Automatic Control. 1992. Vol. 37. P. 352-355.

Статья поступила в редакцию 30.05.2011.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 547.458.8:577.114.4

СИНТЕЗ ПРОИЗВОДНЫХ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, СОДЕРЖАЩИХ ФОСФАТНЫЕ, АМИНО- И МЕРКАПТОГРУППЫ

М.А. ТОРЛОПОВ

*Институт химии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
Torlopov-ma@chemi.comisc.ru*

Тозилцеллюлоза использована для получения аминобутилдезоксигцеллюлозы, меркаптодезоксигцеллюлозы и водорастворимого фосфата целлюлозы по реакции межмолекулярного нуклеофильного замещения. Получены препараты с максимальным содержанием азота – 5.1, серы – 18.7, фосфора – 19.5 %.

Ключевые слова: производные целлюлозы, фосфаты целлюлозы

M.A. TORLOPOV. SYNTHESIS OF CELLULOSE DERIVATIVES CONTAINING PHOSPHATE, AMINO AND MERCAPTO GROUPS

We investigated the use of tosyl cellulose for deoxyamino cellulose, deoxymercapto cellulose derivatives and water-soluble cellulose phosphate by the reaction of intermolecular nucleophilic substitution. Preparations with the maximum content of nitrogen 5.1, 18.7 sulfur, 19.5% phosphorus were obtained.

Key words: cellulose deoxyderivatives, cellulose phosphate

Введение

Использование низкомолекулярных нуклеофильных агентов для получения функциональных производных целлюлозы требует, как правило, поляризации связи между атомом углерода и замещаемой группой. К числу производных целлюлозы с такими поляризующими группами относятся некоторые сложные эфиры целлюлозы – нитраты, эфиры сульфокислот, фосфаты. Особенное распространение для синтеза функциональных производных целлюлозы получили эфиры целлюлозы и *n*-толуолсульфокислоты (тозилаты). На их основе были получены различные ангидропроизводные целлюлозы, в систематическое изучение которых значительный вклад внесли советские ученые под руководством З.А.Роговина [1].

В настоящее время использование тозилатов целлюлозы (тозилцеллюлозы) представляется весьма перспективным методом получения новых производных целлюлозы как в связи с появлением новых методов получения этого промежуточного продукта, так и с интересом к практическому применению некоторых функциональных производных целлюлозы, полученных с использованием тозилцеллюлозы. Прежде всего, это касается применения аминодезоксипроизводных целлюлозы в биомедицинских областях [2, 3].

В данной работе исследовано использование тозилцеллюлозы для получения трёх типов производных: аминобутилдезоксигцеллюлозы, меркаптодезоксигцеллюлозы и фосфата целлюлозы.

Материалы и методы

Методы анализа. Спектры ЯМР ^{13}C записаны на приборе «Bruker Avance II 300» (рабочая частота 75 МГц) в DMSO- d_6 . ИК-спектры образцов – на спектрометре «Prestige-21», в таблетках KBr в области 700-4000 cm^{-1} . Элементный анализ образцов (определение серы) осуществляли на приборе EA-1110 фирмы «CE instruments» после сжигания образца в токе кислорода с хроматографической регистрацией продуктов. Содержание фосфора в образцах определяли с помощью фотометрического метода (образование окрашенного комплекса с фосформolibденовой синью) [3] после полного гидролиза полимера серной кислотой. Анализ серы в составе тиольных групп осуществляли методом кислотно-основного титрования после исчерпывающего окисления тиольных групп пероксидом водорода.

Материалы. Хлопковая МКЦ производства АО «Полиэкс» (г. Бийск), *n*-толуолсульфохлорид (Ts-Cl, Acros). *N,N*-диметилацетамид (ДМАА), *N,N*-диметилформамид (ДМФА), триэтиламин (NEt_3) перед использованием перегоняли, LiCl сушили в вакууме при 100 °C в течение 12 ч. Остальные реактивы использовали без дополнительной очистки.

Тозилцеллюлозу получали по методу, подробно описанному в работе [2]. Кратко: МКЦ растворяли в системе LiCl/ДМАА, вносили предварительно приготовленную смесь Ts-Cl/триэтиламин (2 моль NEt_3 на каждый моль Ts-Cl) в ДМАА. Реакцию этерификации вели 24 ч при 70 °C.

ИК-спектр (KBr, $\nu_{\max}$, см^{-1}): 3323 (νOH), 3062 (νAr), 1175 ($\text{SO}_2\text{-O}$), 816 (S-O), 770 ($\delta\text{C-H Ar}$). ЯМР ^{13}C (75 МГц, DMSO-d_6 , δ , м.д.): 22.13, 72.71, 78.6, 98.9, 102.2, 126 – 133.1.

Дезоксиаминобутилцеллюлозу (Ц-NHBu) получали по реакции нуклеофильного замещения тозилцеллюлозы. Типовой синтез: 2 г тозилата целлюлозы со степенью замещения 1.70 (4.7 ммоль) растворяли в 20 см^3 ДМФА. При перемешивании вносили 1.72 г *n*-бутиламина (23.5 ммоль). Полученную смесь термостатировали 48 ч при 65°C. По окончании реакции гомогенную реакционную смесь охлаждали, выливали в 100 см^3 этанола, осадок отделяли, промывали водой, затем этанолом до нейтральной реакции, сушили в вакууме при 40°C. Выход Ц-NHBu в виде желтоватого порошка составил 1.10 г. Содержание азота: 5.1 % масс. Ц-NHBu хорошо растворим в ДМСО, ДМФА, ДМАА, водном растворе кислот, хлороформе.

ИК-спектр (KBr, $\nu_{\max}$, см^{-1}): 2954, ($\nu\text{R}_2\text{NH}$), 1597 (δNH), 816 (S-O), 1175 (SO_2), сл.770 ($\delta\text{C-H Ar}$). ЯМР ^{13}C (75 МГц, DMSO-d_6 , δ , м.д.): 13.98, 20.01, 38.6-40.3, 73.8, 98.9, 102.5, 126 – 130.2.

Дезоксимеркаптоцеллюлозу (Ц-SH) синтезировали следующим образом: 2.0 г тозилцеллюлозы со степенью замещения 1.70 (4.7 ммоль) растворяли в 20 см^3 ДМФА. Затем при перемешивании вносили 1.52 г (23.5 ммоль) тиокарбамида ($\text{S}=\text{CN}_2\text{H}_4$). Полученную смесь термостатировали 48 ч при 90°C. По окончании гомогенную реакционную смесь охлаждали, выливали в 100 см^3 этанола, осадок отделяли, промывали водой, затем этанолом до нейтральной реакции. Полученную соль Бунте обрабатывали 1.0 %-ным водным раствором NaOH в течение суток при 20°C, осаждали этанолом, отделяли и промывали 70 %-ным этанолом до нейтральной реакции, затем сушили в вакууме при 40°C. Выход Ц-SH в виде светло-коричневого порошка 0.72 г. Содержание серы (SH-группы): 18.7 % масс. Ц-SH не растворима в ДМСО, ДМФА, ацетоне. Набухает в водных растворах NaOH. ИК-спектр (KBr, $\nu_{\max}$, см^{-1}): 3495 (νOH), 2924 (νCH_2), 2580 ($\nu\text{C-S}$), 1620 (C=N), 1365, 1178 (SO_2), 816 (S-O).

Фосфат целлюлозы (ФЦ). Типовой синтез: 2.0 г тозилата целлюлозы со степенью замещения 1.7 (4.7 ммоль) растворяли в 20 см^3 ДМФА. При перемешивании вносили тетрабутиловую соль *o*-фосфорной кислоты (23.5 ммоль, соль готовили нейтрализацией *o*-фосфорной кислоты водным раствором тетрабутиламмония до pH=7,8 с последующим высушиванием в вакууме). Полученную смесь термостатировали 48 ч при 60°C. По истечении этого времени гомогенную реакционную смесь охлаждали, выливали в 100 см^3 этанола, осадок отделяли, промывали 70 %-ным этанолом. Для получения Na-соли препарат растворяли в 0.4 н NaCl, осаждали

этанолом и очищали методом диализа, после чего сушили в вакууме при 40°C. Выход ФЦ-Na в виде желтоватого порошка 1.60 г. Содержание фосфора 19.5 %-масс. Хорошо растворим в воде, не растворим в ДМСО, ДМФА, ацетоне, этаноле.

ЯМР ^{13}C (75 МГц, D_2O , δ , м.д.): 67.3, 70-79.8, 98.2, 131.3. ЯМР ^{31}P (D_2O , δ , м.д.): 18.18.

Результаты и обсуждение

В данной работе для получения тозилцеллюлозы использован один из наиболее эффективных методов, основанный на проведении реакции целлюлозы с *n*-толуолсульфохлоридом в системе LiCl/ДМАА. Благодаря гомогенному составу реакционной системы тозирование осуществляется в мягких условиях при пониженной температуре. Варьированием состава реакционной смеси, продолжительности реакции возможно получать препараты модифицированной целлюлозы с различной степенью замещения. Для данного исследования нами использован препарат тозилата целлюлозы со степенью замещения 1.5. Выводы о распределении тозилатных групп в статистическом звене сделаны на основе расшифровки данных ЯМР ^{13}C спектров. По этим данным полностью этерифицированы гидроксильные группы при С6-атоме ангидроглюкозного звена и частично при С2, С3-атомах. Эти данные согласуются с результатами исследований, представленных в работах [5]. Более высокая реакционная способность гидроксильной группы при С6 углеродном атоме ангидроглюкозного звена объясняется пространственными факторами – относительно большей доступностью первичной спиртовой группы ангидроглюкозного звена.

Реакции нуклеофильного замещения тозилатов целлюлозы проводились с целью получения дезоксицеллюлоз, содержащих N- и S-дезоксигруппы в составе элементарных звеньев, а также фосфатные группы (рисунок).

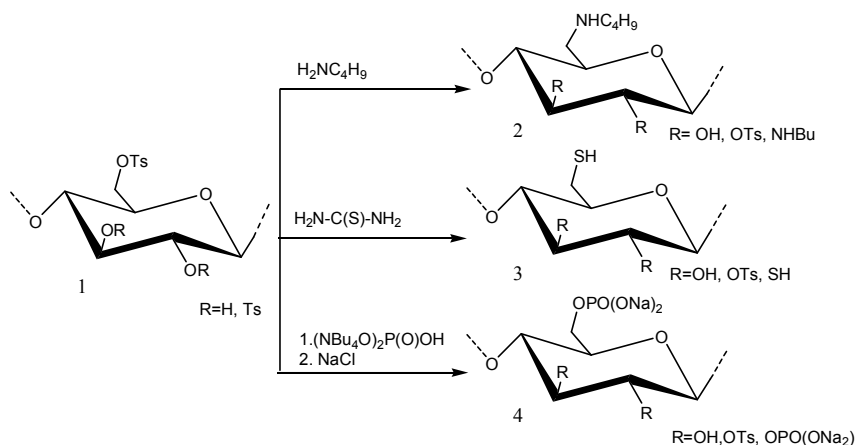


Рис. Схема трансформации тозилата целлюлозы (1) в дезоксиаминобутилцеллюлозу (2), дезоксимеркаптоцеллюлозу (3), фосфат целлюлозы (4).

Реакции межмолекулярного нуклеофильного замещения тозилцеллюлозы могут быть проведены в различных растворителях: воде, ацетоне, ДМСО и других. Выбор ДМФА для этой реакции обусловлен его высокой температурой кипения и способностью растворять как тозилцеллюлозу, так и все ис-

пользованные нами нуклеофильные агенты. Избыток нуклеофильных агентов использовали для смещения направления реакции замещения в сторону образования целевых продуктов

Результаты замещения тозилатных групп при обработке тозилцеллюлозы *n*-бутиламином представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты обработки тозилцеллюлозы
пятикратным мольным избытком
n-бутиламина в ДМФА, 65°C**

№ образца п.п.	Продолжительность, ч	Содержание азота, % мас.
1	6	1.7
2	12	2.2
3	24	2.9
4	48	5.1

Приведенные результаты свидетельствуют о сравнительно медленной скорости реакции нуклеофильного замещения. В первые 24 ч содержание азота не превышает 2.9 % масс, увеличиваясь до 5.1 % масс через 48 ч реакции. Учитывая литературные данные [2] можно ожидать ускорение подобной реакции с увеличением температуры, однако в выбранных условиях синтеза её уровень определяется температурой кипения *n*-дибутиламина.

Полученный смешанный полисахарид, содержащий звенья аминодезоксиаминобутилцеллюлозы, а также остатки тозилных групп, обладает интересными физико-химическими свойствами. Если исходная тозилцеллюлоза представляет собой гидрофобный полимер, растворимый в полярных апротонных растворителях, то после введения в ее структуру остатков бутиламина (содержание азота не менее 4 % мас.) смешанный полисахарид набухает или становится растворим в ацетоне, спиртах, подкисленных водных растворах, образует водорастворимые соли с органическими и неорганическими кислотами, т.е. обладает свойствами амфифильного полимера.

Тиокарбамид широко используется в органическом синтезе для получения сероорганических соединений, например меркаптанов, посредством обработки растворами щелочей промежуточного продукта – тиурониевых солей. Ранее меркаптосодержащие производные целлюлозы получены из галогендезоксидеоксидцеллюлоз [6], из тозилцеллюлозы – действием сульфида натрия, восстановлением тиоцианатов и некоторых других производных [7]. В данной работе для получения Ц-SH использована реакция тиокарбамида с тозилцеллюлозой (со стадией гидролиза тиурониевых солей), результаты которой приведены в табл. 2.

После 48-часовой обработки были получены образцы с содержанием серы (в составе меркаптогрупп) более 18 % масс. Следует отметить, что тиурониевые соли целлюлозы представляют определенный интерес ввиду их водорастворимости. Получаемая после их обработки водным NaOH Ц-SH не растворима в воде, но может быть растворена в водных щелочах, при условии степени замещения по SH-группам от 0.8 и выше.

Таблица 2

**Результаты обработки тозилцеллюлозы
пятикратным мольным избытком
тиокарбамида в ДМФА, 90°C**

№ образца п.п.	Продолжительность, ч	Содержание серы в составе SH-групп, % мас.
1	6	2.8
2	12	7.1
3	24	13.2
4	48	18.7

Использование реакции нуклеофильного замещения галоген- и тозилатпроизводных спиртов солями фосфорной кислоты встречается в химии нуклеозидов и их производных. По нашим данным, тозилцеллюлоза для этих целей ранее не использовалась. Для получения ФЦ нами применен метод, аналогичный синтезу дифосфата нуклеозида при кипячении с ацетонитриле смеси тетрабутиламиновой соли дифосфорной кислоты с хлоридом или тозилатом изопентенила [8]. Как показано ниже, данный метод вполне применим в химии высокомолекулярных соединений для получения фосфатов из тозилат и, по-видимому, галогенпроизводных. Результаты взаимодействия тозилцеллюлозы с тетрабутиламиновой солью о-фосфорной кислоты в ДМФА приведены в табл. 3. Содержание фосфора в образцах рассчитано в Na-соли ФЦ.

Таблица 3

**Результаты обработки тозилцеллюлозы
тетрабутиламиновой солью
о-фосфорной кислоты в ДМФА при 65°C (48 ч)**

№ образца п.п.	Избыток (NBu ₄ O) ₂ P(O)OH на звено тозилцеллюлозы, моль/моль	Содержание фосфора, % мас.
1	1.1	2.6
2	2.0	2.9
3	3.0	15.2
4	5.1	19.5

Как следует из приведенных данных, наиболее полное замещение тозилатных групп наблюдается в случае пятикратного избытка соли о-фосфорной кислоты. Использование в данном случае тетрабутиламиновой соли обусловлено её растворимостью в ДМФА, в отличие от более доступных фосфатов Na или K. Получаемые по данному методу ФЦ-Na с высокой степенью замещения хорошо растворимы в воде.

На сегодняшний день известно несколько способов получения ФЦ. Большинство из них, однако, приводят к получению не растворимых в воде продуктов – этерификация целлюлозы фосфорной кислотой [9], ее ангидридом [10] или хлорангидридом [11] – вследствие образования как моно-, так и ди-, и триалкилфосфатов, «сшивающих» целлюлозу [1]. Для получения водорастворимых ФЦ с высо-

кой степени замещения существует ограниченное количество методов, имеющих, как правило, несколько стадий. По этим причинам предлагаемый способ получения ФЦ, несомненно, способен найти некоторое применение в препаративном синтезе, особенно препаратов ФЦ с определенным положением фосфатной группы в элементарном звене.

Таким образом, показана возможность использования тозилцеллюлозы для получения амино- и меркаптодезоксигцеллюлоз, а также водорастворимых фосфатов целлюлозы с высокой степенью замещения.

Выводы

1. Предложен метод синтеза амфифильных производных целлюлозы, содержащих звенья дезоксиаминобутилглюкозы.

2. Показана возможность синтеза меркаптодезоксигцеллюлозы с помощью реакции нуклеофильного замещения тозилцеллюлозы тиокарбамидом и последующим гидролизом тиурониевой соли в воде.

3. Впервые синтезированы водорастворимые фосфаты целлюлозы реакцией нуклеофильного замещения тозилцеллюлозы тетрабутиламиновой солью фосфорной кислоты.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ – госконтракта №16.512.11.2012 «Разработка методов получения физиологически активных веществ гемореологического действия на основе полусинтетических терпеноидов и растительных полисахаридов».

Литература

1. *Роговин З.А.* Химия целлюлозы. М.: Химия, 1972. С. 231.
2. *Knaus S., Mais U., Binder W.H.* Synthesis, characterization and properties of methylaminocellulose // *Cellulose*, 2003. No.10. P. 139-150.
3. *Heinze Th., Koschella1 A., Magdaleno-Maiza L., Ulrich A.S.* Nucleophilic displacement reactions on tosyl cellulose by chiral amines // *Polymer Bulletin*, 2001. No. 46. P. 7-13.
4. *Основы аналитической химии / В.И. Фадеева, Т.Н. Шеховцева и др.; под. ред. Ю.А. Золотова.* М.: Высш. шк., 2001. С. 463.
5. *Arai K., Yoda N.* Preparation of water-soluble sodium deoxycellulosesulfonate from homogeneously prepared tosylcellulose // *Cellulose*, 1998. No. 5. P. 51-58.
6. *Aoki N., Fukushima K., Kurakata H., Sakamoto M.* 6-Deoxy-6-mercaptopcellulose and its S-substituted derivatives as sorbents for metal ions // *Reactive & Functional Polymers*, 1999. No. 42. P. 223-233.
7. *Целлюлоза и ее производные /* Под ред. Н.Байк-ла, Л.Сегала; пер. с англ. под ред. З.А.Роговина. Т. 2. М.: Мир, 1974.
8. *Youngha R., Scott A.I.* Efficient one-step syntheses of isoprenoid conjugates of nucleoside 5-diphosphates // *Organic letters*, 2003. Vol. 5. No. 24. P. 4713-4715.
9. *Fricain J.C., Granja P.L., Barbosa M.A.* Cellulose phosphates as biomaterials. In vivo biocompatibility studies // *Biomaterials*, 2002. No. 23. P. 971-980.
10. *Петропавловский Г.А., Котельникова Н.Е.* Дегидратация и фосфорилирование целлюлозы оксидом фосфора (5) в среде диметилформамида // *Cellulose chemistry and technology*, 1985. № 19. P. 591-600.
11. *Tian C.M., Xie X.J.* The Effect of metal ions on thermal oxydative degradation of cotton cellulose ammonium phosphate // *J. of thermal analysis and calorimetry*, 2003. No. 73. P. 827.

Статья поступила в редакцию 22. 04. 2011.

УДК 546.05,549.057

МИКРОПОРИСТАЯ КЕРАМИКА КОРДИЕРИТОВОГО СОСТАВА НА ОСНОВЕ ПРИРОДНОГО СЫРЬЯ**Е.Ф. КРИВОШАПКИНА, П.В. КРИВОШАПКИН, Б.Н. ДУДКИН***Институт химии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
chemicalpasha@mail.ru*

Получены микропористые керамические подложки кордиеритового состава с использованием различного природного сырья. Исследованы состав, структура и свойства полученной керамики. Микропористые подложки могут быть использованы для получения субмикро- и нанопористых керамических мембран.

Ключевые слова: керамика, кордиерит, боксит, каолинит

E.F.KRIVOSHAPKINA, P.V.KRIVOSHAPKIN, B.N.DUDKIN. MICROPOROUS CORDIERITE CERAMICS ON THE BASIS OF NATURAL RAW MATERIALS

Microporous ceramic substrates of cordierite structure with use of various natural raw materials are received. The structure and properties of ceramics are investigated. Microporous substrates can be recommended for submicro- and nano-filtration ceramic membranes.

Key words: ceramics, cordierite, bauxite, kaoline

В современных технологиях роль пористых проницаемых материалов как фильтрующих элементов для разделения компонентов различных систем, в том числе и микропористых керамических материалов, в качестве селективных мембран неуклонно возрастает. Мембраны, сорбенты и катализаторы являются наукоемкой продукцией, без которой невозможно прорывное развитие базовых, высоко технологичных секторов экономики и эффективное решение важных задач социальной сферы и проблем экологии. Материалом для получения мембран могут быть металлы, керамика и полимерные материалы. В настоящее время наиболее распространены полимерные мембраны на основе целлюлозы и ее эфиров, полиамидов, полисульфонов, полиолефинов и большинства других известных полимеров [1]. Основным недостатком таких мембран является узкий температурный интервал их использования.

Высокие температуры способны выдержать керамические мембраны, которые обычно получают компактированием монофракционных порошков [2] или золь-гель способом [3].

В отличие от полимерных мембран керамические мембраны имеют два слоя, т.е. асимметричное или композиционное строение. Мембранный слой закрепляют на пористом проницаемом керамическом носителе, размер пор может варьироваться от 1 до 100 мкм. Существенным недостатком керамических мембран, прежде всего, является сложность получения узкого распределения пор по размерам и вероятность изменения данного распределения при высоких температурах в процессе эксплуатации мембраны. Определенную трудность представляет получение мембранного слоя с бездефектной, однородно пористой структурой.

В работе представлены результаты изучения открытой пористости, водопоглощения и производительности по дистиллированной воде для керамических микропористых подложек на основе кордиерита, полученного с использованием природных минералов Республики Коми.

Керамические материалы на основе кордиерита применяются в металлургии, машиностроении и химической промышленности в качестве огнеупоров, фильтров и носителей катализаторов. Кордиерит обладает чрезвычайно низкой константой диэлектрической проницаемости, небольшим коэффициентом теплового расширения (СТЕ), высокой химической устойчивостью и превосходными изоляционными свойствами [4].

Теоретический состав кордиерита отвечает содержанию: MgO – 13,7; Al₂O₃ – 34,9; SiO₂ – 51,4 (масс. %). Получение кордиерита возможно с использованием товарных реактивов в виде оксидов или солей данных элементов, взяв их в стехиометрическом соотношении. Например, сихту, в состав которой входят следующие компоненты: оксид кремния 46,51-47,38 %; оксид магния 0,59-2,92 %; оксид алюминия 1,5-7,43 %; сульфат магния 29,15-35,44 %; порошок алюминия 1,51-15,95 %, выход кордиерита 100% [5]. Трудности, возникающие при проведении такого синтеза из реактивов, обусловлены узким интервалом спекания, невысокой прочностью получаемых изделий и высокой стоимостью материалов, применяемых в качестве сырья.

Более рентабельным является синтез кордиерита из природного минерального сырья, позволяющий снизить стоимость, что делает кордиеритовую керамику более доступной. Известен способ получения кордиеритовой керамики [6], в котором используются минералы: тальк – 40 %; каоли-

нит – 45, глинозем – 15. Недостатком при использовании данного состава представляется невысокая прочность получаемого керамического материала.

Изготовление кордиеритовой керамики с использованием составов, включающих тальк, каолинит, глинозем, кварцевый песок и полевои шпат при соотношении компонентов: тальк – 39-41 %, каолинит – 19-20, глинозем – 23-25, кварцевый песок – 8-12, полевои шпат 4-6 %, приводит к положительному результату. Керамический материал обладает высокими прочностными и эксплуатационными характеристиками, которые обусловлены хорошей степенью спеченности [7]. Введение в состав полевои шпата позволяет, незначительно меняя содержание оксидов кремния и алюминия, варьировать количество оксидов щелочных металлов. Введение кварцевого песка дает возможность снизить содержание в шихте каолинита и нежелательных примесей.

Таким образом, введение в состав шихты на основе талька, каолинита, глинозема, полевои шпата и кварца позволяет добиться удовлетворительного соотношения основных оксидов, близкого к стехиометрии, и влиять на соотношение таких важных примесей, как щелочные оксиды.

Получение кордиеритовой керамики возможно из серпентинитов и каолинита при их соотношении (1:1,5)-(1:5), обжиг проводят при температуре 1250-1400°C с температурным интервалом обжига 70-100°C [8].

При синтезе кордиерита из природных материалов основными поставщиками MgO выступает тальк; Al_2O_3 – каолинит и глинозем; SiO_2 – тальк и каолинит. Использование природных минералов способствует попаданию значительного количества примесей щелочных металлов. Полностью исключить, например, каолинит невозможно, так как при его разложении образуются дисперсные фазы с высокой реакционной способностью, кроме того, каолинит является хорошей пластифицирующей добавкой [9].

Оптимизация состава исходной шихты позволяет улучшить фазовый состав и пористость спеченного материала, что очень важно для получения фильтрующих подложек. Использование природного сырья без дополнительной очистки позволяет сделать кордиеритовые изделия более дешевыми и доступными.

Исходные материалы и методы

В качестве исходных материалов использованы маложелезистые бокситы Верхне-Щугорского месторождения, каолиниты Пузлинского месторождения Республики Коми, тальк Миасского талькитового месторождения. В работе также были использо-

ваны α -оксид алюминия, диоксид кремния и карбонат кальция маркировки «ч». Предварительный обжиг исходных материалов не проводился. Химический состав боксита и каолинита устанавливали по результатам количественного химического анализа.

Образцы маложелезистых бокситов, каолинитов и талька исследованы методом рентгенофазового анализа (РФА). Рентгенограммы получены по методу порошка на рентгеновском дифрактометре XRD-6000 фирмы SHIMADZU с излучением $Cu K_{\alpha}$ в интервале углов отражения 2θ от 10 до 70. Расшифровку рентгенограмм проводили с использованием кристаллографической базы для минералов и их структурных аналогов МИНКРИСТ [10].

В соответствии с табл. 1 готовили смеси компонентов следующих составов.

Навески компонентов взвешивали на электронных весах ALC – 210d4, смесь предварительно

Таблица 1

Содержание компонентов в исходной смеси (ω , %)

Состав	Каолинит	Боксит	Тальк	α -оксид алюминия	Диоксид кремния	Карбонат кальция
C1	45	б/д	40	15	б/д	-
C2	45	б/д	40	14,5	б/д	0,5
C3	45	б/д	40	14	б/д	1
C4	45	б/д	40	13,5	б/д	1,5
C5	20	б/д	40	29	11	б/д
C6	20	б/д	40	28	11	1
C7	20	б/д	40	24	11	5
C8	б/д	20	40	29	11	б/д
C9	б/д	20	40	28,5	11	0,5
C10	б/д	20	40	28	11	1
C11	б/д	20	40	27,5	11	1,5
C12	б/д	20	40	24	11	5

Примечание: б/д – данный компонент в исходной смеси отсутствует.

перетирали в фарфоровой ступке, а затем в коллоидной мельнице КМ-1. Время обработки в коллоидной мельнице подбирали экспериментально. Оптимальным временем обработки было принято 9 час (рис. 1).

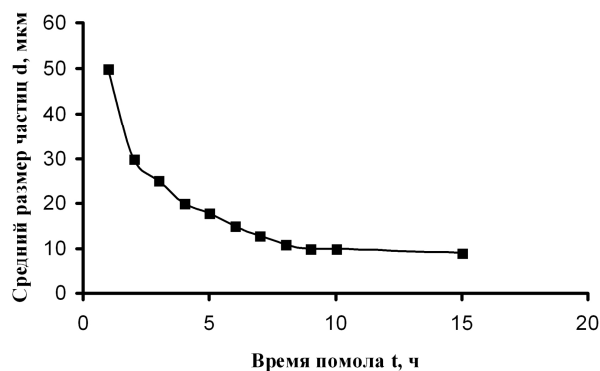


Рис. 1. График зависимости среднего размера частиц шихты от времени обработки в коллоидной мельнице.

Размер частиц после помола определяли с помощью седиментационного анализа на сканирующем фотоседиментографе «FRITSCH analisette20» (рис. 2).

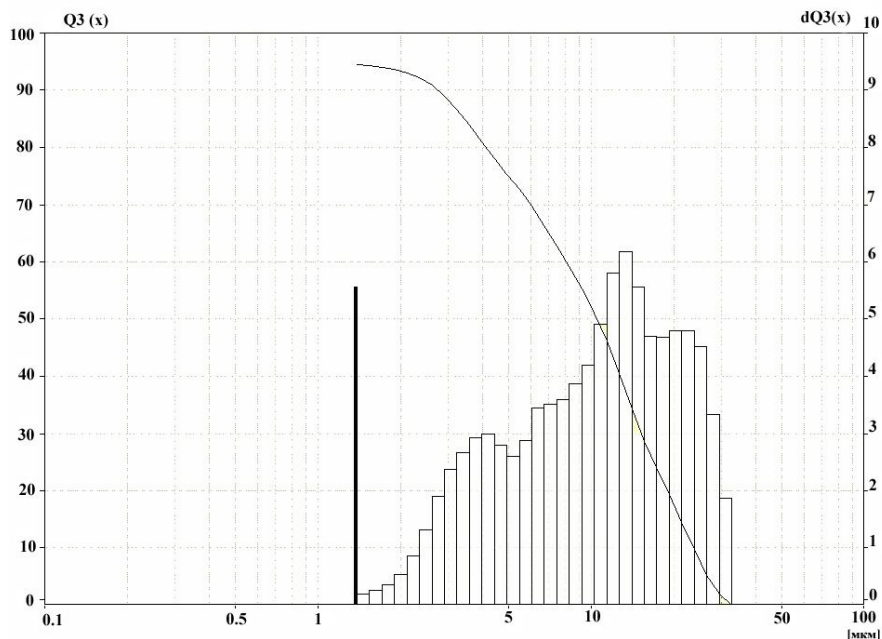


Рис. 2. Результаты определения средних размеров частиц в шихте (время помола в коллоидной мельнице 9 час).

Формование образцов осуществляли методом полусухого прессования в круглых пресс-формах из нержавеющей стали на прессе ИП-100 при одноосном нагружении. Усилие прессования составляло 70 МПа при скорости нагружения 0,2 – 0,3 МПа/с. В качестве связующего компонента был использован 5 %-ный водный раствор поливинилового спирта (ПВС).

Для выбора температурного режима спекания дисков были исследованы кривые дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Кривые ДСК были получены на приборе NETZSCH STA 409 PC/PG с повышением температуры от 25 °С до 1450 °С. Скорость нагрева образцов 10 °С/мин.

По результатам ДСК (рис. 3) определяли температурный режим обжига образцов с временными выдержками при наблюдающихся тепловых эффектах. Проводили предварительный обжиг материала до температуры 750 °С с использованием электрической печи типа СНОЛ со скоростью подъема температуры 2 °С/мин. Далее проводили обжиг на воздухе с использованием электрической печи «Linn High Term HT – 1800» с изотермической выдержкой 60 мин при температуре

1380 °С. Скорость нагревания составляла 7 °С/мин, охлаждение образцов проводили со скоростью 7 °С/мин.

Полученные образцы были исследованы методами рентгенофазового анализа и сканирующей электронной микроскопии (электронный микроскоп UL-TRA55 фирмы Zeiss).

У образцов полученной кордиеритовой керамики были определены открытая пористость, водопоглощение и производительность по дистиллированной воде. Кажущуюся плотность, открытую пористость и водопоглощение вычисляли путем насыщения и последующего гидростатического взвешивания в воде в соответствии с требованиями ГОСТа [11]. Все измерения и синтезы проводены при трехразовой повторяемости и в условиях воспроизводимости.

Обсуждение результатов

Результаты анализа проб каолинитов и бокситов, в пересчете на высшие оксиды, представлены в табл.

2. Исходя из полученных данных, установлено, что основными компонентами каолинита являются оксиды SiO_2 и Al_2O_3 , содержание которых в сумме составляет 80 % от анализируемой навески; основ

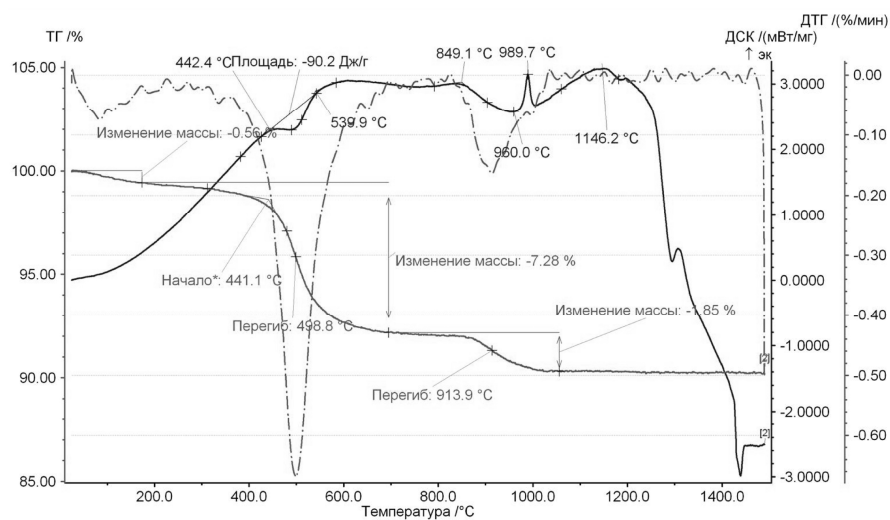


Рис. 3. Кривая дифференциальной сканирующей калориметрии для состава С1.

ным компонентом боксита – оксид алюминия Al_2O_3 , содержание которого составляет 69 % от анализируемой навески.

Результаты расшифровки дифрактограмм каолинита свидетельствуют о наличии групп дифракционных линий, отвечающих типичной структуре каолинитов (рис. 4). Содержание в каолините примесных фаз, выявленных по результатам хими-

Таблица 2

*Химические составы (в пересчете на оксиды)
минерального сырья*

Компонент	Содержание компонентов в каолините	Содержание компонентов в боксите
	($\omega \pm \Delta$), %	($\omega \pm \Delta$), %
SiO ₂	43,4±0,4	5,24±0,21
Al ₂ O ₃	37,2±0,8	68,8±0,6
TiO ₂	2,50±0,14	8,4±0,24
Fe ₂ O ₃ (общ)	0,56±0,08	1,24±0,12
FeO	0,040±0,005	н/о
CaO	0,28±0,05	н/о
MgO	0,17±0,04	2,14±0,14
Na ₂ O	0,16±0,03	0,070±0,008
K ₂ O	0,030±0,006	0,070±0,008
MnO	н/о	0,040±0,007
P ₂ O ₅	н/о	0,070±0,008
V ₂ O ₅	н/о	0,040±0,007
п.п.п.	14,5±0,3	13,92±0,3

Примечание: н/о – не обнаружено.

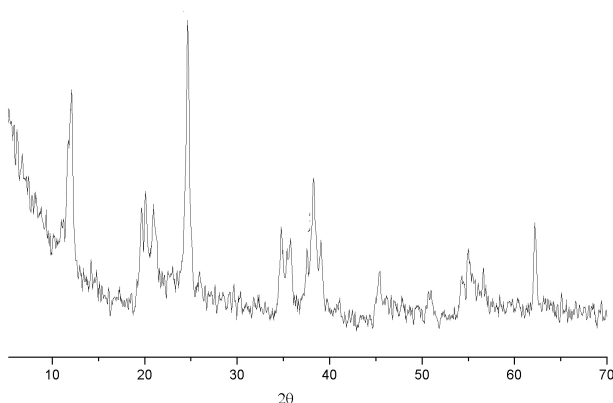


Рис. 4. Рентгенограмма каолинита.

ческого анализа, не превышает порога чувствительности метода РФА.

Минеральный состав бокситов, по данным РФА, представлен в основном бемитом (В) и каолинитом (К). Общий вид рентгенограммы приведен на рис. 5.

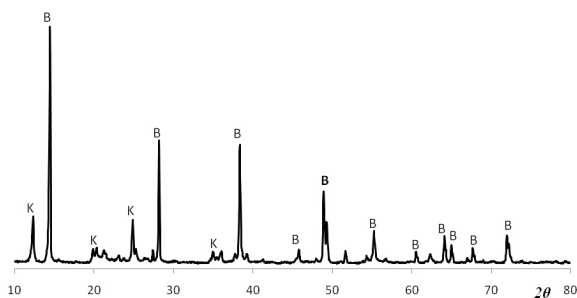


Рис. 5. Рентгенограмма порошка бокситов (В – бемит, К – каолинит).

Рентгенограмма имеет вид, типичный для талька с брутто-формулой $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ (рис. 6).

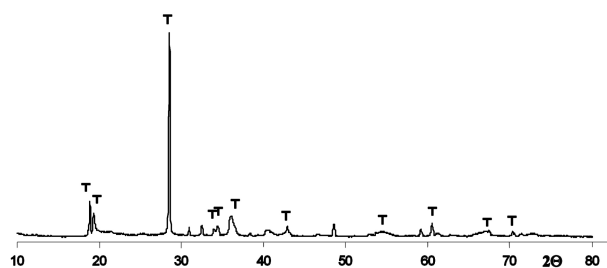


Рис. 6. Рентгенограмма порошка талька (Т).

При обжиге изделия окончательно формируется микроструктура керамического материала, оказывающая доминирующее влияние на утилитарные свойства изделия. В процессе обжига изделия происходит спекание частиц шихты, и конечный продукт представляет собой прочный пористый материал.

Расшифровку рентгенограмм спеченной керамики проводили с использованием кристаллографической базы для минералов и их структурных аналогов МИНКРИСТ [10]. Рентгенограммы всех составов идентичны, общий вид рентгенограмм составов С1, С7 и С12 приведен на рис. 7.

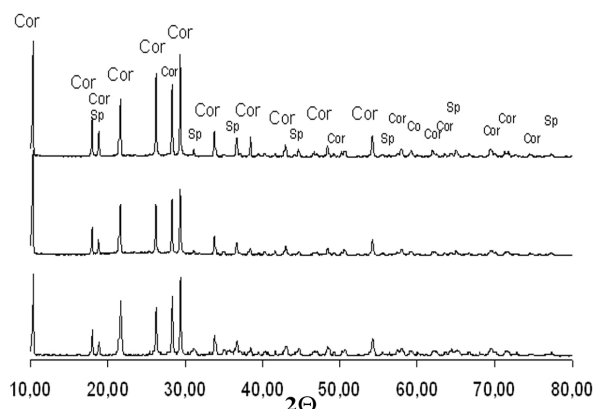


Рис. 7. Рентгенограммы кордиеритовой керамики составов С1, С7, С12 (Cor – кордиерит, Sp – шпинель).

Основные идентифицируемые фазы – кордиерит $Mg_2Al_4Si_5O_{18}$ (пространственная группа $P6/mcs$, гексагональная сингония), шпинель $MgAl_2O_4$ (*F d3m, кубическая). Содержание шпинели для всех образцов не превышает 7 %.

Общий вид подложек представлен на рис. 8 (в сантиметровом масштабе). В образцах, содержащих 5% карбоната кальция, присутствуют поры размером в несколько десятков микрон. Исследования образцов с помощью оптического микроскопа показали, что поры в образцах, содержащих 1 % карбоната кальция (С10) и не содержащие карбонат кальция (С1), лежат в пределах от 10 до 50 мкм.

Поверхность кордиеритовой керамики состава С1 исследована методом сканирующей электронной микроскопии. Размер пор варьируется от 10 до 50 мкм (рис. 9).

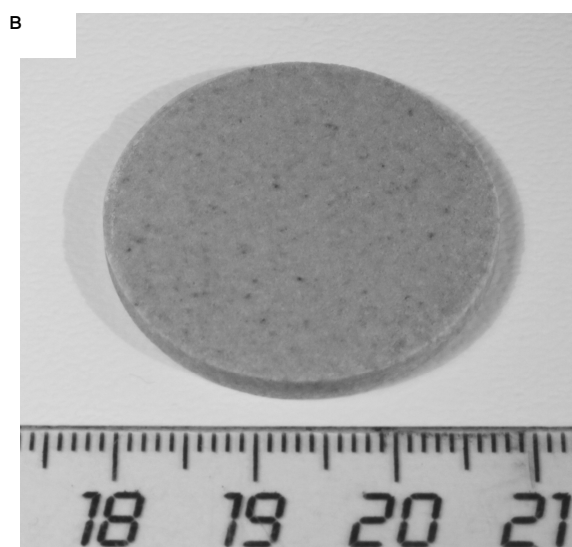
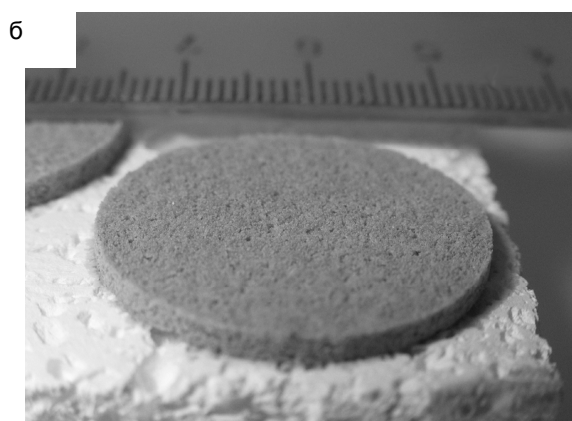


Рис. 8. Фотографии образцов: а – состав С1 (на основе каолинита); б – состав С12 (с использованием бокситов с добавлением карбоната кальция 5 %); в – состав С10 (с использованием бокситов с добавлением карбоната кальция 1 %).

Внутри пор керамика представляет собой спеченные глобулы размерами 200 – 300 нм (рис. 10).

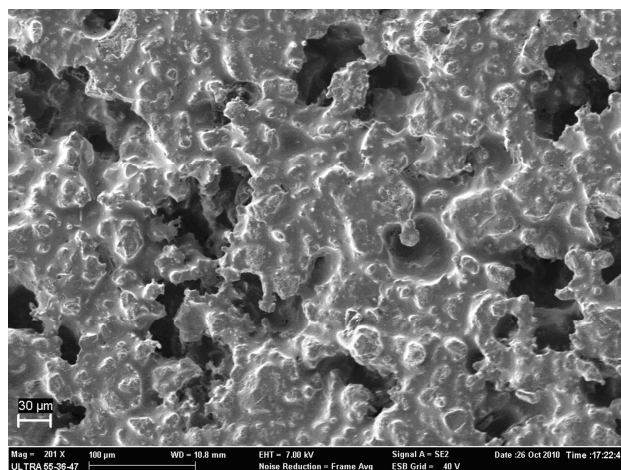
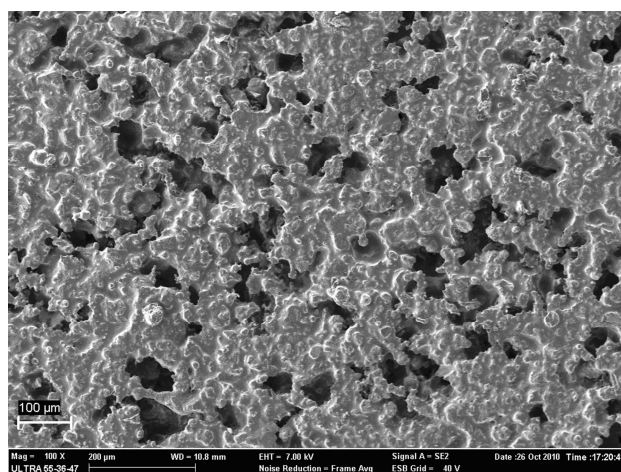


Рис. 9. Микрофотографии поверхности кордиеритовой керамики.

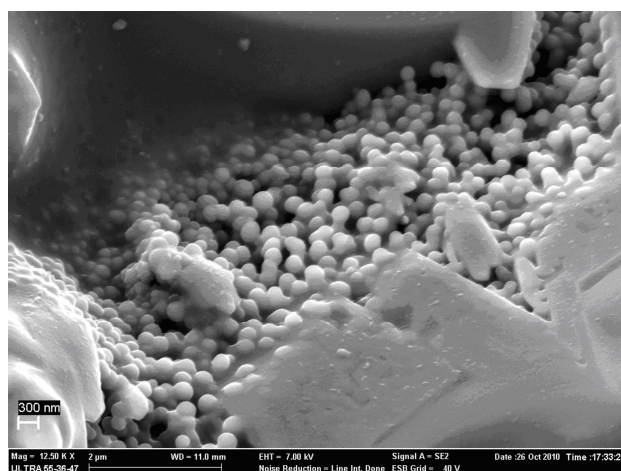


Рис. 10. Микрофотография поверхности кордиеритовой керамики.

В табл. 3 приведены данные по определению открытой пористости, водопоглощения и производительности по дистиллированной воде для серии образцов.

Таблица 3

Экспериментальные данные по определению кажущейся плотности, открытой пористости, водопоглощения, удельной производительности по дистиллированной воде кордиеритовой керамики

Название образца	Кажущаяся плотность	Открытая пористость	Водопоглощение	Удельная производительность по дистиллированной воде
	$\bar{\rho}_{(b)}$, г/см ³	$\bar{P}_a$, %	$\bar{W}$, %	$G \cdot 10^{-3}$, дм ³ /м ² ·час·атм
C1	2.0	25	13	63
C2	2.0	26	13	63
C3	2.0	26	13	62
C4	2.0	27	14	64
C5	1.8	31	17	60
C6	1.9	27	14	67
C7	2.0	22	11	120
C8	1.9	30	16	41
C9	1.8	29	16	40
C10	1.8	29	16	40
C11	1.8	28	15	42
C12	1.9	27	14	80

Закключение

Основными критериями при получении керамических микропористых подложек являются их технические характеристики (пористость, прочность, проницаемость, химическая стойкость) и экономические параметры. Использование минеральных ресурсов для получения керамики кордиеритового состава позволяет существенно снизить стоимость фильтрационных и мембранно-разделительных материалов на ее основе. Показана возможность использования каолинитов и бокситов месторождений Республики Коми для получения кордиеритовой пористой керамики. При использовании обоих минералов выход кордиерита в результате синтеза достигает достаточно высоких значений (не менее 90 %). Введение добавок карбоната кальция в количестве от 0.5 до 1.5 % не оказывает существенных влияний на свойства керамики. Добавление карбоната кальция в количестве 5 % приводит к образованию крупных пор, что снижает и прочность материала и ограничивает его использование в качестве основы (подложки) для получения микро- и ультрафильтрационных разделительных мембран. При использовании бокситов без добавки диоксида кремния в шихту выход кордиерита слишком мал, поэтому введение в шихту диоксида кремния целесообразно (содержание в бокситах диоксида кремния менее 10 %). Данная добавка позволяет добиться соотношения основных оксидов, близкого к стехиометрии. Свойства полученной керамики по значениям открытой пористости и производительности позволяют рекомендовать ее к использованию в качестве подло-

жек для получения микро-, ультра- и нанофильтрационных разделительных мембран с селективными слоями из волокон и частиц оксидов металлов, в частности, оксида алюминия.

Авторы выражают благодарность к.г.-м.н. В.Э. Грассу за советы и ценные замечания, высказанные при обсуждении предлагаемого материала, к.т.н. А.А. Сметкину за помощь при исследовании структуры образцов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта УрО РАН для молодых ученых и аспирантов.

Литература

1. Шапошник В.А. Мембранные методы разделения смесей веществ // Соросовский образовательный журнал, 1999. № 9. С. 27-32
2. Комоликов Ю.И., Благинина Л.А. Технология керамических микро- и ультрафильтрационных мембран // Огнеупоры и техническая керамика, 2002. № 5. С. 20-28.
3. Медведкова Н.Г., Назаров В.В. Золь-гель процесс получения селективных слоев керамических ультрафильтрационных мембран на основе диоксида титана // Стекло и керамика, 1996. № 4. С. 20-22.
4. Johar Banjuraizah, Hasmaliza Mohamad and Zainal Arifin Ahmadw Densification and Crystallization of Nonstoichiometric Cordierite Glass with Excess MgO Synthesized from Kaolin and Talc // J. of American Ceramic Society. 2011. No.94. P. 687-694.
5. Ксандопуло Г.И., Лисаченко Г.В., Владул А.Т., Лу А.Ф. Патент SU № 1548177 на полезную модель «Шихта для получения кордиерита». Патентообладатель: Казахский государственный университет им. С.М. Кирова.
6. Зобина Л.Д., Семченко Г.Д., Тарнопольская Р.А. и др. Синтез кордиерита из природных материалов в присутствии Al₂O₃-содержащих компонентов // Огнеупоры, 1987. №2. С. 24-26.
7. Анциферов В.Н., Марченко Г.Д., Порозова С.Е. Патент RU № 5029277 на полезную модель «Состав для изготовления кордиеритовой керамики». Патентообладатель: Республиканский инженерно-технический центр порошковой металлургии, г.Пермь.
8. Эйриш М.В., Пермьяков Е.Н., Шамсеев А.Ф., Гонюх В.М. Патент RU № 2016878 на полезную модель «Способ изготовления кордиеритовой керамики». Патентообладатель: Эйриш М.В., Пермьяков Е.Н., Шамсеев А.Ф., Гонюх В.М.
9. Круглицкий Н.Н., Мороз Б.И. Искусственные силикаты. Киев: Наукова думка, 1986. 240с.
10. МИНКРИСТ // [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://database.iem.ac.ru/min-cryst/rus/search.php>
11. ГОСТ 2409-95. Огнеупоры. Метод определения кажущейся плотности, открытой и общей пористости, водопоглощения. М.: Издательство стандартов, 2002.

Статья поступила в редакцию 21.04.2011.

АНТИОКСИДАНТНАЯ И АНТИМИКРОБНАЯ АКТИВНОСТЬ ПЕКТИНОВ РЯДА РАСТЕНИЙ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ

А.А. ЗЛОБИН*, Е.А. MARTINSON*, Ю.С. ОВОДОВ**

**Вятский государственный университет, г. Киров*

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

ovoys@physiol.komisc.ru; biotech.vgu@gmail.com

Показано, что в состав углеводных цепей пектиновых полисахаридов ряда растений, распространенных на европейском Севере России, в качестве основных компонентов входят остатки галактурановой кислоты, арабинозы и галактозы. Выделенные пектиновые полисахариды обладают выраженной антиоксидантной активностью, которая, кроме того, зависит от наличия компонентов фенольной природы как сопутствующих пектиновым полисахаридам, так и входящих в их состав (остатки феруловой кислоты). Пектиновые полисахариды обладают также выраженной антимикробной активностью.

Ключевые слова: растения европейского Севера России, пектиновые полисахариды, антимикробная активность, антиоксидантная активность

A.A. ZLOBIN, E.A. MARTINSON, YU.S. OVODOV. ANTIOXIDANT AND ANTIMICROBIAL ACTIVITIES OF PECTINS FROM SOME PLANTS OF THE EUROPEAN NORTH OF RUSSIA

The residues of galacturonic acid, arabinose, and galactose were shown to be the main constituents of the pectin sugar chains of plants distributed in the European North of Russia. The pectin polysaccharides isolated were found to possess substantial antioxidant activity which depends additionally on the presence of phenolic concomitants and ferulic acid residue constituents of polysaccharides. In addition, pectin polysaccharides were shown to possess significant bactericidal activity.

Key words: plants of the European North of Russia, pectin polysaccharides, bactericidal activity, antioxidant activity

Широкое применение антибиотиков и химиотерапевтических препаратов в лечении и профилактике инфекционных заболеваний показало, что, наряду с выраженным лечебным эффектом, часто проявляются такие нежелательные явления, как аллергия и интоксикация организма. Кроме того, возникают лекарственно-устойчивые формы бактерий-возбудителей инфекционного процесса. Поэтому поиск естественных и безвредных для организма соединений, обладающих антибактериальной и антитоксической активностью, является достаточно важной задачей. В качестве таких перспективных соединений могут рассматриваться пектиновые полисахариды, которые, кроме влияния на отдельные стадии иммунного ответа [1], обладают бактериостатической и бактерицидной активностью в отношении ряда патогенных и условно-патогенных бактерий, а также сорбционным, стимулирующим моторику кишечника и репаративным действием. Эти свойства пектинов могут быть использованы, например, при лечении кишечных инфекций и дисбактериозов.

Цель данной работы – скрининг антимикробной и антиоксидантной активности пектиновых полисахаридов ряда растений, широко распространенных на территории Севера России.

Экспериментальная часть

Растительный материал. Растительный материал (надземная часть растений) был собран в Кировской области на стадии цветения растений.

Общие аналитические методы. Определение количественного содержания гликуроновых кислот в выделенных фракциях пектинов проводили спектрофотометрическим методом [2], по калибровочному графику, построенному по D-галактопиранозируновой кислоте. Степень метилэтерифицирования (СМ) остатков гликуроновых кислот определяли по методу [3]. Содержание веществ белковой природы – с помощью метода Лоури [4] и калибровочного графика, построенного по бычьему сывороточному альбумину. Общее содержание фенольных соединений во фракциях пектиновых полисахаридов определяли с помощью реактива Фо-

лина-Чиокальтеу [5] по калибровочному графику, построенному для феруловой кислоты.

Спектрофотометрические исследования проводили на спектрофотометре Shimadzu UV-mini 1240 (Япония).

Характеристическую вязкость растворов пектинов в 1%-ном NaCl фиксировали с помощью вискозиметра ВПЖ-1 с диаметром капилляра 0,56 мм [6].

Моносахаридный состав выделенных фракций пектиновых полисахаридов определяли после их гидролиза 2М раствором трифторуксусной кислоты (ТФУ) в течение 3 ч при 100°C в виде соответствующих перацетатов полиолов [7] методом хромато-масс-спектрометрии (ГЖХ-МС). ГЖХ-МС ацетатов полиолов проводили на газовом хроматографе G2589A (Agilent Tech., США) с масс-селективным детектором 5973 INERT (Agilent Tech., США) на капиллярной колонке HP-5MS (0,2 мм Ø 30 м, Hewlett-Packard, США). Перацетаты полиолов анализировали при следующих условиях: температура термостата колонки 175→250°C с градиентом температуры – 3 °C/мин; температура испарителя – 250°C; газ-носитель – гелий (скорость потока 1 мл/мин, деление потока 60:1); развертка – от m/z 44 до m/z 500; количество вводимой пробы – 1 мкл. В качестве внутреннего стандарта использовали мио-инозит. Для расчета содержания моносахаридов использовали соответствующие коэффициенты отклика детектора.

Идентификацию остатков гликуроновых кислот в составе фракций водорастворимых полисахаридов проводили после их гидролиза 2М раствором ТФУ в течение 5 ч при 100°C методом ГЖХ-МС в виде триметилсилильных (ТМС) производных [8]. ГЖХ-МС ТМС-производных проводили при температуре термостата колонки 180→250°C с градиентом температуры – 3°C/мин. Температура испарителя – 260°C. Газ-носитель – гелий (скорость потока 1 мл/мин, деление потока 60:1; развертка – от m/z 44 до m/z 500; Количество вводимой пробы – 1 мкл.

Все водные растворы и пробы для ГЖХ-МС-анализа упаривали на ротационном испарителе под вакуумом при 40-45°C. Центрифугирование растворов проводили в течение 10-15 мин при 6000-9000 об/мин.

Выделение пектиновых полисахаридов. Для выделения пектиновых полисахаридов в нативном состоянии был использован метод истощающей экстракции растительного материала 0,7%-ным водным раствором оксалата аммония при 68°C, после предварительного выделения из него водорастворимых полисахаридов [9]. Для этого воздушно-сухое сырье (100 г) обрабатывали в аппарате Сокслета 96%-ным этиловым спиртом в течение 4 ч для удаления низкомолекулярных примесей и дезактивации ферментов. Затем растительный материал многократно экстрагировали водой (2 л, 68°C) до отрицательной качественной реакции на углеводы в экстрактах по фенол-сернокислотному методу [10]. Остаток сырья обрабатывали подкисленной, с помощью разбавленного раствора HCl, водой (0,5 л, 50°C, pH 4,0) для гидролиза протопектинового комплекса клеточных стенок и экстрагировали его 0,7 %-ным водным раствором оксалата аммония (2 л, 68°C) до отсутствия содержания углеводов в экс-

трактах [10]. Экстракты объединяли, концентрировали упариванием, диализовали и осаждали пектины добавлением четырехкратного объема ацетона. Осадок растворяли в минимальном количестве воды и высушивали лиофильно.

Определение антиоксидантной активности. Антиоксидантную активность 0,05- и 0,1%-ных водных растворов пектиновых полисахаридов определяли спектрофотометрическим методом реакцией с 2,2-дифенил-1-пикрилгидразидом в присутствии трис-HCl буфера (pH 7,9), используя тролокс в качестве положительного контроля [11].

Определение антимикробной активности. 0,2 мл суспензии суточной культуры тест-штаммов микроорганизмов в стерильном физиологическом растворе и в 1%-ном водном растворе пектиновых полисахаридов (с одинаковым титром клеток) равномерно распределяли по поверхности плотной питательной среды в чашке Петри. Чашки с культурами помещали в термостат и инкубировали при 30°C в течение 1-2 сут. Количество жизнеспособных клеток определяли по числу выросших на поверхности среды колоний. В качестве питательных сред использовали мясо-пептонный агар и питательную среду на основе панкреатического гидролизата рыбной муки.

Определение содержания фенольных соединений в пектиновых полисахаридах, их антиоксидантной и антимикробной активности проводили в трех параллельных измерениях. При обработке данных вычисляли среднее арифметическое значение и среднее квадратичное отклонение. Достоверность оценивали по *t*-критерию Стьюдента.

Обсуждение результатов

Для скрининга антимикробной активности были использованы фракции пектиновых полисахаридов, выделенные из состава протопектиновых комплексов клеточных стенок следующих растений: стеблей крапивы двудомной *Urtica dioica* L. (URD); кипрея узколистного *Chamaenerium angustifolium* L. (CHM); чистотела большого *Chelidonium majus* L. (CHL); земляники лесной *Fragaria vesca* L. (FRV); татарника колючего, или чертополоха *Onopordum acanthium* L. (ONP); купальницы европейской *Trollius europaeus* L. (TRL); манжетки обыкновенной *Alchemilla vulgaris* L. (ALV). Выбор растений для выделения пектинов был обусловлен их широким распространением в регионе, а также тем, что данные виды растений используются в народной и официальной медицине для профилактики и лечения ряда заболеваний.

Выход и состав полученных фракций пектиновых полисахаридов приведен в табл. 1. Как видно из результатов, содержание пектинов в растениях составляет от 1,0 до 4,6%. Наибольшее количество пектиновых полисахаридов содержится в надземной части крапивы двудомной, кипрея узколистного, манжетки обыкновенной и купальницы европейской.

Известно, что проявляемая пектинами физиологическая активность определяется составом и особенностями строения молекул этих биополимеров, а также их макромолекулярными характери-

Таблица 1

Характеристика фракций пектиновых полисахаридов изученных растений

Пектин	Выход, %	Характеристическая вязкость, дл/г	СМ, %	Содержание, %							
				GalA	Ara	Gal	Rha	Xyl	Man	Glc	Белок
ONP	2,0	0,40	6	72	2,8	0,8	0,6	0,2	Сл	0,2	Сл
FRV	1,9	0,75	24	69	4,2	3,1	1,1	0,4	0,2	0,5	Сл
ALV	2,2	5,00	20	87	2,2	3,5	2,0	0,3	Сл	0,6	Сл
TRL	2,1	1,70	14	79	3,0	3,5	2,1	0,4	Сл	0,9	Сл
CHL	1,0	0,75	14	50	0,9	1,4	0,9	Сл	Сл	0,7	Сл
URD	4,6	0,90	3	77	2,9	2,8	1,2	0,2	Сл	0,7	5
CHM	2,0	3,25	32	74	1,9	1,3	0,6	0,4	Сл	0,2	5

Примечания: выход в пересчете на сухое вещество; Сл – следовые количества.

ками. Методом ГЖХ-МС в составе полученных фракций пектиновых полисахаридов в виде ТМС-производных идентифицированы только остатки галактуроновой кислоты (GalA). Максимальное их количество (87 %) содержится в пектине манжетки обыкновенной, а минимальное (50%) – в пектиновом полисахариде чистотела большого. Как следует из результатов, представленных в табл. 1, СМ остатков галактуроновой кислоты зависит от вида растения, из которого были выделены пектиновые полисахариды. Так, СМ пектиновых полисахаридов надземной части кипрея узколистного составляет 32%, а пектины крапивы и чертополоха содержат практически неэтерифицированные остатки галактуроновой кислоты. Суммарное содержание нейтральных моносахаридов в пектинах также видоспецифично и составляет от 3,9% (CHL) до 9,9% (TRL). Преобладающими нейтральными моносахаридными остатками в полученных пектиновых полисахаридах являются остатки арабинозы (Ara), галактозы (Gal) и рамнозы (Rha). В малых количествах в их состав входят ксилоза (Xyl), манноза (Man) и глюкоза (Glc). Исключение составляют пектиновые полисахариды ONP и CHM, в которых содержится всего 0,6% рамнозы, что может свидетельствовать о меньшей степени разветвленности их углеводных цепей (табл. 1). Следует отметить, что молекулярные массы полученных пектиновых полисахаридов существенно различаются, о чем свидетельствуют значения характеристической вязкости их водных растворов. Наименьшей характеристической вязкостью обладают водные растворы пектиновых полисахаридов чертополоха ONP (0,4), а максимальной – манжетки обыкновенной ALV (5,0). Все фракции пектиновых полисахаридов содержат незначительное количество веществ белковой природы (табл. 1).

В ряде работ по изучению физиологической активности пектиновых веществ отмечена зависимость между величиной антимикробной и антиоксидантной активности (АОА) их водных растворов. В то же время, известно, что в состав фракций пектинов могут входить как в свободном виде, так и в качестве структурных фенольных соединений, которые обладают выраженной АОА. Данные о содержании общих фенолов (в пересчете на феруло-

вую кислоту) во фракциях полученных пектинов и АОА их водных растворов (относительно активности тролокса) приведены в табл. 2. Наибольшим содержанием общих фенолов характеризуются пектиновые полисахариды купальницы, чистотела, чертополоха, крапивы и кипрея. При этом величины АОА их водных растворов также максимальны. Исключение составляют только пектиновые полисахариды земляники – при низком содержании соединений фенольной природы их водные растворы обладают достаточно высокой АОА (табл. 2).

Таблица 2

Содержание общих фенолов в пектиновых полисахаридах и АОА их водных растворов

Пектин	Содержание общих фенолов, мг/г*	АОА, %*	
		0,05%-ный раствор	0,1%-ный раствор
ONP	11,6±0,6	8,0±0,2	15,3±1,2
FRV	4,3±0,1	21,4±1,7	48,9±0,8
ALV	3,9±0,1	19,3±2,0	23,2±1,4
TRL	8,5±0,1	29,2±1,3	53,4±0,3
CHL	9,9±0,4	31,0±1,4	64,3±4,6
URD	21,8±1,1	37,6±1,4	70,9±1,2
CHM	21,1±0,8	86,1±0,2	83,1±1,1

Примечание: * – данные представлены в виде среднего арифметического значения, ± – стандартное отклонение.

При определении антимикробной активности полученных пектиновых полисахаридов было изучено действие их 1%-ных растворов на культуры тест-штаммов грамотрицательных (*Pseudomonas aeruginosa* 27853 (F 51) ATCC *Escherichia coli* M15) и грамположительных (*Staphylococcus aureus* 6538-р ATCC) бактерий при титре клеток 10^7 кл/мл (табл. 3).

Как следует из результатов, приведенных в табл. 3, наиболее чувствительны к пектиновым полисахаридам данных растений клетки *E. coli* и *S. aureus*. Так, пектины земляники лесной, манжетки обыкновенной, крапивы двудомной и кипрея узколистного подавляют рост клеток *E. coli* примерно на 30, 33, 54 и 32% соответственно. Ингибирующее действие на рост клеток *S. aureus* проявляют пектины ONP, ALV, CHL и CHM. При этом наиболее ярко выраженным эффектом обладают пектиновые полисахариды манжетки ALV и кипрея CHM (снижение роста золотистого стафилококка на 83 и 88% соответственно).

Более устойчивым к действию пектиновых полисахаридов оказался штамм *P. aeruginosa*. По отношению к нему выраженное антимикробное действие проявляют только пектиновые полисахариды

Таблица 3

Действие 1%-ных водных растворов пектиновых полисахаридов на клетки микроорганизмов

Пектин	Данные*	Титр жизнеспособных клеток, кл/мл·10 ⁷		
		<i>E. coli</i>	<i>P. aeruginosa</i>	<i>S. aureus</i>
ONP	Контроль	1,95±0,16	1,99±0,16	4,67±0,25
	Опыт	2,33±0,18	1,60±0,15	2,65±0,19
FRV	Контроль	2,25±0,18	1,83±0,16	0,51±0,08
	Опыт	1,57±0,12	1,60±0,15	0,35±0,07
ALV	Контроль	2,49±0,18	1,66±0,15	1,33±0,42
	Опыт	1,68±0,15	1,88±0,16	0,23±0,17
TRL	Контроль	3,59±0,22	1,74±0,15	3,40±0,67
	Опыт	4,63±0,25	1,75±0,15	3,06±0,64
CHL	Контроль	2,37±0,18	2,11±0,17	1,11±0,12
	Опыт	2,15±0,17	1,58±0,15	0,68±0,09
URD	Контроль	2,68±0,19	2,39±0,18	1,69±0,18
	Опыт	1,23±0,13	2,62±0,19	1,83±0,16
CHM	Контроль	8,34±0,33	1,51±0,14	1,33±0,02
	Опыт	5,65±0,27	1,93±0,16	0,16±0,01

Примечание: * – данные представлены в виде среднего арифметического значения, ± – стандартное отклонение

риды чистотела CHL – снижение числа колоний бактерий на 25%. Напротив, пектиновые полисахариды крапивы URD и кипрея CHM оказывают протективное действие – приводят к увеличению числа колоний клеток данного вида микроорганизмов. Сопоставляя данные таблиц 2 и 3 можно отметить, что нет однозначного влияния АОА водных растворов пектиновых полисахаридов на их антимикробную активность. Так, например, CHM и ALV, обладая максимальным и относительно низким значением АОА, в одинаковой степени ингибируют рост клеток *S. aureus*, а пектиновые полисахариды купальницы TRL не активны в отношении *P. aeruginosa* и *S. aureus*, однако вызывают увеличение числа жизнеспособных клеток *E. coli* примерно на 29%, хотя их водные растворы отличаются достаточно высокими значениями АОА (таблицы 2 и 3).

Можно предположить, что антимикробный эффект, проявляемый фракциями пектинов, зависит не только от их общего значения АОА, но и от природы веществ, которые их обуславливают.

Следует также отметить, что выраженной зависимости воздействия на бактериальные клетки пектиновых полисахаридов от количества остатков галактуроновой кислоты, степени их метилэтерифицирования, а также содержания в пектинах нейтральных моносахаридов не прослеживается. В то же время при действии пектинов на клетки *S. aureus* максимальный ингибирующий эффект наблюдается при использовании ALV и CHM, для водных растворов которых характерны высокие значения характеристической вязкости. Однако их воздействие на клетки грамотрицательных бактерий выражено в значительно меньшей степени (таблицы 2 и 3).

Таким образом, можно предположить, что реакции полисахаридов с клетками бактерий опре-

деляются особенностями строения углеводных цепей пектиновых полисахаридов, а проявляемая ими антимикробная активность, в сочетании с достаточно известными свойствами (сорбирующими, репарирующими) пектинов, позволяет рассматривать эти соединения в качестве перспективных средств для профилактики и лечения ряда кишечных заболеваний.

Выводы

1. Показано, что в состав углеводных цепей пектиновых полисахаридов, выделенных из надземных частей крапивы двудомной, кипрея узколистного, чистотела большого, земляники лесной, чертополоха, купальницы европейской и манжетки обыкновенной, входят остатки галактуроновой кислоты и нейтральных моносахаридов: арабинозы, галактозы, глюкозы, рамнозы, ксилозы и маннозы.

2. Выявлено, что водные растворы выделенных пектиновых полисахаридов обладают выраженной антиоксидантной активностью, которая зависит и от содержания в них соединений фенольной природы.

3. Показано, что пектиновые полисахариды обладают выраженной антимикробной активностью в отношении тест-штаммов микроорганизмов. Наиболее чувствительными к действию пектинов являются клетки *E. coli* и *S. aureus*. Не выявлено выраженной зависимости воздействия пектинов на бактериальные клетки от их состава и величины антиоксидантной активности их водных растворов.

Авторы выражают искреннюю признательность Н.А.Чебыкиной, Ю.Е.Михалицыной, К.Н.Синцову за оказанную помощь в работе.

Литература

1. Оводов Ю.С. Полисахариды цветковых растений: структура и физиологическая активность // Биоорганич. хим., 1998. Т. 24. №7. С. 483-501.
2. Usov A.I., Bilan M.I., Klochkova N.G. Polysaccharides of algae. 48. Polysaccharide composition of several calcareous red algae: isolation of alginate from *Corallina pilulitara* // Bot. Marina, 1995. Vol. 38. No. 3. P. 43-51.
3. Wood P.J., Siddiqui I.R. Determination of methanol and its application to measurement of pectin ester content and pectin methyl esterase activity // Analyt. Biochem., 1971. Vol. 39. P. 418-428.
4. Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.L., Randall R.J. Protein measurement with the Pholin phenol reagent // J.Biol. Chem., 1951. Vol. 193. P. 265-275.

5. *Singleton V.L., Rossi J.A.* Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents // *Am. J. Enol. Vitic.*, 1965. Vol. 16. No. 3. P.144-158.
6. *Донченко Л.В.* Технология пектина и пектинопродуктов. М.: Изд. ДеЛи, 2000. 255 с.
7. *York W.S., Darvill A.G., McNeil M.A. et. al.* Isolation and characterization of plant cell walls and cell-wall components // *Meth. Enzymol.*, 1985. Vol. 118. P. 3-40.
8. *Костенко В.Г.* Хроматографический анализ сахаров, получаемых в процессе переработки растительного сырья. М.: ОНТИТЭИмикробиопром, 1984. 44 с.
9. *Бушинева О.А.* Выделение и строение силена – пектина из смолевки обыкновенной *Silene vulgaris* (Moench) Garke: Автореф. дис. канд. хим. наук. Уфа, 2002. 26 с.
10. *Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K. et. al.* Colorimetric method for determinated sugar and related substances. // *Analyt. Chem.*, 1956. Vol. 28. No. 2. P. 350-356.
11. *Yang S.S., Cheng K.T., Lin Y.S. et. al.* Pectin hydroxamic acid exhibit antioxidant activities *in vitro* // *J. Agric. Food Chem.*, 2004. Vol. 52. P. 4270-4273.

Статья поступила 04. 04. 2011.

УДК 612.172

ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЧЕСКОЕ ОТОБРАЖЕНИЕ ДИСПЕРСИИ РЕПОЛЯРИЗАЦИИ МИОКАРДА : ИНТЕРВАЛ $T_{peak}-T_{end}$ ПРИ ОСТРОЙ КОРОНАРНОЙ ОККЛЮЗИИ И РЕПЕРФУЗИИ

О.Г. БЕРНИКОВА,**** К.А.СЕДОВА,***** Я.Э. АЗАРОВ,***** А.О. ОВЕЧКИН,*** Д.Н ШМАКОВ*

**Лаборатория физиологии сердца, Институт физиологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар*

***Кафедра внутренних болезней №1, Коми филиал Кировской государственной медицинской академии, г. Сыктывкар*

****Кафедра нормальной физиологии, Коми филиал Кировской государственной медицинской академии, г. Сыктывкар*

bernikovaog@gmail.com

При исследовании электрокардиографических показателей реполяризации и их связи с риском развития жизнеугрожающих аритмий выявлено, что в период коронарной окклюзии и начала реперфузии: 1) происходит рост глобальной, апикобазальной, пограничной дисперсии длительности реполяризации; трансмуральная дисперсия длительности и времени окончания реполяризации в зоне ишемии не меняется; 2) дисперсия времени окончания реполяризации является лучшим предиктором фатальных желудочковых аритмий, чем дисперсия длительности реполяризации; 3) наибольший вклад в изменение интервала $T_{peak}-T_{end}$ вносит глобальная дисперсия реполяризации по сравнению с локальными дисперсиями реполяризации – пограничной и трансмуральной.

Ключевые слова: дисперсия реполяризации, ишемия, реперфузия, фибрилляция желудочков, интервал $T_{peak}-T_{end}$, аритмогенез

O.G.BERNIKOVA, K.A.SEDOVA, YA.E.AZAROV, A.O. OVECHKIN, D.N.SHMAKOV. ELECTROCARDIOGRAPHIC MANIFESTATION OF THE MYOCARDIAL DISPERSION OF REPOLARIZATION: INTERVAL $T_{peak}-T_{end}$ UNDER EXPERIMENTAL CORONARY OCCLUSION AND REPERFUSION

The heterogeneity of ventricular repolarization is essential for the T wave development on the ECG and for the genesis of fatal ventricular arrhythmias. Current study showed that the global, apicobasal, borderline dispersion increased significantly while transmural dispersion of repolarization duration and end of repolarization time in the ischemic zone did not demonstrate any differences under experimental coronary occlusion and reperfusion; dispersion of end of repolarization time is the better predictor of arrhythmogenesis than dispersion of repolarization duration; the global dispersion of repolarization had the greatest influence on the $T_{peak}-T_{end}$ interval changes compared to local transmural and borderline dispersions of repolarization.

Key words: Dispersion of repolarization, ischemia, reperfusion, ventricular fibrillation, interval $T_{peak}-T_{end}$, arrhythmogenesis

Дисперсия реполяризации является существенным фактором аритмогенеза в миокарде [1]. Важное клиническое значение имеет неинвазивное определение дисперсии реполяризации на основе электрокардиографических критериев. В качестве таких критериев используются показатели конечного желудочкового комплекса ЭКГ, в частности, интервалы $T_{peak}-T_{end}$, дисперсия интервала QT и их производные. Установлено, что электрокардиографическая T волна формируется за счет одного или нескольких желудочковых градиентов реполяризации, однако, какой из этих градиентов вносит наибольший вклад в распределение потенциалов на поверхности тела, не выяснено. Спорным остается

вопрос о том, трансмуральная [2,3] или апикобазальная и глобальная [4,5] дисперсии реполяризации желудочков оказывают влияние на формирование T волны и определяют величину интервала $T_{peak}-T_{end}$. Связь увеличенной дисперсии интервала QT с риском развития аритмий подтверждена одними авторами [6], но опровергается другими [7]. Для решения вопроса об оптимальном неинвазивном показателе дисперсии реполяризации необходима одновременная регистрация электрических потенциалов в максимально большом объеме миокарда в сочетании с ЭКГ на поверхности тела.

Цель работы: изучить динамику дисперсии реполяризации и ее отображение в длительности

интервала $T_{peak}-T_{end}$ на ЭКГ в условиях острой коронарной окклюзии и реперфузии *in vivo*.

Методы: Эксперименты проведены на 18 беспородных кошках обоего пола в условиях открытой грудной клетки при спонтанном синусовом ритме. При обращении с животными соблюдали международные правила (*Guide for the Care and Use of Laboratory Animals* - публикация US National Institutes of Health: NIH Publication № 85-23, ред. 1996). Работа одобрена локальным этическим комитетом Института физиологии Коми НЦ УрО РАН. Для анестезии использовали золетил (15 мг/кг) и ксилазин (1мг/кг) внутримышечно. При помощи 12 гибких интрамуральных электродов (Гошка, 2009), которые были установлены в основание, середину и верхушку левого желудочка, в основание и верхушку правого желудочка, были зарегистрированы 88 униполярных отведений. В каждом отведении определяли время деполяризации (время активации, activation time, AT) по минимуму первой производной потенциала по времени dV/dt_{min} в период QRS, время окончания реполяризации (repolarization time, RT) по показателю dV/dt_{max} в период комплекса ST-T [8]. Интервал активация-восстановление (локальная длительность реполяризации, activation-recovery interval, ARI) находили как разницу между RT и AT [9]. Интервал $T_{peak}-T_{end}$ определяли во II стандартном отведении от конечностей как промежуток между вершиной зубца T (T_{peak}) и точкой окончания зубца T (T_{end}).

Для создания модели острой локальной ишемии миокарда проводили обратимое лигирование передней нисходящей межжелудочковой ветви левой коронарной артерии (ПМЖВ ЛКА) на границе ее нижней и средней трети. Длительность окклюзии и реперфузии составляла по 30 мин каждая. Эффективность создания острой ишемии миокарда оценивали по подъему сегмента ST на электрограммах. Схема эксперимента включала регистрацию электрограмм исходно, на 1-й и 30-й мин окклюзии, 1-й и 30-й мин реперфузии.

Зону ишемии находили по двум критериям: 1) по подъему сегмента ST на регистрируемых электрограммах в период коронарной окклюзии; 2) по посмертному окрашиванию миокарда раствором 0,5%-ного синего Эванса, который вводили через катетер, установленный в аорте, после повторного лигирования ПМЖВ ЛКА в месте первичной окклюзии. Прокрашенные зоны соответствовали областям с ненарушенной перфузией тканей, неокрашенные – неперфузируемым областям. В отведениях, расположенных в неперфузируемом участке, в период острой окклюзии были зарегистрированы электрограммы с подъемом ST. Пограничная зона определялась как область с сохраненной перфузией, окружающая зону ишемии, но с изменениями на электрограммах. Отдаленные отведения, расположенные в перфузируемых областях, без электрофизиологических изменений относились к неишемизированной области.

Для описания процесса реполяризации были найдены дисперсии ARI (длительности реполяризации) и дисперсии RT (времени окончания реполяризации). Дисперсию длительности реполяризации вычисляли как разность между максимальными

и минимальными значениями ARI; по разнице между временем самого позднего и самого раннего окончания реполяризации находили дисперсию RT. Таким образом была определена глобальная, апикобазальная, трансмуральная, пограничная дисперсия реполяризации (ARI и RT).

Статистика. Изучаемые признаки не имели нормального распределения в группах, поэтому в работе представлены в виде медианы и интерквартильного интервала [Me(25%;75%)]. При сравнении разных групп использовались непараметрический критерий Манна-Уитни, а при сравнении повторных или связанных измерений в одной группе критерий Фридмана с последующим расчетом критерия Ньюмена-Кейлса, для попарных сравнений или критерия Даннета для сравнения результатов повторных измерений с исходными показателями. Для многомерного статистического анализа использовался метод множественной регрессии. При вероятности ошибочно отвергнуть нулевую гипотезу менее 5% (0.05) различия считали статистически значимыми. Вычисления производили с помощью программ Primer of Biostatistics 4.01 и SPSS 11.5.

Результаты и обсуждение

В течение первых 5 мин реперфузии у четырех животных из 18-ти развилась фибрилляция желудочков, причем у двух из них впоследствии произошло самопроизвольное восстановление синусового ритма. Для выявления возможных причин развития жизнеугрожающих желудочковых аритмий отдельно были изучены электрофизиологические показатели у животных с развившейся реперфузионной фибрилляцией желудочков и без нее.

Дисперсии локальных длительностей реполяризации (ARI). На исходном этапе эксперимента кошки с фибрилляцией желудочков отличались значимо большей глобальной дисперсией ARI по сравнению с кошками без фибрилляции желудочков [150 (141;161) мс и 99 (82;123) мс, соответственно, $p<0.05$], а также большей апикобазальной дисперсией ARI [136 (125;144) мс и 81 (71;98) мс соответственно, $p<0.05$]. В период коронарной окклюзии и реперфузии не было выявлено различий в глобальной и апикобазальной дисперсии ARI между двумя группами животных. Пограничная дисперсия локальных длительностей реполяризации между зоной ишемии и пограничной областью не различалась между группами животных с фибрилляцией и без фибрилляции желудочков как в исходных условиях, так и в период коронарной окклюзии и во время реперфузии.

Так как не было различий в дисперсии ARI между двумя группами в период ишемии и реперфузии, мы оценили динамику дисперсий ARI для всех животных ($n=18$). Апикобазальный градиент ARI возрастает с 98 (75;123) мс до 120 (111;140) к 1-й мин ишемии, далее до 143 (109;155) мс к 30-й мин ишемии и остается увеличенным на 1-й мин реперфузии – 115 (95;142) мс ($p<0.05$). Глобальная дисперсия ARI также увеличивается со 108 (93;140) до 139 (124;162) мс к 30-й мин ишемии ($p<0.05$). Пограничная дисперсия ARI возрастает с 63(45;88) до 120(108;146) мс на 1-й мин ишемии, далее до

133(120;162) на 30-й мин окклюзии и 127(92;162) на 1-й мин реперфузии ($p<0.05$). Трансмуральный градиент ARI в зоне ишемии наблюдается как у животных с фибрилляцией, так и у животных без фибрилляции желудочков, и не отличается между группами животных ни на одном из этапов эксперимента. В период коронарной окклюзии и реперфузии трансмуральная дисперсия ARI не изменяется ни у кошек с фибрилляцией, ни у кошек без фибрилляции желудочков (рис.1).

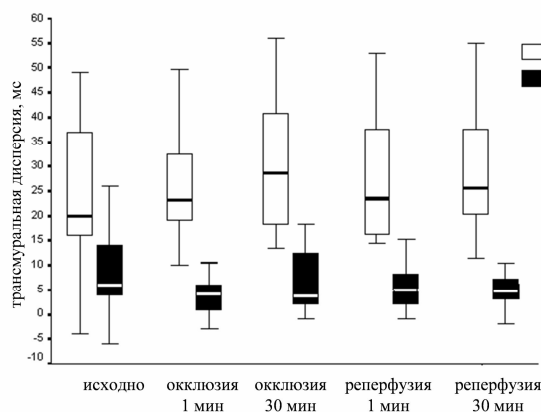


Рис.1. Трансмуральная дисперсия длительности реполяризации [ARI ($Me(25\%;75\%)$,мс)] и времени окончания реполяризации [RT ($Me(25\%;75\%)$,мс)] в зоне ишемии в период коронарной окклюзии и реперфузии у кошек ($n=18$).

Таким образом, группы животных с фибрилляцией и без фибрилляции желудочков отличаются друг от друга по выраженности глобальной, апикобазальной дисперсии длительности реполяризации только в исходном состоянии.

Дисперсии времени окончания реполяризации

(RT). Глобальная дисперсия времени окончания реполяризации значительно больше в группе животных с фибрилляцией желудочков по сравнению с группой без фибрилляции как до воздействия, так и в период коронарной окклюзии ($p<0.05$; рис.2). Кошки с реперфузионной фибрилляцией желудочков обладают большим апикобазальным градиентом RT в исходном состоянии, и эта разница сохраняется во время ишемии ($p<0.05$; рис.3). На исходном этапе группы животных с фибрилляцией желудочков и без фибрилляции не отличаются по выраженности погра-

ничной дисперсии RT , которая возрастает к 30-й мин коронарной окклюзии в обеих группах ($p<0.05$), и в период коронарной окклюзии становится больше у кошек с реперфузионной фибрилляцией желудочков ($p<0.05$; рис.4). Трансмуральный градиент RT не отличается между группами животных ни на одном из этапов эксперимента и не изменяется в период ишемии и реперфузии (рис.1).

Таким образом, животные с фибрилляцией желудочков имеют большую глобальную дисперсию времени окончания реполяризации, более выраженный апикобазальный градиент и пограничную дисперсию RT в период коронарной окклюзии.

Интервал $T_{peak}-T_{end}$ при острой коронарной окклюзии и реперфузии. На исходном этапе эксперимента не выявлено различий электрокардиографического показателя $T_{peak}-T_{end}$ между двумя группами животных (рис.5). Интервал $T_{peak}-T_{end}$ у животных без фибрилляции желудочков остается неизменным в период коронарной окклюзии и реперфузии, в то время как у кошек с фибрилляцией желудочков его длительность увеличивается к 30-й мин коронарной окклюзии ($p<0.05$) и становится больше по сравнению с животными без фибрилляции ($p<0.05$; рис.5).

При проведении многофакторного регрессионного анализа с целью оценки влияния глобальной, апикобазальной, пограничной, трансмуральной дисперсий ARI и RT в изменение интервала $T_{peak}-$

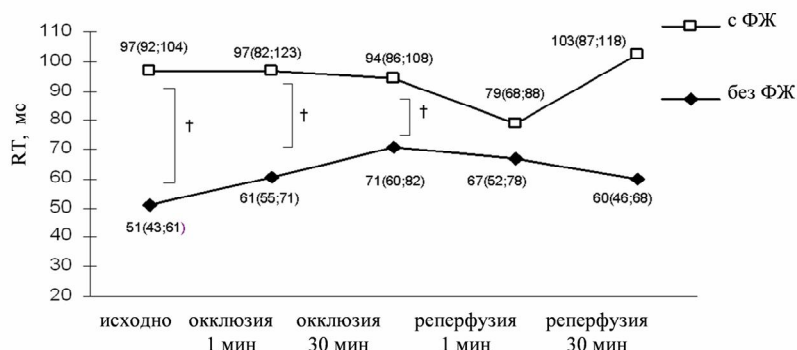


Рис.2. Глобальная дисперсия времени окончания реполяризации [RT ($Me(25\%;75\%)$,мс)] в период коронарной окклюзии и реперфузии у кошек с фибрилляцией ($n=4$) и без фибрилляции желудочков ($n=14$). Примечание: † – $p<0.05$ различия между кошками с фибрилляцией и без фибрилляции желудочков; ФЖ – фибрилляция желудочков.

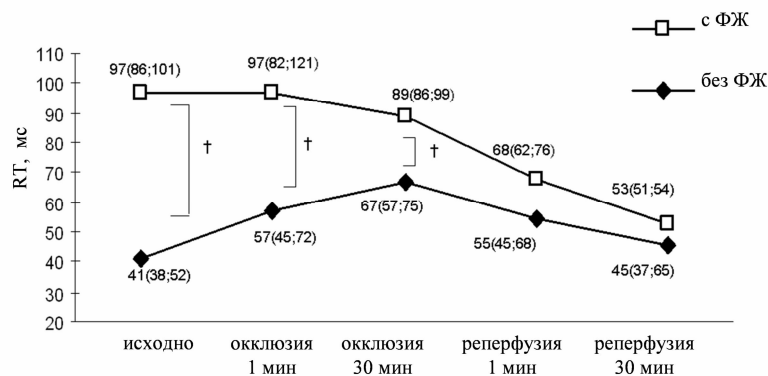


Рис.3. Апикобазальный градиент времени окончания реполяризации [RT ($Me(25\%;75\%)$,мс)] в период коронарной окклюзии и реперфузии у кошек с фибрилляцией ($n=4$) и без фибрилляции желудочков ($n=14$). Примечание: † – $p<0.05$ различия между кошками с фибрилляцией и без фибрилляции желудочков; ФЖ – фибрилляция желудочков.

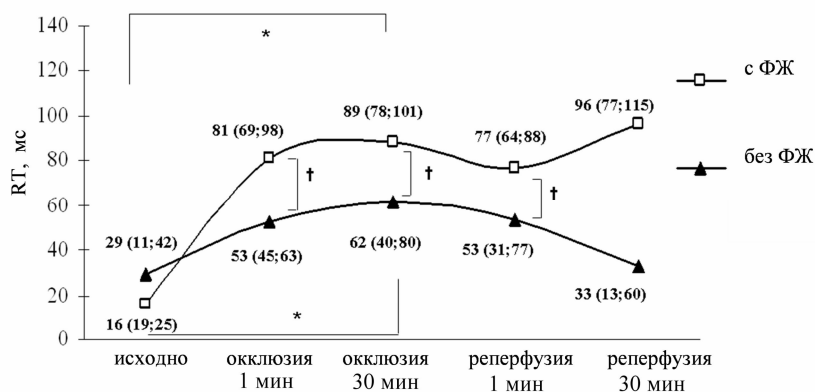


Рис.4. Пограничная дисперсия времени окончания реполяризации [RT ($Me(25\%;75\%)$,мс)] у кошек с фибрилляцией ($n=4$) и без фибрилляции желудочков ($n=14$) во время коронарной окклюзии и реперфузии. Примечание: * - $p<0.05$ по сравнению с пограничной дисперсией RT при исходном состоянии; † - $p<0.05$ различия между кошками с ФЖ и кошками без ФЖ; ФЖ – фибрилляция желудочков.

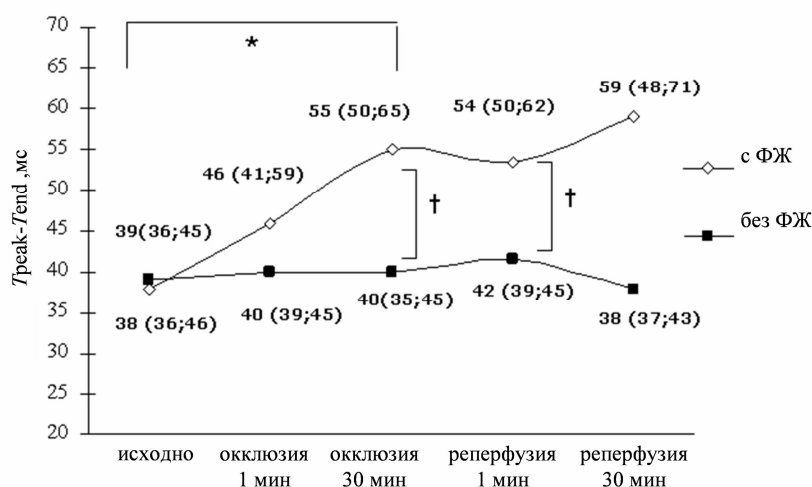


Рис.5. Изменение интервала $T_{peak}-T_{end}$ [$Me(25\%;75\%)$,мс] в период коронарной окклюзии и реперфузии у кошек с фибрилляцией ($n=4$) и без фибрилляции желудочков ($n=14$). Примечание: * - $p<0.05$ по сравнению с длительностью интервала $T_{peak}-T_{end}$ до коронарной окклюзии; † - $p<0.05$ между двумя группами животных; ФЖ – фибрилляция желудочков.

T_{end} на ЭКГ выявлено, что наибольший вклад в динамику интервала $T_{peak}-T_{end}$ в период коронарной окклюзии и реперфузии вносит глобальная дисперсия RT ($p=0.001$). Коэффициент множественной регрессии, являющийся мерой связи совокупности дисперсий реполяризации с зависимой переменной – интервалом $T_{peak}-T_{end}$, в этом случае равен 0,45. Также установлена значимая связь глобальной и апикобазальной дисперсии ARI с величиной интервала $T_{peak}-T_{end}$.

Заключение

Таким образом, в настоящем исследовании были получены следующие основные результаты: 1) в период коронарной окклюзии и начала реперфузии происходит рост глобальной, апикобазальной, пограничной дисперсии длительности реполяризации, трансмуральная дисперсия длительности и времени окончания реполяризации в зоне ишемии не меняется; 2) дисперсия времени окончания

реполяризации является лучшим предиктором фатальных желудочковых аритмий, чем дисперсия длительности реполяризации; 3) наибольший вклад в изменение интервала $T_{peak}-T_{end}$ вносит глобальная дисперсия реполяризации по сравнению с локальными дисперсиями реполяризации – пограничной и трансмуральной.

Миокард желудочков кошки в исходных условиях характеризуется апикобазальной гетерогенностью реполяризации: длительные ARI найдены в области основания сердца, а короткие – в области верхушки [10]. В период локальной ишемии происходит увеличение электрофизиологической гетерогенности миокарда – рост апикобазального градиента и глобальной дисперсии реполяризации за счет укорочения ARI в зоне ишемии на верхушке сердца и сохраненных длительностей ARI в основании [10]. Пограничная дисперсия реполяризации увеличивается во время ишемии и в начале реперфузии за счет укорочения длительности и времени окончания реполяризации в области ишемии [11]. Данные нашей работы свидетельствуют о том, что трансмуральный градиент реполяризации, обнаруженный в исходном состоянии, не увеличивается в период коронарной окклюзии и в начале реперфузии, поскольку во всех слоях миокарда зоны ишемии происходит

одинаковое укорочение длительности и времени окончания реполяризации в ответ на прекращение коронарного кровотока. Этот факт можно объяснить тем, что наши эксперименты проводились в условиях *in vivo*, т.е. в целом сердце при сохраненной системной гемодинамике и нейрогуморальных влияниях, когда действуют механизмы межклеточного сопряжения и электротонического взаимодействия. Известно, что локальный электротонический ток, проходящий через щелевые контакты между клетками, имеет тенденцию уравнивать любые различия в потенциалах действия [12].

В ранее проведенных клинических исследованиях показано, что увеличение интервала $T_{peak}-T_{end}$ связано с высоким риском развития жизнеугрожающих желудочковых аритмий и внезапной сердечной смерти [7], однако механизмы этих электрофизиологических явлений не установлены. В разных экспериментальных условиях продемонстрирована связь формирования T волны ЭКГ или

отдельных ее показателей, таких как интервал $T_{peak}-T_{end}$, с трансмуральной [2,3], апикобазальной [5,13] межжелудочковой [14] или глобальной [4] дисперсией реполяризации. Такие противоречия могут быть разрешены при одновременной записи потенциалов на поверхности тела и в миокардиальных отведениях, позволяющих оценить все перечисленные показатели дисперсии реполяризации. Для того, чтобы выполнить это условие, нами наряду с ЭКГ в отведениях от конечностей были зарегистрированы электрограммы в субэпикардиальных, интрамуральных и субэндокардиальных слоях миокарда как левого, так и правого желудочков, в их базальной, средней и верхушечной части. Данные нашей работы не выявили изменений трансмурального градиента длительности и времени окончания реполяризации в период ишемии и реперфузии, в то время как удлинение интервала $T_{peak}-T_{end}$ у животных с развившейся фибрилляцией желудочков сопровождалось увеличением глобальной, апикобазальной и пограничной дисперсии ARI и RT . Методом множественной регрессии показано, что наибольшее влияние в изменение интервала $T_{peak}-T_{end}$ во время ишемии и реперфузии вносит глобальная и апикобазальная дисперсия реполяризации. Хотя нельзя полностью исключить влияние локальных дисперсий реполяризации на генезис T волны на ЭКГ, но в условиях *in vivo*, т.е. в целом сердце, при сохраненной гемодинамике и нейрогуморальных влияниях, величина глобальной и апикобазальной дисперсии реполяризации больше, чем локальных дисперсий, также как и их вклад в формирование T волны и в длительность интервала $T_{peak}-T_{end}$.

Таким образом, результаты настоящего исследования показали, что возможно использование интервала $T_{peak}-T_{end}$ поверхностной ЭКГ для оценки дисперсии реполяризации, например, у пациентов с ишемической болезнью сердца в период проведения реперфузионной терапии для расчета риска развития реперфузионных аритмий.

Литература

1. Burton F.L., Cobbe S.M. Dispersion of ventricular repolarization and refractory period // *Cardiovasc. Res.* 2001. Vol. 50. P. 10-23.
2. Does *Tpeak-Tend* provide an index of transmural dispersion of repolarization? / C.Antzelevitch, S.Viskin, W.Shimizu, G.-X.Yan, P.Kowey, L.Zhang, S.Sicouri, J.M.Di Diego, A.Burashnikov // *Heart Rhythm*, 2007. Vol. 4. No. 8. P. 1114-1119.
3. Sicouri S., Antzelevitch C. A subpopulation of cells with unique electrophysiological properties of the deep subepicardium of the canine ventricle: the M cells // *Circ. Res.*, 1991. Vol. 68. P. 1729-1741.
4. Dispersion of repolarization in canine ventricle and the electrocardiographic T wave: $Tp-e$ interval does not reflect transmural dispersion / T.Opthof, R.Cornel, F.J.G.Wilms-Schopman, A.N.Plotnikov, I.N.Shlapakova, P.J.Danilo, M.R.Rosen, M.J.Janse // *Heart Rhythm*. 2007. Vol. 4. P. 341-348.
5. *Tpeak-Tend* interval as an index of global dispersion of ventricular repolarization: evaluation using monophasic action potential mapping of the epi- and endocardium in swine / Y.Xia, Y.Liang, O.Kongstad, M.Holm, B. Olsson, S.Yuan // *J. Interv. Cardiac Electrophysiol.* 2005. Vol. 14. P. 79-87.
6. *QT dispersion and early* arrhythmic risk during acute myocardial infarction / S.Paventi, U.Bevilacqua, M.A.Parafati, E. Di Luzio, F.Rossi, P.R.Pelliccioni // *Angiology*, 1999. Vol. 50, No. 3; P.209-215.
7. *T-peak to T-end* interval may be a better predictor of high-risk patients with hypertrophic cardiomyopathy associated with a cardiac troponin I mutation than QT dispersion / M.Shimizu, H.Ino, K.Okeie, M.Yamaguchi, M.Nagata, K.Hayashi, H.Itoh, T.Iwaki, K.Oe, T.Konno, H. Mabuchi // *Clin. Cardiol.* 2002. Vol. 25. P. 335-339.
8. Haws C.W., Lux R.L. Correlation between in vivo transmembrane APDs and activation-recovery intervals from electrograms: effects of fibrillating ventricular myocardium: evidence of interventions that alter repolarization time // *Circulation*, 1990. Vol. 81. P. 281-288.
9. Potse M., Vinet M.A., Opthof T., Coronel R. Validation of a simple model for the morphology of the T wave in unipolar electrograms // *Am. J. Physiol. Heart. Circ. Physiol.*, 2009. Vol. 297. P. 792-801.
10. Bernikova O., Sedova K., Kibler N., Azarov J. Ventricular repolarization durations in fibrillating and nonfibrillating cats under experimental coronary occlusion // *J. Electrocardiol.*, 2011. Vol.44. E. 28.
11. Берникова О.Г., Седова К.А., Азаров Я.Э., Шмаков Д.Н. Репольризация миокарда желудочков при острой коронарной окклюзии и реперфузии у кошек // *ДАН РАН*, 2011. Т. 437. №2. С. 269-272.
12. Coronel R., Opthof T., Taggart P., Tytgat J., Veldkamp M. Differential electrophysiology of repolarization from clone to clinic // *Cardiovasc. Res.* 1997. Vol. 33. P. 503-517.
13. The contribution of ventricular apicobasal and transmural repolarization patterns to the development of the T wave body surface potentials in frogs (*Rana temporaria*) and pike (*Esox lucius*) / M.A.Vaykshnorayte, J.E.Azarov, A.S.Tsvetkova, V.A.Vityazev, A.O.Ovechkin, D.N. Shmakov. // *Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol.*, 2011. Vol. 159. No. 1. P. 39-45.
14. Nishimura M., Watanabe Y., Toda H. The genesis of bifid T waves: experimental demonstration in isolated perfused rabbit hearts // *Int. J. Cardiol.*, 1984. Vol. 6. No. 1. P. 1-14.

Статья поступила в редакцию 01.07.2011.

УДК 612.1/2(470.13) + 613.614

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗДОРОВЬЯ У МУЖЧИН-СЕВЕРЯН

Ю.Г.СОЛОНИН, А.Л.МАРКОВ, Е.Р.БОЙКО

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

Обследовано 62 жителя Республики Коми в возрасте 24-49 лет. У них определяли морфологические, физиометрические и функциональные показатели, характеризующие здоровье. Проанализированы изменчивость показателей, их взаимосвязи. При сравнении со среднеширотными нормативами в функционировании организма мужчин-северян выявлены особенности, состоящие в ухудшении регуляции кровообращения и снижении уровня физического здоровья. Предложены региональные нормативы функциональных показателей.

Ключевые слова: Север, мужчины, здоровье, функциональные показатели, региональные нормативы

YU.G. SOLONIN, A.L. MARKOV, E.R. BOJKO. HEALTH INDICES IN MALE NORTHERNERS

62 citizens of the Komi Republic (male, age 24-49) were examined with assessment of different physiological tests describing their health status. Variability of indices and correlations between them were analyzed in the course of the study. In addition, the results of the study were compared with moderate latitude data. Deterioration in blood circulation regulation and lower level of physical health were determined as physiological features among male Northerners. Regional norms of functional health indices are proposed as a result of conducted research work.

Key words: North, male, health, functional indices, regional norms

Изучению функциональных показателей здоровья у жителей Севера посвящен целый ряд исследований [1–3]. Однако в литературе недостаточное внимание уделялось особенностям состояния организма северян и анализу взаимосвязи показателей и их изменчивости (вариабельности) у жителей Севера.

Цель настоящей работы – изучить функциональные показатели здоровья у мужчин-северян, их изменчивость и взаимосвязи, сравнить их значения со среднеширотными нормативами.

Материал и методы

Обследовано 62 практически здоровых мужчин в возрасте от 24 до 49 лет (в среднем $34,1 \pm 0,76$ лет), с массой тела от 58 до 128 кг (в среднем $85,8 \pm 1,67$ кг), ростом от 164 до 189 см (в среднем $176,1 \pm 0,74$ см). Это были постоянные жители Республики Коми, проживающие в пределах $61-64^\circ$ с.ш., служащие ряда ведомств и участники эксперимента «Марс-500», давшие письменное согласие на проведение обследования. Исследование одобрено локальным комитетом по биоэтике при Институте физиологии Коми НЦ УрО РАН. Обследование проведено в холодный период года (октябрь–ноябрь). В помещении температура воздуха была комфортной.

Рассчитывали «индекс массы тела» (ИМТ) по общеизвестной формуле. У волонтеров измеряли массу жира и долю жира в теле с помощью био-

электрического определителя жировых отложений OMRON BF 302 (Япония). Силу кистей определяли пружинным динамометром и рассчитывали «силовой индекс» (СИ) путем деления силы правой кисти на массу тела. Проводили пробы с задержкой дыхания (Штанге и Генчи). Жизненную емкость легких (ЖЕЛ) определяли сухим спирометром и рассчитывали «жизненный индекс» (ЖИ) – отношение ЖЕЛ к массе тела. Максимальное давление выдоха (МДВ) измеряли с помощью тонометра. Температуру тела (барабанной перепонки) и кожи кисти до и после локального охлаждения (холодовая проба) измеряли инфракрасным электронным термометром модели UT-101 (A&D Company Ltd., Япония).

В исследовании использован аппаратно-программный комплекс «Экосан-2007», созданный Институтом медико-биологических проблем РАН (г. Москва) совместно с фирмой «Медицинские компьютерные системы» (г. Зеленоград). Этот комплекс реализует методологию донозологического контроля за состоянием здоровья человека, разработанную и апробированную в космической медицине [4,5]. Система «Скус» прибора предназначена для измерения времени простой (ПЗМР) и сложной (СЗМР) зрительно-моторных реакций, а также критической частоты различения (КЧРМ) и слияния световых мельканий (КЧСМ). Система «Кардиовизор» прибора дает возможность на основе новой методики дисперсионного картирования электрокардиограммы регистрировать и оценивать показа-

тели «Миокард», «Пульс» и «Ритм». Система «Кардиовар» позволяет анализировать вариабельность сердечного ритма в соответствии с рекомендациями Баевского [4] и американских и европейских кардиологов [6]. В последние годы в физиологической и клинической литературе при оценке здоровья человека все больше внимания уделяется анализу вариабельности сердечного ритма [7-10]. Для анализа были выбраны следующие показатели: частота сердечных сокращений (ЧСС), среднее значение длительности кардиоинтервалов R-R, квадратный корень из суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов (RMSSD), число пар кардиоинтервалов с разницей более 50 мс в процентах к общему числу кардиоинтервалов в массиве (pNN50), стандартное отклонение всего массива динамического ряда R-R интервалов (SDNN), коэффициент вариации кардиоинтервалов, значение коэффициента автокорреляции после первого сдвига динамического ряда кардиоинтервалов (CC1) и число сдвигов при достижении автокорреляции нулевого значения (CC0), «стресс-индекс» или индекс напряжения регуляторных систем, суммарная мощность спектра во всех частотных диапазонах (TP), суммарная мощность спектра высокочастотного компонента (HF), суммарная мощность спектра низкочастотного компонента (LF), суммарная мощность спектра сверхнизкочастотного компонента (VLF), суммарная мощность спектра ультранизкочастотного компонента (ULF), доли спектров HF, LF и VLF в общей мощности спектров (в процентах), «индекс вегетативного баланса» (LF/HF), «индекс централизации» управления ритмом сердца (IC) и «показатель активности регуляторных систем» (ПАРС).

Основные параметры гемодинамики: систолическое (СД), диастолическое давление (ДД) и ЧСС измеряли электронным прибором модели UA-767 (A&D Company Ltd., Япония). Рассчитывали среднединамическое давление (СДД) по Хикему, «двойное произведение» по Робинсону, «вегетативный индекс Кердо» (ВИК), «индекс функциональных изменений» (ИФИ) по Баевскому, «индекс Скибинской» (ИС), «кардиореспираторный индекс Самко» (КРИС), «уровень физического здоровья» (УФЗ) по Апанасенко [11].

У части волонтеров (26 человек) изучали реакции организма на кратковременную физическую нагрузку (проба Мартине-Кушелевского), ортостатическую пробу, на холодовой раздражитель, на велоэргометрическую нагрузку для определения физической работоспособности и расчета максимального потребления кислорода (МПК) по известной номограмме Астранда [12].

Полученные материалы подвергнуты статистической обработке с помощью программ Microsoft Excel и Biostat (версия 4.03) с проверкой вариационных рядов на характер распределения. В связи с тем, что некоторые показатели имеют асимметричное распределение, для представления данных в таблице применяли центильный метод. Проводили корреляционный анализ данных по Спирмену (ранговая корреляция) и анализ коэффициентов вариации показателей.

Результаты и обсуждение

Как следует из данных, представленных в табл. 1, у обследованных мужчин при обычных значениях длины тела некоторые показатели близки или соответствуют таковым для жителей средней полосы страны. Это относится к силе кистей, времени сложной ЗМР, результатам пробы Штанге, ЖЕЛ, МДВ, температуре тела, кардиореспираторным индексам Скибинской и Самко. Отмечается тенденция смещения времени простой ЗМР, СД, ДД, СДД и ЧСС в покое к верхней границе нормы. Вместе с тем, по ряду показателей наблюдаются отклонения от среднеширотных нормативов. В целом у мужчин-северян имеется явная тенденция к увеличению массы тела, доли жира в теле, ИМТ, как реакция на холодовой фактор. Кроме того, у них заметно повышены ДП, ИФИ, что говорит о напряженном состоянии системы кровообращения. В то же время у северян гораздо ниже нормативов силовой индекс, КЧСМ, КЧРМ, ЖИ, ВИК (в группе наблюдений отмечалось преобладание парасимпатикотоников), УФЗ, МПК и, особенно, МПК/кг. Значения КЧСМ и КЧРМ свидетельствуют о снижении лабильности зрительного анализатора и соответствующих мозговых структур, УФЗ и МПК – о снижении физической работоспособности и уровня здоровья.

После выполнения кратковременной физической нагрузки (20 приседаний за 30 с) у волонтеров на 1-й минуте значения СД были увеличены в среднем всего на 10 мм рт.ст., а ЧСС – на 17 уд/мин, что говорит о сниженной реактивности гемодинамики у северян по сравнению с жителями средней полосы. В то же время восстановление показателей происходит в среднем только на 3-й минуте, что опять-таки свидетельствует о несовершенстве механизмов регуляции кровообращения у северян.

При ортостатической пробе статистически значимо возросли ДД (в среднем на 6 мм рт.ст.) и ЧСС (в среднем на 14 уд/мин). Переносимость пробы оказалась по реакции СД «хорошей», по ЧСС – «удовлетворительной», по ДД – «неудовлетворительной» [12]. В группе преобладал «гиперкинетический» тип реагирования на нагрузку. Существенное повышение ДД при ортопробе также свидетельствует об ухудшении регуляции гемодинамики, что является еще одной из особенностей организма северян.

До холодовой пробы температура кожи на кисти обследуемых лиц составила в среднем $29,8 \pm 0,31^\circ\text{C}$. После 30-секундного локального охлаждения кожи тающим льдом температура снизилась до $12,5 \pm 0,40^\circ\text{C}$ и лишь на 9-10-й минутах достигла исходного значения. Это позволяет говорить лишь об «удовлетворительной» адаптации к холоду или «удовлетворительной» реактивности периферической сосудистой системы у мужчин-северян.

Показатели дисперсионного картирования и ВСР представлены в табл.2. Значения ЧСС в группе располагались у верхней границы нормы, в то время как длительность кардиоинтервалов находилась у нижней границы нормы. Если коэффициент вариации, стресс-индекс, близки к норме, то значения RMSSD, pNN50, SDNN ниже нормы, что свидетельствует о смещении вегетативного баланса в сторону преобладания симпатической нервной сис-

Таблица 1

Некоторые морфологические, физиометрические и функциональные показатели у мужчин-северян в сравнении со среднеширотными нормативами

Показатели	Средне-широтные нормативы	Мин. – Макс.	Медиана	25 - 75 перцентили
Возраст, лет	-	24 - 49	34,5	29 - 38
Длина тела, см	-	164 - 189	176	171 - 180
Масса тела, кг	-	58 - 128	83,5	79,2 - 92,0
Индекс массы тела, кг/м ²	20 - 25	20,9 - 37,0	27,6	24,8 - 29,6
Доля жира, %	8,5 - 22,0	9,3 - 32,5	18,9	15,5 - 23,4
Сила правой кисти, кг	-	32 - 74	50,5	46 - 56
Сила левой кисти, кг	-	30 - 64	48,0	42 - 54
Силовой индекс, %	66 и более	45 - 79	60	55 - 66
Время простой ЗМР, мс	До 200	164 - 288	192	180 - 210
Время сложной ЗМР, мс	До 300	173 - 289	237	217 - 244
КЧСМ, Гц	45 - 50	38,8 - 53,9	46,04	44,5 - 47,6
КЧРМ, Гц	39 - 46	34,4 - 52,1	40,37	38,1 - 44,5
Проба Штанге, с	50 и более	36 - 142	64	54 - 81
Проба Генчи, с	30 и более	18 - 101	35	28 - 43
Жизненная емкость легких, мл	-	3000 - 6300	4600	4000 - 4900
Жизненный индекс, мл/кг	56 и более	34 - 86	52	46 - 60
Максимальное давление выдоха, мм рт.ст.	80 - 120	70 - 240	148	111 - 178
Температура барабанной перепонки, °С	35,0 - 36,5	34,1 - 36,3	35,25	34,8 - 35,5
Систолическое АД, мм рт.ст.	100 - 140	109 - 154	130	124 - 137
Диастолическое АД, мм рт.ст.	60 - 90	63 - 102	82	76 - 88
Частота сердечных сокращений, уд/мин	55 - 75	43 - 94	71	64 - 79
Среднединамическое АД, мм рт.ст.	До 100	84 - 119	98	92 - 104
«Двойное произведение», усл.ед.	До 94	58 - 135	92	80 - 97
Вегетативный индекс Кердо, %	(-10) - (+10)	(-50) - (+17)	-15	(-26) - (-5)
Индекс функциональных изменений, баллы	До 2,59	2,07 - 3,24	2,62	2,46 - 2,81
Индекс Скибинской, баллы	31 и более	21 - 119	40,3	31,2 - 56,7
Кардиореспираторный индекс Самко, баллы	0,8 и более	0,68 - 1,64	1,01	0,90 - 1,15
Уровень физического здоровья, баллы	7 и более	(-4) - (+12)	2,0	0 - 6
МПК, л/мин	3,1 и более	2,2 - 4,4	3,3	2,93 - 3,60
МПК, мл/мин.кг	44 и более	33,8 - 53,5	39,9	36,5 - 43,9

Примечание. Прочерки здесь и в следующей таблице означают отсутствие данных.

темы. Вместе с тем, ряд показателей превышал верхнюю границу нормы – это касалось индексов «Миокард», «Ритм», ТР, мощности HF, LF, индекса вегетативного баланса, ИЦ и ПАРС.

Коэффициенты вариации, характеризующие биологическую изменчивость признаков, очень сильно различаются у разных показателей (от 1,5% у температуры тела до 103,9% у УФЗ). Слабое разнообразие признаков (коэффициенты вариации до 10%), кроме температуры тела, присуще показателям длины тела, СД, СДД, СЗМР, ДД. Среднее разнообразие признаков (коэффициенты вариации от 10 до 20%) выявлялось для показателей веса, ИМТ, силы, силового индекса, ПЗМР, КЧСМ, КЧРМ, ЖЕЛ и ЖИ, ЧСС, ДП, ИФИ, КРИС, МПК, длительности кардиоинтервалов, коэффициента автокорреляции после первого сдвига. Остальные показатели, представленные в таблицах (таких большинство: результаты дыхательных проб, различные индексы, показатели дисперсионного картирования и

вариабельности сердечного ритма), демонстрируют значительное разнообразие признаков (коэффициенты вариации более 20%).

Корреляционный анализ выявил статистически значимые связи между целым рядом изучаемых показателей. Ниже приводятся только некоторые коэффициенты корреляции со значением выше 0,211 ($P < 0,05$) или выше 0,295 ($P < 0,01$). С атмосферным давлением выявляют связь (возможно в определенной мере зависят от него): систолическое давление (-0,324), ИФИ (-0,29), ПАРС (-0,285), ИЦ (-0,393). С температурой наружного воздуха коррелирует только показатель ИЦ (0,382). С возрастом человека в значительной степени связаны: процент жира в теле (0,392), ИМТ (0,290), ЖИ (-0,422), ИФИ (0,430). С массой тела коррелируют: сила рук (0,543), ЖИ (-0,641), процент жира (0,786), СД (0,370), ДД (0,280), показатель «Ритм» (0,323), ИФИ (0,524). Ряд показателей связан с ИМТ (по-видимому, в немалой мере зависят от степени упи-

Некоторые показатели дисперсионного картирования и вариабельности сердечного ритма у мужчин-северян в сравнении со среднеширотными нормативами

Показатели	Средне-широтные нормативы	Мин. – Макс.	Медиана	25 - 75 перцентили
Индекс «Миокард», %	До 15	3 - 26	15	14,0 – 15,8
«Пульс», уд/мин	55 - 75	41 - 103	72	63 - 79
«Ритм», %	0 - 20	1 - 64	12	5 - 27
ЧСС, уд/мин	55 - 75	42 - 97	72	67 - 81
Длительность кардиоинтервалов, мс	800-1090	620-1430	830	738 – 895
RMSSD, мс	20 - 50	6 - 68	27	21,5 – 35,0
pNN50, %	10 - 30	0 - 45	6,9	4,3 – 14,2
Стандартное отклонение SDNN, мс	40 - 80	12 - 102	41,7	33,2 – 55,7
Коэффициент вариации кардиоинтервалов, %	3 - 12	1,9 – 10,0	5,1	4,4 – 6,4
CC1	-	0,14-0,91	0,73	0,67 – 0,80
CC0	-	1,16-15,67	4,47	3,32 – 7,31
Стресс-индекс, усл.ед.	80 - 150	16 - 246	93	62 - 152
Суммарная мощность спектра TP, мс ²	800-1500	325 - 3133	1360	838 - 1871
Суммарная мощность HF, мс ²	-	18 - 1545	257	180 - 418
Суммарная мощность LF, мс ²	-	48 - 1615	463	314 - 654
Суммарная мощность VLF, мс ²	-	17 - 733	211	150 - 365
Суммарная мощность ULF, мс ²	-	12 - 1392	172	99 - 383
Мощность HF, %	15 - 25	3,3-73,5	26,5	15,5 – 36,4
Мощность LF, %	15 - 40	19,0-89,4	45,7	36,3 – 59,5
Мощность VLF, %	15 - 30	2,4-51,2	22,9	15,4 – 30,4
Индекс вегетативного баланса LF/HF, усл.ед.	-	0,26-5,02	1,69	0,94 – 3,67
Индекс централизации, усл.ед.	1,3-2,5	0,36-6,68	2,58	1,47 – 4,77
ПАРС, баллы	1 - 3	1 - 7	4,0	2 - 5

танности): сила рук (0,410), время задержки дыхания на вдохе (-0,274), ЖИ (-0,798), СД (0,355), ДД (0,391), ИФИ (0,636), показатель «Ритм» (0,390). Значение ДД коррелирует с СД (0,533) и ЧСС (0,321), время задержки дыхания на вдохе с ЖИ (0,314). С процентом жира связаны: время задержки дыхания на вдохе (-0,357), ИС (-0,361), СИ (-0,545) и ЖИ (-0,793).

Некоторые расчетные (интегральные) показатели также связаны между собой. Значение ИФИ коррелирует с ПАРС (0,291) и со стресс-индексом (0,419), т.е. степень адаптированности организма связана с активностью регуляторных систем и их напряжением. Значение ИЦ связано с ПАРС (0,463) и с МПК (-0,500). Значение ПАРС в свою очередь коррелирует с МПК (-0,408), т.е. с уменьшением физической работоспособности возрастает активность регуляторных систем. Значение ИС коррелирует с КРИС (0,686), т.е. два разных показателя состояния кардиореспираторной системы тесно связаны друг с другом. Такие показатели, как индекс «Миокард» и УФЗ, не коррелируют с другими показателями. Следовательно, можно предполагать, что эти индексы имеют самостоятельное значение в донозологической диагностике при оценке состояния миокарда и степени физического здоровья, и не могут быть заменены другими показателями.

Вопрос о том, что считать физиологической «нормой здоровья» для жителей разных географических местностей, до сих пор является дискуссии-

онным. Обычно принято считать «нормой» то, что типично для жителей средних широт нашей страны. В то же время существует и понятие о «региональных нормах» и на практике широко применяются такие нормативы (например, стандарты физического развития детей и подростков для различных регионов). Исходя из этого, мы предлагаем в качестве ориентировочных нормативов для мужчин-северян взять значения показателей, представленных в таблицах 1 и 2, в центильном интервале от 25-го до 75-го перцентили.

Заключение

По целому ряду морфологических, физиометрических и функциональных показателей мужчины-северяне отличаются от жителей средних широт нашей страны. В связи с проживанием в более суровых природно-климатических условиях у них менее совершенна регуляция кровообращения в покое и при функциональных пробах и снижено физическое здоровье.

Литература

1. Бойко Е.Р. Физиолого-биохимические основы жизнедеятельности человека на Севере. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 190 с.
2. Сезонная динамика физиологических функций у человека на Севере / Под ред. Е.Р.Бойко. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 223 с.
3. Солонин Ю.Г. Широтные особенности физиологических функций у жителей Севера //

- Физиология человека, 1994. Т. 20. № 6. С. 137-143.
4. *Баевский Р.М., Берсенева А.П.* Введение в донозологическую диагностику. М.: Фирма «Слово», 2008. 220 с.
 5. *Григорьев А.И., Баевский Р.М.* Концепция здоровья и космическая медицина. М.: Фирма «Слово», 2007. 208 с.
 6. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use // *Circulation*, 1996. Vol. 93. No. 5. P. 1043-1065.
 7. *Захарова Н.Ю., Михайлов В.П.* Физиологические особенности вариабельности сердечного ритма в разных возрастных группах // *Вестник аритмологии*, 2003. № 31. С. 37-40.
 8. *Kristal-Bohen E., Froom P., Harari G., Ribak J.* Summer-winter differences in 24 h variability of heart rate // *J. Cardiovasc. Risk*. 2000. Vol. 7. No. 2. P. 141-146.
 9. *Umetani K., Singer D.H., McCraty R., Atkinson M.* Twenty-four hour time domain heart rate variability and heart rate: relations to age and gender over nine decades // *J. Am. Coll. Cardiol*, 1998. Vol. 31. No. 3. P. 593-601.
 10. *Zhang J.* Effect of age and sex on heart rate variability in healthy subjects // *J. Manipulative Physiol. Ther*, 2007. Vol. 30. No. 5. P. 374-379.
 11. *Ананасенко Г.Л.* Диагностика индивидуального здоровья // *Гигиена и санитария*, 2004. № 2. С. 55-58.
 12. *Загрядский В.П., Сулимо-Самуйлло З.К.* Методы исследования в физиологии труда. Л.: Наука, 1976. 93 с.

Статья поступила в редакцию 30.03.2011.

УДК 581.192.1:635.25/26

СЕЛЕНОДЕФИЦИТ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО СОКРАЩЕНИЯ. АККУМУЛИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА ALLIUM L. ПО ОТНОШЕНИЮ К СЕЛЕНУ

Т.И. ШИРШОВА*, Н.А. ГОЛУБКИНА**, И.В. БЕШЛЕЙ*, Н.В. МАТИСТОВ*

*Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

**НИИ питания РАМН, г. Москва

shirshova@ib.komisc.ru

Проведено исследование содержания селена в образцах растений рода *Allium* (*A. angulosum* L., *A. schoenoprasum* L., *A. strictum* Schrad.), произрастающих на территории Республики Коми. По величине коэффициента биологического накопления все три вида можно считать аккумуляторами селена. В образцах *A. angulosum* максимальное количество селена обнаружено в листьях, в *A. schoenoprasum* – в луковичках, а в *A. strictum* – как в листьях, так и в луковичках.

Ключевые слова: *Allium angulosum*, *A. schoenoprasum*, *A. strictum*, селен, селенодефицит

T.I.SHIRSHOVA, N.A.GOLUBKINA, I.V.BESHLEI, N.V.MATISTOV. SELENIUM-DEFICIENCY AND POSSIBILITIES OF ITS REDUCTION. ACCUMULATING PROPERTIES OF SOME REPRESENTATIVES OF THE GENUS ALLIUM L. IN RELATION TO SELENIUM

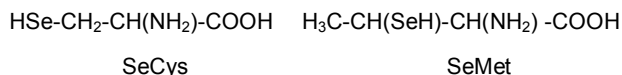
Selenium accumulation in *A. angulosum* L., *A. schoenoprasum* L., *A. strictum* Schrad. grown in the Komi Republic was investigated. Coefficients of biological accumulation testify that all species studied belong to selenium accumulators. The highest selenium concentration was found in leaves of *A. angulosum*, in bulbs of *A. schoenoprasum*, in leaves and bulbs of *A. strictum*.

Key words: *Allium angulosum*, *A. schoenoprasum*, *A. strictum*, selenium-deficiency

Как известно, основными причинами высокой смертности в России и во всем мире являются онкологические заболевания, заболевания сердечно-сосудистой, эндокринной и иммунной системы. Исследования последних лет показали, что одной из причин серьезных нарушений в работе этих систем может быть недостаточность селена (Se).

Научные исследования биологической роли Se в живых организмах были начаты в 30–40-х гг. прошлого века в США, когда в некоторых штатах у животных, употребляющих в пищу так называемые растения-аккумуляторы Se, были обнаружены случаи токсикозов. Вплоть до 50-х гг. прошлого столетия эффект биологического действия Se рассматривался лишь с позиций его токсичности. Однако дальнейшими исследованиями было доказано, что Se является эссенциальным нутриентом, входящим в состав различных ферментов антиоксидантного действия – глутатионпероксидаз и других селенозависимых ферментов. С тех пор исследования в области Se получили новый толчок, и сегодня известно, что Se является неотъемлемой частью по крайней мере 25 селенопротеинов, участвующих в регуляции основных метаболических путей в организме человека и животных [1].

Важнейшими природными формами Se являются селеноцистеин и селенометионин:



Селеноцистеин (SeCys) – нестандартная «двадцать первая» аминокислота, входящая в состав активного центра фермента глутатионпероксидазы и отличающаяся от обычного цистеина тем, что вместо атома серы в ее состав входит атом Se. SeCys синтезируется в организме человека и животных, однако основной формой присутствия Se в живых организмах является селенометионин (SeMet), который образуется в растениях. При употреблении в пищу растительных селенопротеинов SeMet всасывается и ассимилируется организмом. Комбинированное действие витамина E и SeMet усиливает антиоксидантные свойства последнего, обеспечивает более мощную защиту иммунной системы [2]. В настоящее время установлено, что Se предотвращает возникновение и развитие кардиологических и онкологических заболеваний, способствует выведению тяжелых металлов из организма, нормализует репродуктивную функцию и повышает иммунитет [1, 3–6].

Глубокий дефицит Se в пищевой цепи обуславливает развитие специфических эндемических заболеваний – кардиомиопатии (болезнь Кешана) и остеопатии (болезнь Кашина-Бека), которые

встречаются в тех регионах, где потребление Se в суточном рационе ниже нормы в 2-2,5 раза или ежедневное потребление элемента менее 7 мкг [7].

Среднесуточное потребление Se человеком в разных странах сильно различается и находится в интервале от 10 мкг/день в селенодефицитных регионах до 5000 мкг/день в регионах селенозов (табл. 1). Без учета эндемических регионов мира

Таблица 1

Уровни потребления селена населением некоторых стран мира

Страна	Уровень потребления, мкг/день
Китай*	7-11
Китай**	60-120
Китай***	750-4990
Финляндия	30-100
Новая Зеландия	30-80
Франция	51,0
США	60-220
Канада	80-224
Россия	54-80
Великобритания	50-120
Германия	60-150
Ирландия	80,8
Италия	97,4
Венгрия	99,6
Польша	110,6
Израиль	130,5
Венесуэла	200-350
Филиппины	236,1
Тайланд	240,1
Япония	243,1

*селенодефицитные районы (северные провинции)

**средние уровни потребления селена

***районы селенозов (провинция Хайнань)

значительная часть стран характеризуется умеренными показателями потребления Se (50-130 мкг/день), а высокие показатели (от 200 мкг/день) установлены лишь для небольшого числа стран [8]. Средний уровень потребления Se населением России составляет 54-80 мкг/день (без учета эндемических селенодефицитных районов). Большая часть территории России характеризуется низким содержанием Se, что закономерно приводит к дефициту в цепи биологического круговорота почва-растения-животные-человек. На селеновой карте России преобладают "белые пятна" регионов с неизученным селеновым статусом окружающей среды [1]. Эпидемиологические исследования свидетельствуют о пониженном селеновом статусе более 80 % населения страны. Архангельская область и Республика Коми относятся к регионам с низким селеновым статусом [9].

Принятая минимальная потребность в Se для мужчин в 19 мкг/день и 14 мкг/день для женщин соответствует уровню потребления Se в эндемических районах Китая, при котором не наблюдается развитие болезни Кешана [10]. Физиологическая потребность человека в Se определяется по максимальной активности глутатионпероксидазы в плазме крови. Максимальный безопасный уровень потребления достигает 400 мкг/день. Симптомы токсикозов проявляются при хроническом потреблении Se более 800 мкг/день. Принятые в настоящее время нормы потребления Se не учитывают его важную биологическую роль в защите от возникновения и развития кардиологических и ряда онкологических заболеваний. Результаты эпидемиологических исследований в разных странах мира показывают, что нормы потребления должны быть увеличены, поскольку доза во многом определяет биологическое действие Se. Хорошо известно, что в странах с высоким уровнем потребления Se показатели смертности населения от разных форм рака малы (рис. 1). В 1996 г. в США были опубликованы результаты исследований, которые показали, что потребление селенообогащенных дрожжей из расчета 200 мкг Se в день в течение 4,5 лет привело к снижению заболеваемости и смертности от рака в два раза [1, 5].

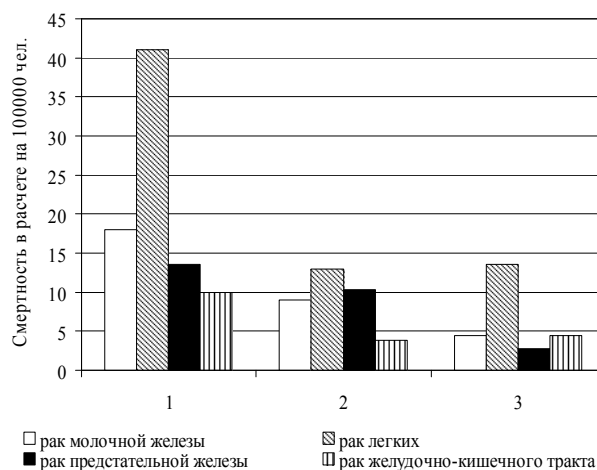


Рис. 1. Смертность от различных форм рака в зависимости от суточного потребления селена в разных странах

1. Германия (75 мкг)
2. Венесуэла (220 мкг)
3. Япония (255 мкг)

Одним из основных источников Se в России являются зерновые. С продуктами переработки зерновых жители России получают до 50% диетического Se, что связано с низким уровнем потребления мяса, молочных продуктов, овощей и фруктов, в то время как за рубежом эта величина составляет всего 20% (табл. 2). Зерновые содержат Se в наиболее хорошо усваиваемой органической форме – SeMet, который составляет 80% в пшенице, сое и кукурузе. Большинство овощных культур накапливает Se в следовых количествах, и при повышении концентрации в почве он ингибирует рост растений. Несмотря на этот парадокс, для человека крайне важно получать Se именно при потреблении

Таблица 2

**Вклад различных продуктов питания
в общее потребление селена населением России,
Финляндии и Великобритании, %**

№	Наименование продуктов	Россия		Фин- ляндия	Вели- кобри- тания
		Урал	Брян- ская обл.		
1.	Продукты переработки зерновых	50	47	19	22
2.	Мясо	20	16	40	32
3.	Рыба	10	14	11	13
4.	Молочные продукты	10	15	24	22
5.	Яйца	5	3		
6.	Овощи	2	2	6	6
7.	Картофель	2	2		
8.	Фрукты	1	1		

овощей. Если в пшенице основной формой Se является SeMet, то многие растения, в том числе рода *Allium* и *Brassica*, накапливают преимущественно антиканцерогенные селенометилселеноцистеин (SeMeSeCys) и γ -глутамил-селенометилселеноцистеин (γ -Glu-SeMeSeCys). Среди различных химических форм микроэлемента (селенаты, селениты, селеносодержащие белки, синтетические производные: селенопиран, диметил дипиразолил селенид и др.) именно метилированные формы селенсодержащих аминокислот обеспечивают наиболее эффективную защиту от онкологических заболеваний [11].

Большинство сельскохозяйственных культур в среднем содержит 100–1000 мкг/кг Se. Некоторые представители растительного царства, особенно растения рода *Astragal*, могут накапливать до 0.1% (1000 ppm) Se. Токсичность некоторых растений может быть обусловлена наличием в них Se в очень больших количествах. Много Se при высоком уровне этого элемента в среде обитания могут накапливать дрожжи и прокариоты, в частности, спирулина.

В последнее десятилетие резко возросло внимание исследователей к растениям рода *Allium* (Лук), способным аккумулировать SeMeSeCys и γ -Glu-SeMeSeCys. Одним из наиболее интересных представителей рода *Allium* является чеснок *Allium sativum* L., который относят к аккумуляторам Se с сильными антиканцерогенными свойствами благодаря присутствию SeMeSeCys. Чеснок в 10 раз более интенсивно поглощает Se из почвы, чем другие растения. Эпидемиологические исследования, проведенные в Китае, показали, что потребление чеснока снижало частоту рака молочной железы на 40% по сравнению с показателями для населения, редко употребляющего его. Чеснок, обогащенный Se, обладает еще более выраженным антиканцерогенным действием и уменьшает частоту случаев рака молочной железы на 60%. Установлено, что антиканцерогенное действие чеснока пропорционально содержанию в нем Se. В связи с этим общей тенденцией в мире является увеличение производства чеснока с повышенным содержанием этого

микроэлемента. Повышение содержания в чесноке SeMeSeCys в настоящее время в основном осуществляют внесением Se в почву [12].

В литературе неоднократно отмечались высокие антиоксидантные свойства многолетних луков, обусловленные как наличием особых органических форм Se, так и высокими концентрациями витамина С и флавоноидов. В России вопрос об использовании таких природных источников Se стоит особенно остро ввиду крайне низкой продолжительности жизни и высокой смертности от сердечно-сосудистых заболеваний и рака. Потребность в витаминах и других микронутриентах для населения северных регионов, особенно остро ощущаемая ранней весной, может быть решена за счет более широкого использования луков, биологическая и фармакологическая ценность которых несомненна, и подтверждается результатами исследований, которые приняли в последнее время более широкий и глубокий характер. Тем не менее, данные по содержанию микроэлемента в почве и способности растений флоры европейского Северо-Востока России, в том числе дикорастущих луков, аккумулировать Se в условиях Республики Коми остаются до сих пор практически неизученными.

В Институте физиологии Коми НЦ УрО РАН были проведены исследования сезонных изменений содержания Se в организме молодых мужчин, проживающих на европейском Севере, с целью понимания механизма адаптации организма к условиям Севера [9, 13]. Результаты исследований показали, что среднегодовое значение концентрации Se в сыворотке крови обследованных мужчин располагалось ниже (82 мкг/л) общепринятого норматива (115–120 мкг/л), а в отдельные периоды года (июль) приближались к критическим значениям (50 мкг/л), определяющим глубокий дефицит Se. Авторы показали, что в северных районах Республики Коми количество лиц с уровнем Se в сыворотке крови ниже 80 мкг/л составляет 32% среди женщин и 18% среди мужчин. Обнаружена сезонная и возрастная зависимость содержания Se в организме северян. Таким образом, адекватная обеспеченность организма Se является актуальной проблемой в условиях Республики Коми, требующей дальнейшего изучения для разработки северных и региональных нормативов содержания у северян этого микронутриента.

Целью нашей работы являлось установление селенового статуса культурных и дикорастущих видов рода *Allium*, произрастающих на территории Республики Коми, выявление закономерностей аккумуляции этого микроэлемента в зависимости от его содержания в почве, эколого-географических условий произрастания, распределение по частям растения, зависимость содержания от фазы развития растения и оценка их пищевой и фармакологической ценности.

Материалы и методы

Исследования проводили в 2008–2010 гг. В качестве объекта изучения использовали образцы дикорастущих и интродуцированных растений *A. angulosum*, *A. schoenoprasum* и *A. strictum* из географически удаленных районов Республики Коми.

Сбор растительного сырья производился в разные фазы развития (отрастание, бутонизация, цветение, плодоношение). Растения-интродуценты *A. schoenoprasum* были выращены в Ботаническом саду Института биологии Коми НЦ УрО РАН (БС) из семян, поступивших из Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина Российской академии наук и Всероссийского научно-исследовательского института лекарственных и ароматических растений РАСХН (ГУ ВИЛАР). *A. schoenoprasum* var. *major* и сортовой образец *A. schoenoprasum* cv. *Prazska Krajoa* (лук скорода «Празска Крайова») были выращены в БС и поддерживаются в живой коллекции лаборатории биохимии и биотехнологии Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Семена *A. strictum* и *A. angulosum* получены по делектусу из различных Ботанических садов России и зарубежных стран. Дикорастущие образцы растений и образцы почвы собраны в географически удаленных районах республики – в окрестностях г. Сыктывкар (пос. Виль-тыдор), с. Гам Усть-Вымского района, на Северном Урале (берег р. Илыч), на Приполярном Урале (берег р. Щугор) и в Заполярье (г. Воркута, р. Уса). Для комплексного исследования химического состава брали не менее 30 растений каждого образца, которые разделяли на корни, луковицы, покровные чешуи, листья, бутоны, соцветия, измельчали и сушили при комнатной температуре и постоянном вентилировании.

Содержание Se в растениях и валовое содержание Se в почве определяли флуориметрическим методом с использованием референс-стандартов в двух повторностях [6]. Образцы почвы отбирали из ризосферной части корневой системы растений, используя стандартные методики [14]. О накоплении Se судили по величине коэффициента биологического накопления (КБН), который рассчитывали по формуле:

$$\text{КБН} = \frac{\text{Содержание Se в сухой биомассе, мкг/кг}}{\text{Содержание Se в почве, мкг/кг}}$$

При значении КБН ≥ 1 растения рассматривались как аккумуляторы Se.

Результаты и обсуждение

Селеновый статус дикорастущих луков изучен недостаточно хорошо, однако в некоторых работах показана их повышенная способность к биосинтезу витамина С и аккумуляции микроэлементов Fe, Mn, Zn, Cu и Cr по сравнению с зеленью лука репчатого *A. cepa* [1, 15, 16].

Род лук *Allium* L. объединяет около 750–800 видов [17, 18]. Во флоре Республики Коми встречается три вида многолетних луков: редкий для этой территории лук угловатый, или лук луговой (*Allium angulosum* L.), лук торчащий или лук прямой (*A. strictum* Schrad.), растущий в труднодоступных местах по известняковым обнажениям у рек Кожим, Щугор и Илыч [19], которые внесены в Красную книгу Республики Коми (2009), а также лук скорода, резанец, шнитт (*A. schoenoprasum* L.), встречающийся на всей территории республики и являющийся одной из наиболее ценных овощных культур. Проведенные нами комплексные биохимические исследования многолетних луков флоры европей-

ского Северо-Востока России показали, что эти растения являются источником богатого набора биологически активных веществ, необходимых человеку для нормального функционирования организма, в том числе липидов, в состав которых входят эссенциальные высшие жирные кислоты линолевая и линоленовая [20], протеиногенных аминокислот [21], стероидных гликозидов [22], макро- и микроэлементов [16] и других микронутриентов.

Как показывают результаты наших исследований, образцы почвы, отобранные из ризосферной части корневой системы растений, отличаются очень низким содержанием Se (табл. 3-5). При этом по величине коэффициента биологического накопления все три исследованные вида лука можно считать аккумуляторами Se. У корневищных луков в пищу используется преимущественно надземная зеленая часть, поэтому основная масса исследований посвящена изучению химического состава листьев. У исследуемых нами видов полезными питательными свойствами обладают и луковицы, поэтому мы определяли накопление Se как в листьях, так и луковицах. Приведенные в таблицах данные иллюстрируют широкий диапазон концентраций Se, специфику накопления его в разных частях и органах растения в зависимости от вида, условий его произрастания и фазы развития. Особый интерес представляет, несомненно, *A. schoenoprasum*, как самый распространенный на территории республики, введенный в культуру и издавна широко используемый населением. Он отличается наиболее высокими аккумуляционными свойствами, значение КБН выше 1 почти для всех исследуемых образцов (табл. 3). При этом концентратором Se в этом виде лука является луковица. Самое низкое содержание Se обнаружено в образце из окр. с. Гам Усть-Вымского района (табл. 3, образец 3). На примере лука-интродуцента нами была исследована динамика накопления Se по фазам развития (рис. 2). Как видно из приведенного графика, при переходе из

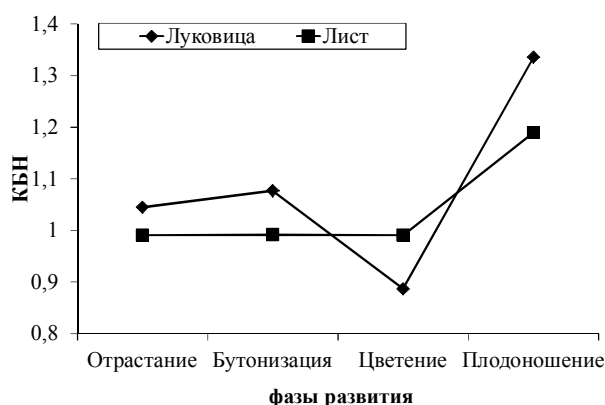


Рис. 2. Динамика накопления селена по фазам развития культивируемых растений *Allium schoenoprasum* (Ботанический сад Института биологии Коми НЦ УрО РАН)

фазы отрастания в фазу бутонизации значения КБН как для листьев, так и для луковиц незначительно возрастают, при этом аккумулятором Se по-прежнему остаются луковицы. При переходе в фазу цветения КБН для луковиц значительно снижается,

Таблица 3

Содержание селена в *Allium schoenoprasum*, мкг/кг

Номер образца	Место сбора образца	Дата сбора	Фаза развития	Содержание селена (луковица / лист / почва)	КБН (луковица / лист)
1	Интродуцент, БС ИБ, получен семенами из ГУ ВИЛАР, г. Москва	19.06.2008	бутонизация	174 / 121 / 131	1,33 / 0,92
2	Северный Урал, РК, берег р. Ильич, бечевник	30.07.2008	бутонизация	217 / 136 / 158	1,37 / 0,86
3	с. Гам, Усть-Вымский, р-н, РК	26.06.2008	бутонизация	92 / 64 / 116	0,79 / 0,55
4	Интродуцент, БС ИБ. Получен семенами из ГУ ВИЛАР, г. Москва	19.06.2009	бутонизация	111 / 111 / 98	1,13 / 1,13
5	окр. пос. Советский, г. Воркута, РК, берег р. Уса, травянистый бечевник	07.08.2009	цветение	137 / 152 / 157	0,87 / 0,97
6	Интродуцент, БС ИБ. Получен семенами из ГС РАН, г. Москва	29.05.2010	отрастание	117 / 111 / 112	1,04 / 0,99
		22.06.2009	бутонизация	126 / 116 / 117	1,08 / 0,99
		06.07.2009	цветение	102 / 114 / 115	0,89 / 0,99
		29.08.2009	плодоношение	155 / 138 / 115	1,35 / 1,20
7*	Интродуцент, БС ИБ. Получен семенами из Южно-Алтайского БС АлтГУ, г. Барнаул	24.06.2008	бутонизация	128 / 83 / 184	0,70 / 0,45
8**	Интродуцент, БС ИБ. Получен семенами из БИН, г. Санкт-Петербург	19.06.2008	бутонизация	129 / 106 / 201	0,64 / 0,53
9**	Интродуцент, коллекция лаб. биохимии и биотехнологии. Получен семенами из БС ИБ.	22.06.2009	бутонизация	54 / 63 / 88	0,61 / 0,72

Примечания: * – сортовой образец *A. schoenoprasum* cv. Prazska Krajova, ** – разновидность *A. schoenoprasum* var. major. Здесь и далее БС – Ботанический сад; ИБ – Институт биологии Коми НЦ УрО РАН; РК – Республика Коми.

Таблица 4

Содержание селена в *Allium angulosum*, мкг/кг

Номер образца	Место сбора образца	Дата сбора	Фаза развития	Содержание селена (луковица / лист / почва)	КБН (луковица / лист)
1	Интродуцент БС ИБ	11.06.2009	бутонизация	76 / 193 / 260	0,29 / 0,74
2	Интродуцент БС ИБ	11.06.2009	бутонизация	101 / 360 / 191	0,53 / 1,89
3	с. Гам, Усть-Вымский р-н, РК	24.06.2009	бутонизация	108 / 139 / 143	0,76 / 0,97
4	пос. Выльтыдор, окр. г. Сыктывкара, РК	18.06.2009	бутонизация	81 / 112 / 108	0,75 / 1,0
5	Интродуцент БС ИБ, происхожд. Респ. Таджикистан	29.05.2009	отрастание	116 / 89 / 146	0,8 / 0,6
		11.06.2009	бутонизация	114 / 84 / 179	0,63 / 0,47
		06.07.2009	цветение	110 / 96 / 212	0,52 / 0,45
		13.08.2009	плодоношение	80 / 67 / 150	0,53 / 0,45
6	Интродуцент, БС ИБ, происхожд. Италия	29.05.2009	отрастание	80 / 74 / 168	0,48 / 0,44
		22.06.2009	бутонизация	88 / 76 / 193	0,46 / 0,39
		29.07.2009	цветение	86 / 80 / 230	0,37 / 0,35
		07.09.2009	плодоношение	99 / 98 / 316	0,31 / 0,31
7	Интродуцент, БС ИБ, получен семенами из ГУ ВИЛАР, г. Москва	29.05.2009	отрастание	109 / 105 / 153	0,71 / 0,69
		11.06.2009	бутонизация	110 / 103 / 184	0,60 / 0,56
		06.07.2009	цветение	97 / 94 / 169	0,57 / 0,56
		13.08.2009	плодоношение	89 / 81 / 207	0,43 / 0,39
8	пос. Выльтыдор, окр. г. Сыктывкара, РК	18.06.2009	бутонизация	113 / 93 / 228	0,50 / 0,40
		14.08.2009	плодоношение	92 / 83 / 282	0,33 / 0,29
9	с. Гам, Усть-Вымский р-н, РК	24.06.2009	бутонизация	91 / 73 / 205	0,44 / 0,36
		19.08.2009	плодоношение	97 / 74 / 233	0,42 / 0,32

в то время как для листьев он остается постоянным. Максимальное содержание Se накапливается как в луковицах, так и в листьях в фазу плодоноше-

ходят местные образцы.

Противоопухолевое действие препаратов из листьев лука *A. schoenoprasum* было подтверждено в

ния. При этом значения КБН в обоих случаях значительно возрастают.

Самыми низкими аккумулярующими свойствами обладает *A. angulosum*, КБН его лишь в нескольких случаях лежит в области единицы (табл. 4). В фазу бутонизации аккумулятором Se является лист. На примере трех образцов культурного вида была показана динамика изменения содержания Se. Максимальное содержание у всех образцов было обнаружено в фазу отрастания. При переходе к фазе плодоношения происходит уменьшение КБН (рис.3).

Третий вид, встречающийся на территории Республики Коми – лук торчащий *A. strictum*, также является аккумулятором Se. Причем, если для *A. angulosum* концентратором Se является лист, для *A. schoenoprasum* – луковица, то в *A. strictum* Se аккумулируют как лист, так и луковица (табл. 5). В образцах лука торчащего, собранного д.б.н. В.А. Черемушкиной в Республике Тува, Республике Бурятия, на Горном Алтае, содержание Se значительно выше, чем в исследуемых образцах (табл. 5). Из-за отсутствия образцов почв мы не имели возможности рассчитать значения КБН, но по абсолютному содержанию Se образцы с Горного Алтая и из Бурятии значительно превос-

Таблица 5

Содержание селена в *Allium strictum*, мкг/кг

Но- мер об- разца	Место сбора образца	Дата сбора	Фаза развития	Содержание селена (луковица / лист / почва)	КБН (луковица / лист)
1	Интродуцент, БС ИБ,	26.06.2009	бутонизация	75 / 99 / 149	0,50 / 0,66
2	Северный Урал, РК, р. Щугор, скалы	12.07.2009	цветение	127 / 122 / 118	0,97 / 1,03
3	Интродуцент, БС ИБ, получен семенами из Южно-Алтайского БС АлтГУ, г. Барнаул	18.05.2010	отрастание	105 / 97 / 90	1,17 / 1,08
		10.06.2010	бутонизация	85 / 93 / 85	1,0 / 1,1
		28.06.2010	цветение	58 / 65 / 90	0,64 / 0,72
		22.07.2010	плодоношение	55 / 31 / 91	0,6 / 0,34
4	Интродуцент БС, полу- чен семенами из БС– институт ДВО РАН, г. Владивосток	29.05.2009	отрастание	46 / 83 / 62	0,74 / 1,34
		26.06.2009	бутонизация	75 / 99 / 149	0,50 / 0,66
		18.07.2009	цветение	72 / 45 / 72	1,0 / 0,63
		21.08.2009	плодоношение	52 / 62 / 52	1,0 / 1,19
5	Республика Тува	–	цветение	110 / 95 / –	– / –
6	Республика Тува	–	цветение	86 / 65 / –	– / –
7	Республика Тува	–	цветение	119 / 69 / –	– / –
8	Горный Алтай	–	цветение	183 / 193 / –	– / –
9	Республика Бурятия	–	цветение	132 / 179 / –	– / –

экспериментах на мышах в НИИ канцерогенеза Российского онкологического научного центра им. Н.Н. Блохина РАМН (г. Москва) с.н.с., к.б.н. В.П. Дерягиной и с.н.с., к.б.н. Н.И. Рыжовой. Результаты испытаний показали, что водный и водно-спиртовой экстракт листьев лука проявляют тенденцию к ингибированию роста подкожно перевиваемой карциномы Эрлиха у мышей-самцов BDF на стадии ее интенсивного развития.

В настоящее время разработано множество различных путей повышения селенового статуса населения, который оценива-

ется по содержанию Se в сыворотке крови, волосах и ногтях. Селеновый статус является относительно постоянной величиной, характерной для конкретного района проживания. Хотя повышение селенового статуса населения для большинства стран мира является одной из нерешенных проблем, ни в одной стране мира не проводят прямого обогащения продуктов питания соединениями Se из-за опасности возникновения и развития хронических токсикозов. Наиболее широко используемым способом оптимизации обеспеченности Se населения являются корневые или внекорневые подкормки сельскохозяйственных растений соединениями Se. Так, в Финляндии, имеющей дефицитные по Se почвы, начиная с 1985 г. действует государственная программа повсеместного использования селеносодержащих удобрений. К настоящему времени благодаря осуществлению программы повышения селенового статуса населения, снижения потребления жиров, кофе и борьбы с курением, Финляндии удалось занять лидирующую позицию среди европейских стран по снижению уровня смертности от онкологических и кардиологических заболеваний, при этом в 1985 г. Финляндия имела худшие показатели в Европе [1, 4]. В других странах коррекцию селенового статуса населения проводят, импортируя пшеницу с высоким содержанием микроэлемента из эндемических регионов мира (США, Канада, Австралия). К сожалению, в России отсутствует единая программа оптимизации обеспеченности Se населения, хотя случаи низкой обеспеченности Se зарегистрированы во многих регионах. К их числу следует отнести и Республику Коми.

Таким образом, нами показано, что почвы Республики Коми обеднены Se, однако, как показали наши исследования, дикорастущие и культивируемые виды рода *Allium* являются аккумуляторами этого микроэлемента. В дальнейшем представляет интерес организация комплексных исследований, направленных на оценку селенового статуса населения, изучение зонального распределения Se в различных типах почв европейского Северо-Востока России и содержание этого эссенциального микронутриента в продуктах питания, культиви-

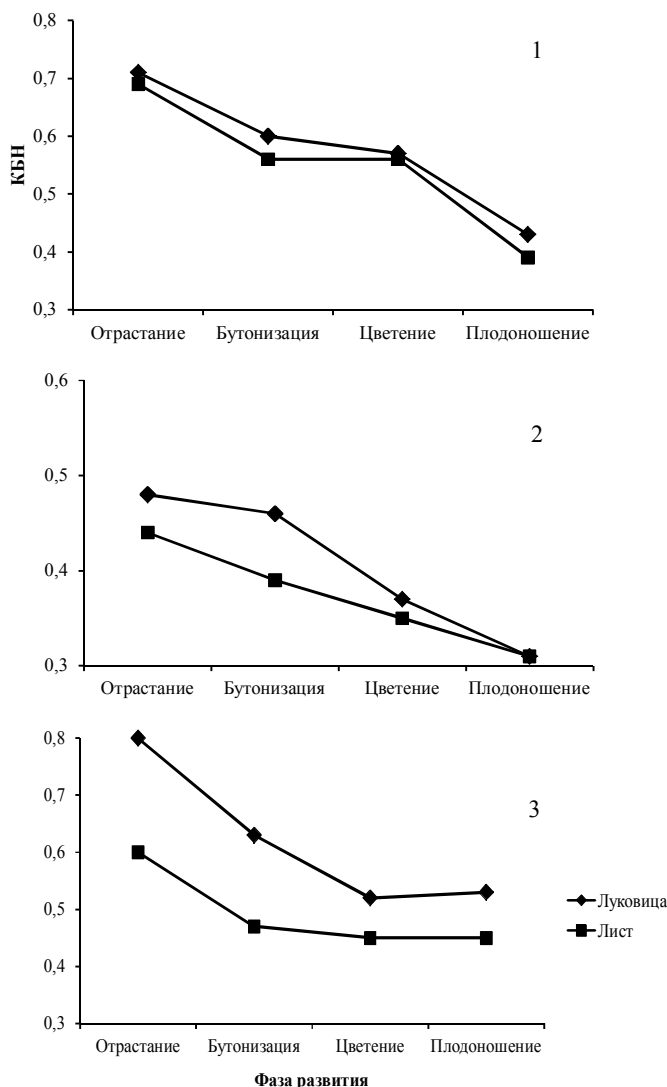


Рис. 3. Динамика накопления селена по фазам развития культивируемых растений *Allium angulosum* (Ботанический сад Института биологии Коми НЦ УрО РАН)

1. семена растений получены из ВИЛАР, г. Москва; 2. происхождение – г. Падуя, Италия; 3. происхождение г. Хорог, Республика Таджикистан.

руемых и дикорастущих растений, произрастающих на данной территории. Включение в рацион питания людей, проживающих на Севере, многолетних луков и других овощных культур-аккумуляторов Se, будет способствовать улучшению состояния здоровья населения.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Программы Президиума РАН «Фундаментальные науки – медицине» (проект № 09-П-4-1013: «Молекулярно-клеточные механизмы стресс-устойчивости и оценка возможности фитофармакологической коррекции адаптивных реакций организма в неблагоприятных условиях окружающей среды, высоких физических и психо-эмоциональных нагрузок) и Программы Отделения биологических наук РАН «Биологические ресурсы России, оценка состояния и фундаментальные основы мониторинга» (проект № 09-Т-4-1002: «Состояние ресурсов полезных растений европейского Северо-Востока России: мониторинг и разработка биотехнологических подходов по рациональному использованию и воспроизводству»).

Литература

1. Голубкина Н.А., Папазян Т.Т. Селен в питании. Растения, животные, человек. М.: Печатный город, 2006. 255 с.
2. Gladyshev V.N., Hatfield D.L. Selenocysteine-containing proteins in mammals // J. Biomed. Sci., 1999. Vol. 6. P. 141-160.
3. Combs G., Combs S. The Role of Selenium in Nutrition. N.Y.: Acad. Press, 1986. P. 235-238.
4. Aro A., Alfthan G. Effects of supplementation of fertilizers on human selenium status in Finland // Analyst., 1995. Vol. 120. P. 841-843.
5. Clark L.C., Combs G.F., Turnbull B.W. et al. A randomized controlled trial. Nutritional Prevention of Cancer Study Group // J. Am. Med. Assoc., 1996. Vol. 276. P. 1957-1985.
6. Alfthan G.V. A micromethod for the determination of selenium in tissues and biological fluids by single-test-tube fluorimetry // Anal. Chim. Acta., 1984. Vol. 165. P. 187-194.
7. Решетник Л.А., Парфенова Е.О. Селен и здоровье человека // Экология моря: Сб. науч. трудов. Севастополь, 2000. Вып. 54. С.20-25.
8. Combs G.F. Selenium in Nutrition // Encyclopedia of human biology. N.Y.: Acad. Press, 1997. Vol. 7. P. 743-754.
9. Проблемы адаптации человека к экологическим и социальным условиям Севера / Отв. ред. Е.Р. Бойко. Сыктывкар-СПб.: Политехника-сервис, 2009. 264 с.
10. Yang G.Q., Qian P.C., Zhu L.Z. et al. Human selenium requirements in China // Selenium in biology and medicine. N.Y.: Van Nostrand Reinhold Co., 1987. P. 589-607.
11. Голубкина Н.А., Сирота С.М., Пивоваров В.Ф. и др. Биологически активные соединения овощей. М.: ВНИИССОК, 2010. 200 с.
12. Ip C. Hydroponic garlic enriched with selenium. // J. Trase. Elem. Res., 1992. Vol. 15. P. 132-135.
13. Паршукова О.И. Влияние климато-географических факторов на содержание селена в сыворотке крови жителей европейского Севера // Известия Коми НЦ УрО РАН, 2010. № 1. С. 51-53.
15. Ягодин Б.А., Смирнов П.М., Петербургский А.В. и др. Агрохимия. М.: Агропромиздат, 1989. 639 с.
16. Голубев Ф.В., Голубкина Н.А., Горбунов Ю.Н. Минеральный состав диких луков и их пищевая ценность // Прикл. биохимия и микробиология, 2003. Т. 39. № 5. С. 602-606.
17. Ширшова Т.И., Бешлей И.В. Содержание макро- и микроэлементов в *A. schoenoprasum* L. (Alliaceae) // Раст. ресурсы, 2009. Т. 45. Вып. 2. С. 97-105.
18. Stearn W.G. How many species of *Allium* are known? // Kew Bot. Magaz., 1992. Vol. 9. No. 4. P. 180-182.
19. Hanelt P., Fritsch R. Notes on some infrageneric taxa in *Allium* L. // Kew Bulletin., 1994. Vol. 49. No. 3. P. 559-564.
20. Флора Северо-Востока европейской части СССР / Под ред. А. И. Толмачева. Л., 1976. Т. 2. С. 112-114.
21. Ширшова Т.И., Бешлей И.В., Груздев И.В. Липиды и высшие жирные кислоты в *Allium schoenoprasum* L. // Раст. ресурсы, 2008. Т. 44. Вып. 1. С. 75-81.
22. Ширшова Т.И., Бешлей И.В. Содержание азота и протеиногенных аминокислот в *Allium schoenoprasum* (Alliaceae) // Раст. ресурсы, 2008. Т. 44. Вып. 2. С. 82-87.
23. Ширшова Т.И., Волкова Г.А. Биологически активные вещества некоторых видов рода *Allium* L. // Раст. ресурсы, 2006. Т. 42. Вып. 3. С. 59-66.

Статья поступила в редакцию 17.06.2011.

УДК 595.799:591.9(470.1)

ЗООГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФАУНЫ ШМЕЛЕЙ (HYMENOPTERA, APIDAE, BOMBUS LATR.) ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Н.И. ФИЛИППОВ, М.М. ДОЛГИН

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

Анализируется зоогеографическая структура фауны шмелей европейского Северо-Востока России. Выделено три комплекса и 12 зоогеографических групп с характеристикой их качественного состава и ареалов. Показано, что фауна шмелей исследованного региона мало специфична, в ней преобладают широко распространенные в Палеарктике и Голарктике виды.

Ключевые слова: фауна, шмели, зоогеографическая характеристика, европейский Северо-Восток

N.I.FILIPPOV, M.M.DOLGIN. ZOOGEOGRAPHIC CHARACTERISTICS OF BUMBLEBEES FAUNA (HYMENOPTERA, APIDAE, BOMBUS LATR.) OF THE EUROPEAN NORTH-EAST OF RUSSIA

The zoogeographical structure of the bumblebees fauna of the European North-East of Russia is analyzed. Three complexes and 12 zoogeographical groups with characteristics of quality composition and areals are revealed. It is shown, that bumblebees fauna of the researched region is a little specific, where widespread species of Palearctic and Holarctic prevail.

Key words: fauna, bumblebees, zoogeographic characteristics, European North-East of Russia

Шмели (*Apidae*, *Bombus* Latr.) являются широко распространенной группой насекомых. Они отсутствуют в настоящий момент только в Антарктиде и на некоторых островах и архипелагах. В Австралию, Новую Зеландию и отдельные острова они были интродуцированы для опыления культурных растений. Мировая фауна рода *Bombus* насчитывает около 250 видов, относящихся к 38 под родам [1].

Представители рода *Bombus* очень удобный объект для исследований видового разнообразия, особенно в бореальной зоне. Эта группа насекомых весьма многочисленна и разнообразна именно в северных широтах, что обусловлено способностью шмелей поддерживать более высокую температуру тела по сравнению с окружающей средой и широким спектром кормовых растений, на которых они питаются. В то же время, шмели в условиях Севера России изучены недостаточно [2–4].

Материал и методика

В настоящей работе анализируется зоогеографическая структура фауны шмелей северо-востока Европейской части России. Исследуемая территория имеет четкие границы на севере (побережье Баренцева моря) и востоке (Уральские горы). На юге граница проходит по Северным Увалам, а западная менее отчетлива, ее можно провести по Тиманскому кряжу и равнинной территории, называемой обычно западным Притиманьем.

Материал собирался во всех природных зонах региона (рис. 1) с начала июля по конец августа 2004–2010 гг. Численность и видовое богатство шмелей в этот период максимальны и их отлов наносит минимальный ущерб популяциям.

Кроме собственных сборов, нами обработаны коллекции шмелей научного музея Института биологии Коми научного центра УрО РАН, Коми государственного педагогического института и зоологического музея химико-биологического факультета Сыктывкарского государственного университета. Всего обработано около 7 тыс. экземпляров шмелей. Использованы также данные литературы [5,6].

Насекомых собирали при помощи энтомологического сачка методом вылова всех встреченных особей шмелей. Такой подход технически соответствует методу индивидуального безвыборочного сбора видов «на исчерпание популяции», который используется для исследований насекомых – опылителей [7,8]. Указанный метод позволяет получить случайную выборку, которая дает достоверные данные при использовании методов математической статистики для интерпретации полученных результатов. Минимальный объем выборки с каждой исследованной точки составляет не менее 100 экземпляров. Выявление видовой принадлежности насекомых проводилось с помощью определителей [9–11]. Латинские названия видов и под родов шмелей и их порядок в тексте приведены по P. Wil-

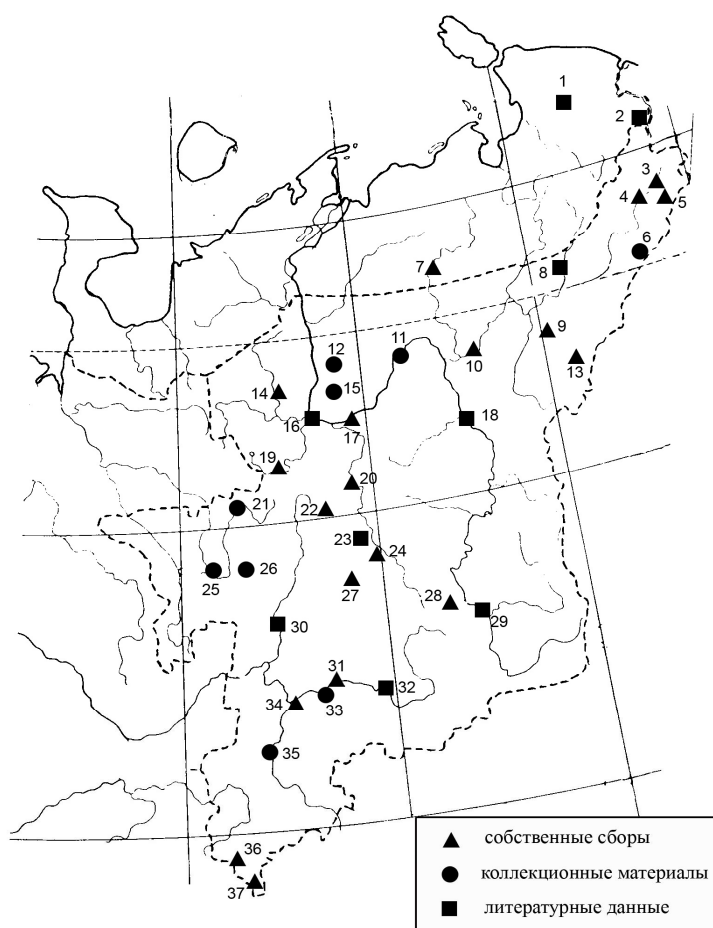


Рис. 1. Картограмма района исследований. **Северная тундра:** 1 – Пай-Хой. **Южная тундра:** 2 – р. Кара, 3 – р. Ния-Ю, 4 – г. Воркута, 5 – заказник «Хребтовый». **Лесотундра:** 6 – ст. Красный Камень, 7 – пос. Харьгаинск, 8 – пос. Харута. **Крайнесеверная тайга:** 9 – г. Инта, 10 – г. Усинск, 11 – дер. Васькино, 12 – оз. Нижне-Маерское, 13 – памятник природы «Лемвинский», 14 – р. Тобыш, 15 – оз. Волочанское, 16 – с. Усть-Цильма, 17 – пос. Щельяюр. **Северная тайга:** 18 – г. Печора, 19 – р. Печорская Пижда, 20 – пос. Том, 21 – дер. Латьюга, 22 – заказник «Белая Кедва». **Средняя тайга:** 23 – г. Ухта, 24 – заказник «Седьюсский», 25 – пос. Усогорск, 26 – р. Йирва, 27 – заказник «Вежа-Вожский», 28 – заказник «Сойвинский», 29 – пос. Троицко-Печорск, 30 – г. Емва, 31 – с. Нёбдино, 32 – с. Усть-Кулом, 33 – биостанция СыктГУ, 34 – окрестности г. Сыктывкара, 35 – с. Визинга. **Южная тайга:** 36 – с. Летка, 37 – с. Прокопьевка. Примечание: литературные данные по [7].

liams [1]. Зоогеографическая характеристика приводится по К.Б. Городкову [12], с учетом широтной и долготной составляющих. Для уточнения характера распространения видов использовались данные ряда региональных работ [13–15].

Результаты и обсуждение

В результате исследований на европейском Северо-Востоке России нами выявлено 35 видов шмелей из 11 под родов. Самыми крупными по числу видов под родами являются *Psithyrus* – девять видов, *Pyrobombus* – шесть, *Thoracobombus* – шесть, *Bombus s. str.* – четыре, *Alpinobombus* – три вида. Остальные под рода включают по одному-два вида. В составе региональной фауны шмелей выделено три зоогеографических комплекса и 11 групп (см. таблицу). К мультирегиональному комплексу относятся 13 видов из семи под родов: *Psithyrus*, *Laesobombus*, *Thoracobombus*, *Megabombus*, *Pyrobombus*, *Bombus*, *Melanobombus*. Голарктический комплекс включает пять видов из двух под родов: *Alpinobombus*, *Pyrobombus*. Палеарктический комплекс представлен 17 видами, относящимися к восьми под родам: *Psithyrus*, *Thoracobombus*, *Megabombus*, *Kallobombus*, *Subterraneobombus*, *Pyrobombus*, *Bombus*, *Cullumanobombus*.

Мультирегиональный комплекс включает две группы. Голаркто-ориентальная полизональная группа представлена одним видом – *B. (Bo. s. str.) lucorum*, встречающимся в Голарктике и Ориентальной области. Палеаркто-ориентальная температурная состоит из 12 видов: *Bombus (Ps.) bohemicus*, *B. (Ps.) norvegicus*, *B. (Ps.) rupestris*, *B. (Ls.) laesus*, *B. (Th.) deuteronymus*, *B. (Th.) schrencki*, *B. (Mg.) consobrinus*, *B. (Pr.) hypnorum*, *B. (Pr.) modestus*, *B. (Bo.*

Распределение видов шмелей европейского Северо-Востока России по зоогеографическим комплексам и группам

Зоогеографические комплексы и группы	Виды	Доля, %
Мультирегиональный комплекс	13	37,15
Голаркто-ориентальная полизональная группа	1	2,86
Палеаркто-ориентальная температурная группа	12	34,29
Голарктический комплекс	5	14,28
Голарктическая арктическая группа	1	2,86
Голарктическая аркто-бореальная группа	3	8,56
Голарктическая бореальная группа	1	2,86
Палеарктический комплекс	17	48,57
Европейская температурная группа	1	2,86
Евро-сибирская температурная группа	7	20
Трансевразийская бореальная группа	2	5,71
Трансевразийская температурная группа	4	11,43
Транспалеарктическая полизональная группа	2	5,71
Транспалеарктическая температурная группа	1	2,86

s. str.) patagiatus, *B. (Bo. s. str.) sporadicus*, *B. (Ml.) sichelii*, в отличие от предыдущей группы они не встречаются в Северной Америке.

Голарктический комплекс также представлен тремя группами, но включает меньшее число видов. Голарктическая аркто-бореальная группа состоит из трех видов: *Bombus (Al.) balteatus*, *B. (Al.) polaris*, *B. (Pr.) lapponicus*, обитающих в тундре, лесотундре и лесной зоне Северной Америки и Евразии. Один вид – *B. (Al.) hyperboreus*, ареал которого охватывает тундровую зону Северного полушария, относится к голарктической арктической группе. Голарктическая бореальная группа включает один вид – *B. (Pr.) jonellus*; данный вид распространен по всей таежной зоне обоих полушарий.

Около половины видов шмелей европейского Северо-Востока России (17 видов, что составляет 48,57% фауны) распространено в пределах Палеарктики. Этот комплекс включает шесть групп. Европейская температурная группа представлена одним видом *B. (Ps.) quadricolor*, встречающимся в лесах Европы. В евро-сибирскую температурную группу входят семь видов: *B. (Ps.) maxillosus*, *B. (Th.) ruderarius*, *B. (Mg.) hortorum*, *B. (Kl.) soroeensis*, *B. (Pr.) pratorum*, *B. (Bo. s. str.) terrestris*, *B. (Cl.) semenovii*, обитающих в лесной зоне Европы и Сибири. Трансевразийская бореальная группа объединяет два вида *B. (Ps.) flavus* и *B. (St.) distinguendus*, область распространения которых – таежная зона Евразии. Виды *B. (Th.) muscorum*, *B. (Th.) pascoi*, *B. (Th.) veteranus*, *B. (Pr.) cingulatus*, относящиеся к трансевразийской температурной группе, распространены в лесном поясе Евразии. Транспалеарктическая полизональная группа включает два вида *B. (Ps.) campestris* и *B. (Ps.) sylvestris*. Их ареал охватывает всю Палеарктику. Транспалеарктическая температурная группа состоит всего из одного вида *Bombus (Ps.) barbutellus*, распространенного в лесном поясе Палеарктики.

Из анализа ареалогической структуры (таблица) можно сделать вывод, что в фауне шмелей европейского Северо-Востока России преобладают широко распространенные в Палеарктике и Голарктике виды (рис. 2). По широтной составляющей (рис. 3) доминируют температурные виды (70 %), что говорит о неспецифичности фауны шмелей данного региона и свидетельствует о проникновении южных видов рода *Bombus* в северные широты. Ярким подтверждением этому является присутствие на исследуемой территории вида *B. (Bo. s. str.) terrestris*, который является типичным представителем фауны шмелей степной, лесостепной и юга лесной зон.

По данным М.В. Подболоцкой [13], древнейшим центром видообразования рода *Bombus* является Палеарктика. Она, скорее всего, служит также и местом образования всей трибы *Bombini*. Наибольшее количество видов шмелей отмечено в Сетийской области, что говорит о связи шмелей с горными ландшафтами. Затем вследствие расселения появились и другие центры видообразования.

Становление современной фауны шмелей европейского Северо-Востока России началось в позднем плейстоцене. До этого периода практически вся территория Северной Европы была покрыта

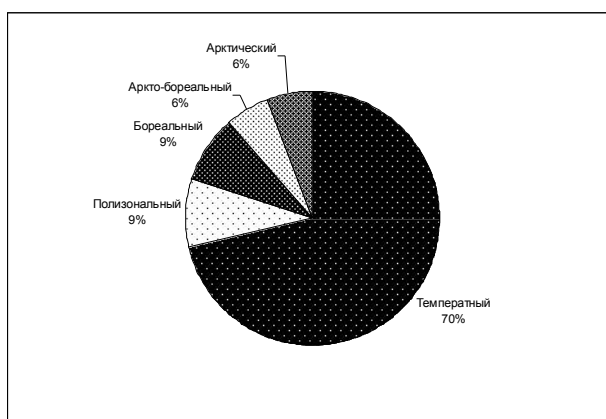


Рис. 2 Долготная составляющая зоогеографической структуры фауны шмелей европейского Северо-Востока России.

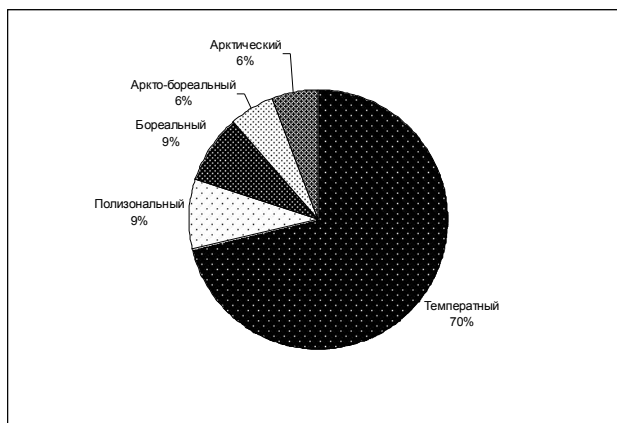


Рис. 3. Широтная составляющая зоогеографической структуры фауны шмелей европейского Северо-Востока России

льдами. Поэтому можно утверждать, что фауна шмелей исследуемого региона аллохтонна и имеет миграционный характер.

Заключение

На европейском Северо-Востоке России выявлено 35 видов шмелей из 11 подродов, относящихся к трем крупным зоогеографическим комплексам и 12 группам. Преобладают представители палеарктического комплекса – 34%. По широтной составляющей доминируют температурные виды (70 %). В целом фауна шмелей исследованного региона мало специфична и имеет миграционный и аллохтонный характер.

Литература

1. Williams P.H. An annotated checklist of the bumblebees with an analysis of patterns of description (Hymenoptera: Apidae, Bombini) // Bull. of the Nat. Hist. Mus. Ent. Ser. 1998. Vol. 67. P. 79-152.
2. Подболоцкая М.В., Филиппов Б.Ю. Видовой состав шмелей Архангельской области // VIII Ломоносовские международные чтения. Архангельск, 1996. С. 104-105.
3. Долгин М.М., Филиппов Н.И. К фауне шмелей (Hymenoptera: Apidae, Bombini) европейского Северо-Востока России // Антропоген-

- ная динамика природной среды: Материалы междунар. науч.-практ. конф. Пермь, 2006. Т. 1. С. 245-249.
4. Колосова Ю.С., Потапов Г.С. Локальные фауны шмелей (Hymenoptera: Apidae, Bombini) европейского Севера России: Южный Тиман // Вестник Поморского ун-та. Серия: Естеств. и точ. науки, 2007. № 1 (11). С. 69-75.
 5. Купчикова Л.М. Шмели Коми АССР и их питание // Труды Коми филиала АН СССР. Сыктывкар, 1960. № 9. С. 82-91.
 6. Седых К.Ф. Животный мир Коми АССР. Беспозвоночные. Сыктывкар, 1974. 188 с.
 7. Песенко Ю.А. К методике количественного учета насекомых-опылителей // Экология, 1972. Вып. 1. С. 89-95.
 8. Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука, 1982. 287 с.
 9. Luken A. Studies on Scandinavian Bumblebees // Norsk ent. Tidsskr. 1973. P. 1-218.
 10. Luken A. Scandinavian species of the genus *Psithyrus* Lepeletier (Hymenoptera, Apidae) // Entomol. Scandinavica. 1984. Vol. 23. P. 1-45.
 11. *Определитель насекомых европейской части СССР*. Л., 1978. Т. 3. Ч. 1. С. 508-519.
 12. Городков К.Б. Типы ареалов насекомых тундры и лесных зон европейской части СССР // Ареалы насекомых европейской части СССР. Л.: Наука, 1984. С. 3-20.
 13. Подболоцкая М.В. Анализ распространения палеарктических шмелей (Hymenoptera, Apidae, *Bombus* Latr.) // Связи энтомофаун северной Европы и Сибири. Л., 1988. С. 142-147.
 14. Левченко Т.В. Зоогеографическая характеристика фауны пчел (Hymenoptera, Apoidea) Московской области // Бюл. МОИП отд. биол. Т. 114. Вып. 1. С. 14-20. 2003.
 15. Прощалыкин М.Ю., Купянская А.Н. Пчелы семейства Apidae (Hymenoptera, Apoidea) Забайкалья // Евразийский энтомолог. журн., 2009. Т. 8. Вып. 1. С.59-68.

Статья поступила в редакцию 07.07.2011.

УДК 551.435.138:551.794.022(282.247.133)

ФАЦИАЛЬНОЕ РАСЧЛЕНЕНИЕ ГОЛОЦЕНОВОГО АЛЛЮВИЯ НА СРЕДНЕЙ ВЫЧЕГДЕ

Л.Н. АНДРЕЙЧЕВА, М.Н. БУРАВСКАЯ

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

Комплексом литологических методов, включающим текстурный, гранулометрический, минералогический и химический анализы, исследован голоценовый аллювий средней Вычегды. Выделены фациальные типы аллювиальных отложений, отчетливо различающиеся по основным характеристикам: текстуре отложений, по гранулометрическим характеристикам и по составу тяжелых и глинистых минералов. Выявлена дифференциация обломочного материала в аллювиальных осадках как по крупности, так и по минеральному составу.

Ключевые слова: голоцен, аллювий, фации, текстура, литология, минералогия, гранулометрия

L.N. ANDREICHEVA, M.N. BURAVSKAYA. FACIES SEPARATION OF THE HOLOCENE ALLUVIUM IN THE MIDDLE VYCHEGDA

The Holocene alluvium of the Middle Vychegda is investigated by a number of lithologic methods, including textural, granulometric, mineralogical and chemical analyses. The facies types of alluvial deposits, distinctly different in basic characteristics: structures of deposits, granulometric composition and content of heavy and clay minerals are ascertained. The differentiation of a clastic material in alluvial deposits, both in size, and mineral composition is revealed.

Key words: Holocene, alluvium, facies, texture, lithology, mineralogy, granulometry

Теоретическое и практическое изучение аллювия – одного из наиболее значимых и распространенных генетических типов континентальных осадочных образований, является важнейшей задачей геологии. Основной фактор образования аллювия – водные потоки, формирующие густую речную сеть. На территории исследований – в долине средней Вычегды – четвертичный аллювий до настоящего времени остается довольно слабо изученным, несмотря на то, что с ним связаны основные виды полезных ископаемых, включая питьевые воды и россыпные минералы. Кроме того, аллювиальные отложения являются основой для развития промышленности строительных материалов, а большинство месторождений песков приурочены к поймам или террасам рек. На основе выявления особенностей строения и состава аллювия восстанавливают палеогеографические, климатические и неотектонические обстановки его формирования, инженерно-геологические условия на объектах строительства.

Цель работы состояла в фациальном расчленении современного аллювия и установлении диагностических признаков фаций, выявлении закономерностей изменения вещественного состава, которые могут быть использованы при фациально-

генетическом анализе межледникового плейстоценового и более древнего аллювия. На данном этапе исследований аллювиальных отложений в наши задачи входило, в первую очередь, получение их литологической характеристики, поскольку структурные особенности и вещественный состав флювиальных осадков в регионе практически не изучены. Кроме того, важным представлялось выявить площадные и возрастные особенности аллювия, дифференциацию гранулометрического состава аллювиальных отложений в разрезе, а также характер распределения минералов в фациальном профиле.

Было проведено детальное комплексное исследование современного аллювия в среднем течении р. Вычегды на отрезке реки протяженностью около 100 км между деревнями Подтыбок и Небдино (см. рисунок), где представлены все фации аллювия. Общая мощность аллювиальных отложений составляет здесь до 10 м. В этом районе р. Вычегда течет в хорошо разработанной долине шириной от 3 до 6 км, сильно меандрируя, и представляет собой типичную равнинную реку, долина которой находится в состоянии динамического равновесия.

Весь комплекс современного аллювия р. Вычегды в соответствии со схемой Е.В. Шанцера и дру-

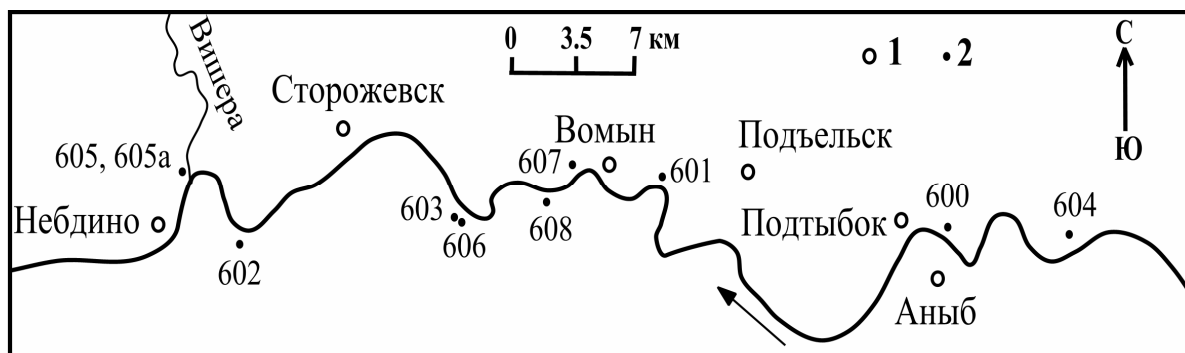


Схема расположения обнажений на средней Вычегде.
1 – населенные пункты, 2 – разрезы береговых обнажений.

гих исследователей [1-5] расчленен на три крупные группы фаций: русловую, пойменную и старичную. Русловая группа подразделяется на субфации при-стрежневого аллювия, прирусловой отмели и боковых протоков. В пойменной группе также выделяются несколько субфаций: прирусловых валов, приречной поймы, внутренней зоны поймы и вторичных пойменных водоемов. Старичные осадки подразделяются на озерно-речные и озерно-болотные. В разрезе современного аллювия р. Вычегды установлены все перечисленные выше субфации, тогда как в верхнем течении р. Вычегды [6] количество их сокращено: в русловой группе не отмечена субфация боковых протоков, а в пойменной – субфация вторичных пойменных водоемов. Литологические исследования показали, что отложения разных субфаций достаточно четко различаются по текстурно-структурным признакам и особенностям их веще-ственного состава.

Русловый аллювий

Пристрейневая субфация. Осадки при-стрежневой фации русла постоянно находятся под водой и поэтому изучены лишь по кернам буровых скважин. Чаще всего они слагают основания аллювиальных комплексов мощностью 2-5 м и подстилаются отложениями среднего плейстоцена. Представлены гравием, серыми и светло-серыми раз-нозернистыми песками с примесью гравия и мелкой гальки, преобладают средnezернистые пески. Сте-пень сортированности отложений (S_c) составляет 0.20-0.48, мелкозернистые пески сортированы зна-чительно лучше: $S_c=0.64$. В ряде скважин в подош-ве пристрейневых осадков залегает базальный го-ризонт аллювия, представленный гравийным пес-ком и гравием с обломками преимущественно оса-дочных пород. Обломки галечной и гравийной раз-мерности окатаны довольно слабо и представлены коричневыми, черными, голубовато-серыми и зеле-новато-серыми кремнями, жильным кварцем, пес-чаниками, кварцитами, изверженными породами, кварц-хлоритовыми и углисто-слюдистыми сланца-ми. Растительные остатки встречаются в виде крупных обломков. Песчано-алевритовая фракция сложена в основном кварцем и в меньшей степени полевыми шпатами и обломками пород. Из акцес-сорных минералов для отложений пристрейневой субфации аллювия характерен гранат, содержание которого составляет в среднем 40.4%, а в отдель-

ных пробах достигает 66.1% тяжелой фракции, средняя концентрация эпидота – 15.7%. Среди про-чих минералов присутствуют ставролит (5.9%), на-кианит и турмалин, приходится по 1.6%, на ильме-нит – 1.4%, на лейкоксен – 1.1%. Всего же в тяже-лой фракции, выход которой составляет в среднем 0.46%, установлено 22 минерала. Высокие содер-жания гранатов и амфиболов связаны, вероятно, с формированием пристрейневых осадков в значи-тельной степени за счет размыва вычегдской мо-рены, являющейся в этом районе рельефообра-зующей [7]. Глинистая фракция пород (менее 0.001 мм) сложена преимущественно иллитом с небольшой примесью хлорита и смешанослойных образований типа иллит-сметит. Кроме глинистых минералов присутствуют тонкодисперсный кварц, растительная органика, гидроксиды железа.

Субфация прирусловой отмели. Осадки прирусловых отмелей залегают обычно на при-стрежневых песках и связаны с ними постепенными переходами. Надводная часть отмелей в период межени представляет собой косы различных раз-меров, чаще пологие, довольно широкие, распо-ложенные на выпуклой части берегов. Прирусловые отмели сложены светло-серыми и серыми крупно- и средnezернистыми песками, иногда с прослоями алевритов, представляющих собой прослои заиле-ния на поверхности пологих отмелей и образуя-щихся в период межени. Текстуры отложений от-четливо слоистые: преобладает слоистость четкая косая (диагональная), пологоволнистая и косовол-нистая слоистость ряби течения и волнения. Ино-гда наблюдается мелкая нечеткая волнистая сло-истость эолового типа. Слоистость подчеркнута ско-плением растительного детрита и глинистого мате-риала на плоскостях напластования. Результаты гранулометрического анализа осадков прирусловых отмелей показывают, что они хорошо сортированы (средnezернистые пески имеют S_c , в среднем рав-ный 0.62, крупнозернистые пески сортированы ху-же: $S_c=0.49$). Из тяжелых минералов преобладают гранат (33.4%), а также минералы групп эпидота (21.2%) и амфиболов (15.6%). Ставролит составля-ет 9.8% тяжелой фракции, выход которой сущест-венно варьирует, иногда достигая очень высоких (15.4%) значений в пределах отмелей-кос, где в основном концентрируются тяжелые минералы. Из прочих минералов постоянно присутствуют ильме-нит (7.4%), турмалин (2.7%), циркон (2.1%), лейко-

ксен (1.9%). Растительные остатки представлены редкими обрывками древесных растений, корнями и стеблями трав и кустарников.

Субфация боковых протоков. На р. Вычегде развиты небольшие боковые протоки шириной до 30–50 м с довольно активным гидродинамическим режимом. Характерна косая слоистость, образованная мелкой рябью течения и подчеркнутая растительным детритом, а также скоплением глинисто-алевритового материала на плоскостях напластования. Отложения боковых протоков представлены мелкозернистыми, очень редко средне- и крупнозернистыми песками светло- и желтовато-серой окраски с 3-5-сантиметровыми прослоями глинистых алевритов. Гранулометрический состав песков по сравнению с субфациями основного русла Вычегды существенно тоньше ($d_{cp}=0.16$ мм), а степень сортированности отложений выше: в отдельных пробах S_c составляет 0.70–0.75, а среднее значение $S_c=0.65$. Выход тяжелой фракции равен 0.98%, преобладают минералы групп эпидота (36%) и граната (27.8%). Весьма существенны содержания пироксена (11.4%) и лейкоксена (6.4%), количество турмалина не превышает 4.4%.

Отложения русловой группы фаций слагают низы аллювиального комплекса общей мощностью до 7 м.

Пойменный аллювий

Субфация прирусловых валов. Отложения залегают непосредственно на осадках прирусловой отмели, являясь их продолжением, и одновременно слагают ядра пойменных гряд. Они выступают переходным звеном между русловым и пойменным аллювием. Сложены мелкозернистыми светло-серыми и серыми песками с косой и косоволнистой перекрестной слоистостью и алевритами с мелкой косой слоистостью ряби течения и пологой ряби волнения. Растительные остатки представлены корнями древесных растений и мелким детритом.

Субфация приречной поймы. Осадки приречной поймы с четким резким контактом залегают на отложениях прирусловой отмели, прируслового вала, либо на старичных отложениях. Представлены они ритмичным переслаиванием средне- и мелкозернистых светло-серых песков со слоистостью сложного типа, включая слоистость восходящей ряби, и серых и буровато-серых алевритов с горизонтальной и пологоволнистой слоистостью. Текстуры пойменных осадков являются текстурами сезонного типа, они обусловлены чередованием слоев разного гранулометрического состава и цвета. Алевриты содержат редкие линзочки и слойки бурой пластичной глины. Пески часто ожелезненны до яркого оранжево-красного и бурого цвета, содержат небольшую примесь алевритового и глинистого материала. Пески обычно тонкозернистые ($d_{cp}=0.15$ мм), хорошо сортированы ($S_c=0.72$), у отдельных образцов S_c достигает 0.90–0.95. Алевриты крупнозернистые ($d_{cp}=0.08$ мм), часто с примесью песчаного материала (до 40%), сортированы хуже песков ($S_c=0.50$). В группе тяжелых минералов, выход которых составляет в песках в среднем 0.76%, а в алевритах 0.28%, преобладают почти в равных количествах гранаты (26.5%), амфиболы (24.8%) и

эпидот (24.6%). Из прочих присутствуют турмалин (4%) и ставролит (2.5%), содержания циркона, титанита, лейкоксена и кианита практически одинаковы: по 1.8–1.9%.

Отмечаются редкие корни древесных растений и мелкий растительный детрит. Глинистые минералы представлены иллитом, смешанослойными образованиями типа иллит-сметит и весьма незначительной примесью каолинита и хлорита, а также тонкодисперсного кварца и растительной органики.

Субфация внутренней поймы. Осадки этой субфации часто перекрывают отложения приречной поймы и представлены серыми и бурыми алевритами, пронизанными корнями растений, суглинками пористыми с нечеткой пологоволнистой и мелкой косой слоистостью, либо комковатыми неслоистыми, в меньшей степени распространены пески. Отложения слабо сортированы: $S_c=0.36$. Характерны растительные остатки: корни трав, кустарников, листья, мелкий детрит. Отложения этой фации интенсивно переработаны почвенными процессами и превращены в луговые почвы. Часто они содержат мелкие железисто-марганцевые конкреции размером до 1 см и «пятна» концентрации гидроксидов железа. По этой причине в них повышены содержания оксидов железа и марганца. Из глинистых минералов отмечаются иллит и незначительная примесь каолинита.

Субфация вторичных водоемов поймы.

Вторичные водоемы поймы на р. Вычегде представлены небольшими лужами, как правило, к концу лета высыхающими. Поскольку генетически они связаны с поймой, то и отнесены к пойменным. Обычно осадки этой субфации лежат на собственно пойменных отложениях и представлены серыми, буровато- и темно-серыми глинами, алевритами, существенно реже – мелкозернистыми песками с примесью алеврита. Осадки имеют нечеткую горизонтальную и пологоволнистую слоистость либо неслоисты. Присутствуют обильный растительный детрит и листья.

Пойменные осадки обычно залегают на отложениях русла или старицы. В случае залегания на русловых осадках их мощность составляет до 3–3.5 м, а когда они перекрывают старичные отложения, мощность их не превышает 1–1.5 м.

Старичный аллювий

Озерно-речная субфация стариц сложена отложениями начальной стадии существования стариц, обычно представленными неслоистыми глинами, алевритами, мелкозернистыми песками с мелкой слоистостью сложного типа, часто ожелезненными. Характерна яркая окраска пород: голубовато-серая, зеленая, оранжево-красная. Глины нередко оглеены, содержат ярко-голубые вкрапления вивианита. Отложения, особенно глины и алевриты, слабо сортированы ($S_c=0.33$), пески сортированы лучше: среднее значение коэффициента сортировки S_c равно 0.53, в отдельных образцах S_c достигает 0.70. Из тяжелых минералов преобладают минералы группы эпидота (38.6%), амфиболов (23.2%), граната (14.2%), повышена концентрация ильменита (13.1%). Содержания турмалина и хромита равны – по 2.1%. Выход тяжелой фракции со-

ставляет в среднем 1.72%. В глинистой фракции преобладают смешанослойные образования иллит-сметитового состава с примесью хлорита. Результаты химического анализа глинистых осадков показывают повышенные содержания P_2O_5 в некоторых пробах, что связано, по-видимому, с присутствием фосфатов, микроскопически обнаруживающихся в виде вкрапленников белого (в свежей расчистке) и ярко-синего цветов. По-видимому, они могут быть отнесены к вивианиту и β -керчениту – продукту его окисления. Такие минералы отмечались также А.А.Лазаренко [8] в старичных осадках Оки, Десны и среднего Днепра.

Озерно-болотная субфация стариц представлена темно- и зеленовато-серыми до черных глинами и алевритами, обычно оглееными, массивными, комковатыми, иногда с нечеткой горизонтальной слоистостью, а также торфами, сформированными в зарастающих старицах. Отложения довольно плохо сортированы ($S_c=0.33$). Характерны насыщенность органическим веществом, вкрапления и гнезда фосфатов: белого вивианита и ярко-голубого β -керченита, и очень высокая карбонатность осадков (в отдельных образцах до 30%). Карбонаты присутствуют в виде сгустков, где их концентрация достигает 80%, и имеют, по результатам карбонатного и силикатного анализов, кальцитовый и железистый, точнее марганцево-железистый состав, так как в отложениях повышены содержания CaO , FeO и MnO . Состав глинистых минералов тот же, что и в отложениях озерно-речной фации. В осадках озерно-болотной субфации стариц повышены количества CO_2 , железа, фосфора. Высокие содержания железа связаны, вероятно, с наличием сидерита и фосфатов; на присутствие последних указывают и высокие содержания P_2O_5 .

Общая мощность старичных отложений до 3-4 м, залегают они на русловых и перекрываются пойменными осадками.

Заключение

В результате изучения современного аллювия р. Вычегды установлено, что выделенные выше фации четко различаются по основным характеристикам: текстуре отложений, органическим остаткам, степени карбонатности (минимальные содержания материала, растворимого в 10%-ной HCl , содержатся в осадках пристрежневой фации, максимальные – в старичных), по составу глинистой фракции. В русловых отложениях доминирует иллит с примесью хлорита; в пойменных осадках также преобладает иллит, но со значительной примесью смешанослойных минералов типа иллит-сметит и каолинита; для старичных осадков типичны смешанослойные образования: иллит-сметит, хлорит и каолинит. Отложения разных фаций различаются также по гранулометрическому составу и по составу тяжелых минералов. Наблюдается дифференциация обломочного материала в аллювиальных осадках как по крупности, так и по набору минералов. По направлению от русла вглубь поймы размер частиц отложений закономерно уменьшается, что обусловлено ослаблением гидродинамической активности половодного потока. Степень их сортированности также меняется: наиболее высокие

коэффициенты сортировки присущи осадкам приречной поймы ($S_c=0.72$), боковых протоков ($S_c=0.65$) и прирусловой отмели ($S_c=0.55$), низкие – отложениям пристрежневой фации ($S_c=0.39$), внутренней поймы ($S_c=0.36$), озерно-речным и озерно-болотным ($S_c=0.33$).

Анализ распределения тяжелых минералов в осадках разных фаций современного аллювия показал, что наиболее высокое содержание их отмечается в озерно-речной субфации стариц – 1.72%. В отложениях боковых протоков и приречной зоны поймы тяжелых минералов несколько меньше, соответственно 0.98 и 0.76%, а наиболее низкая их концентрация характерна для пристрежневого аллювия – 0.46%. Особо надо отметить вариации выхода тяжелой фракции в отложениях прирусловой отмели, иногда достигающего очень высоких (до 15.4%) значений в пределах кос, что связано главным образом с накоплением тяжелой фракции на отмелях-косах во время спада паводковых вод, где тяжелых минералов концентрируются больше всего в мелко-среднезернистых песках фракции 0.10-0.4 мм [9]. Что касается фациальной приуроченности тяжелых минералов, то можно отметить резкое преобладание граната в пристрежневом аллювии, составляющем в среднем 40.4% тяжелой фракции, и более низкую по сравнению с другими фациями концентрацию эпидота (15.7%). Отложения фации прирусловой отмели отличаются пониженными содержаниями амфибола (15.6%) и повышенными – ставролита (9.8%). В старичных осадках повышены значения эпидота (38.6%) и ильменита (13.1%) и понижено содержание граната (14.2%). Высокая концентрация эпидота и в субфации боковых протоков, где он составляет 36%. Здесь также аномально повышено содержание пироксена (11.4%).

Установленные особенности связаны с избирательным свойством тяжелых минералов концентрироваться в узкоразмерных гранулометрических классах, с их различной плотностью, а также формой минеральных зерен. Комплекс выявленных признаков осадков отдельных фаций и групп фаций можно считать диагностическим и использовать при проведении литолого-фациального анализа плейстоценовых и более древних аллювиальных отложений.

Исследования выполнены при частичной финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН № 14.

Литература

1. *Шанцер Е.В.* Аллювий равнинных рек умеренного пояса и его значение для познания закономерностей строения и формирования аллювиальных свит. М., 1951. 275 с. (Тр. ИГН АН СССР. Сер. геол.; Вып.55).
2. *Шанцер Е.В.* Некоторые общие вопросы учения о генетических типах отложений // Процессы континентального литогенеза. М., 1980. С. 5-27. (Тр. ГИН АН СССР; Вып.350).
3. *Холмовой Г. В.* Основы учения об аллювии // Труды НИИ геологии ВГУ. Вып. 38. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2006. 90 с.
4. *Чистяков А.А., Макарова Н.В., Макаров В.И.* Четвертичная геология. М.: ГЕОС, 2000. 303 с.

5. *Boggs S.J.* Principles of sedimentology and stratigraphy. Prentice Hall. Englewood Cliffs. New Jersey, 1995. 774 p.
6. *Буравская М.Н.* Литолого-фациальная характеристика современного аллювия Тимана и Притиманья (на примере рек Ижмы и Вычегды) // Литосфера, 2009. № 6. С.117-126.
7. *Андреичева Л.Н.* Питающие провинции и их влияние на формирование состава морен Тимано-Печоро-Вычегодского региона // Литология и полезные ископаемые, 1994. №1. С.127-131.
8. *Лазаренко А.А.* Литология аллювия равнинных рек гумидной зоны. М.: Наука, 1964. 236 с.
9. *Осовецкий Б.М.* Тяжелая фракция аллювия. Иркутск: Изд-во Иркутского ун-та, 1986. 259 с.

Статья поступила в редакцию 29.04.2011.

УДК 553.982

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НЕФТЕДОБЫЧИ В РЕСПУБЛИКЕ КОМИ

А.В. ФРИДМАН*, Н.Н. ТИМОНИНА**

**Министерство развития промышленности, транспорта и связи Республики Коми, г.Сыктывкар*

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

Oil.minprom@rkomi.ru

Рассматривается состояние нефтедобычи в Республике Коми, анализируются факторы, определяющие перспективы наращивания добычи нефти в регионе. На Тимано-Печорскую провинцию в нефтегазовом потенциале России приходится 4,9% по нефти. Республика Коми, территориально занимающая юг Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, является старым нефтедобывающим районом, но у нефтедобывающей промышленности республики есть потенциальная возможность не только поддерживать достигнутый уровень добычи нефти, но и наращивать его.

Ключевые слова: нефтегазоносная провинция, лицензирование, добыча нефти, запасы нефти

A.V. FRIDMAN, N.N. TIMONINA. PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF OIL PRODUCING INDUSTRY IN THE REPUBLIC OF KOMI

The condition of oil producing industry in the Republic of Komi is considered, factors defining prospects of oil production increasing in the region are analyzed. In oil and gas potential of Russia the Timan-Pechora province has 4,9% in oils. The Republic of Komi territorially occupying south of the Timan-Pechora oil and gas province, is an old oil producing region, however the oil producing industry of the republic has potential possibility not only to sustain the reached level of oil production, but also to increase it.

Key words: oil and gas bearing province, licensing, oil deposit, resources

Перспективы и проблемы развития нефтедобычи неоднократно становились объектом пристального внимания специалистов, причины этого кроются не только в том, что нефтегазовый комплекс продолжает оставаться гарантом экономической и энергетической безопасности страны, но и в том, что этот комплекс испытывает серьезные проблемы в последние годы [1–3].

Теоретической и методологической основой исследования являются работы отечественных и зарубежных специалистов в области недропользования, экономической теории, сбалансированного природопользования, разработки месторождений углеводородного сырья. В качестве основного методологического принципа применен комплексный системный подход к исследованию проблем эффективности недропользования. Использованы методы обобщения и научного анализа теоретических и прикладных разработок проблем комплексного освоения недр и использования углеводородов, функционирования и развития предприятий нефтегазового комплекса, а также методы статистики, экономического анализа, экспертных оценок.

Работа выполнена на основе анализа и обобщения аналитической и статистической информации о деятельности предприятий нефтегазового комплекса Республики Коми. В статье приводятся данные, полученные в ходе обобщения результатов работы

нефтегазового комплекса в период с 2004 по 2010 гг. и прогноз на перспективу до 2020 г.

Нефтегазовый комплекс остается одной из доминирующих отраслей промышленности экономики Республики Коми. Объем промышленной продукции по отгруженным товарам собственного производства по комплексу в общем производстве промышленности по Республике Коми ежегодно увеличивался с 50,4% (102,6 млрд. руб.) в 2005 г. до 60,7 – в 2010 г. и достиг 172,43 млрд. руб. за счет повышения цены реализации нефти.

Целью развития нефтегазовой отрасли Республики Коми является обеспечение устойчивого роста добычи нефти и газа на основе рационального, комплексного и эффективного использования запасов месторождений углеводородного сырья, повышение конкурентоспособности продукции нефтегазового комплекса на основе рационализации его технологической и товарной структуры.

Приоритетными направлениями развития нефтегазовой отрасли Республики Коми являются:

- комплексная разработка месторождений по добыче нефти и попутного газа;
- рациональное и эффективное использование нефтяных месторождений на основе разработки и применения передовых технологий;
- повышение эффективности использования попутного нефтяного газа;

- воспроизводство минерально-сырьевой базы НГК, обеспечивающее компенсацию отбора УВ-сырья необходимым приростом запасов;

- сохранение экологической безопасности при разработке и освоении нефтяных и газовых месторождений.

Пиком развития и расцвета нефтяной промышленности в нашем регионе стали 1980-е гг., когда с выходом на север Тимано-Печорской провинции был достигнут максимальный уровень добычи нефти – 19,2 млн. т. После падения объемов добычи в середине 1990-х гг. в последние годы отмечается увеличение добычи нефти. За всю историю промышленной разработки накопленная добыча углеводородного сырья в Республике Коми превысила 1017,2 млн.т условного топлива, в т.ч. нефти 496,7 млн.т. За эти годы в республике открыто более 150 месторождений углеводородного сырья, получили развитие не только добывающая отрасль, но и перерабатывающая, а также транспорт углеводородного сырья.

Большинство разрабатываемых на территории Республики Коми нефтяных месторождений характеризуется высокой степенью выработанности, поэтому главным направлением поддержания и развития нефтедобычи в республике является освоение новых месторождений и ввод новых залежей нефти на уже разрабатываемых площадях [4].

Система освоения и разработки углеводородов в нашей стране в целом, и в Республике Коми, в частности, была сопряжена с чрезвычайно высокими темпами выработки уникальных месторождений. В этой ситуации средние и мелкие месторождения почти не были затронуты разработкой (и, соответственно, не были подготовлены необходимые для этого научные и технологические заделы).

Начиная с середины 1990-х гг. произошли изменения отношений собственности (в форме приватизации) в нефтегазовом секторе. В рамках процесса приватизации и создания нефтегазовых компаний акцент был сделан на вертикальную интеграцию технологически связанных производств. В то же время процесс реорганизации и приватизации не был синхронизирован с формированием соответствующей системы норм и правил, регулирующих сферу недропользования. В результате нефтегазовый сектор оказался поделенным между крупными вертикально интегрированными компаниями, имеющими свои корпоративные представления о том, как им распоряжаться полученными на период действия лицензий недрами. Крупные компании в отличие от малого и среднего бизнеса, осуществляющего в основном локальные проекты, ведут собственную (часто глобальную) политику, прежде всего за счет централизации финансовых потоков и регионального размещения капиталовложений (они не обязаны реинвестировать свой доход ни в России, ни в регионе) [5]. В современных условиях крупные компании начинают определять развитие региона и тем самым задавать такую направленность формирования, в какой они считают нужным это делать (особенно при наличии мягких институциональных условий).

В настоящее время большая часть территории Республики Коми находится в распределенном

фонде: залицензированные площади составляли 31,8% от всей территории республики [6].

В Республике Коми зарегистрирована 71 организация-недропользователь, которые владеют 215 лицензиями на геологическое изучение, поиски, разведку и добычу углеводородного сырья.

Добыто из недр 56% разведанных запасов углеводородов промышленных категорий, в т.ч. 45% нефти и 74 – газа.

Добыча нефти, включая газовый конденсат, на территории Республики Коми, тыс. т

2004 г.	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.
10262,6	11204,2	11601,5	12319,6	13344,3	13415	13041

Как следует из анализа результатов деятельности НГК, период с 2000 по 2009 г. характеризовался стабильным ростом объемов добычи нефти, обеспеченным в основном за счет ежегодного ввода в разработку мелких по запасам месторождений (за восемь лет введено в разработку более 30 месторождений) и вовлечением новых запасов углеводородов за счет бурения эксплуатационных скважин на разрабатываемых залежах. В 2010 г. на территории Республики Коми было добыто 13,041 млн. т нефти с газовым конденсатом. По сравнению с 2009 г. объемы добычи нефти сократились на 2,8%.

Анализ ситуации свидетельствует о том, что основными причинами снижения уровней добычи нефти явились: невыполнение предусмотренных проектными документами на разработку объемов эксплуатационного бурения, отставание сроков ввода объектов поддержания пластового давления, подготовки нефти, запаздывание по срокам ввода в разработку новых площадей.

Специфика нефтяной отрасли требует для поддержания достигнутого уровня добычи непрерывного вовлечения в разработку новых запасов углеводородов. В связи с этим объемы эксплуатационного бурения, выполненные в 2009 г., определяют уровни добычи на несколько последующих лет.

Дефицит средств у предприятий, образовавшийся в результате экономического кризиса, явился причиной свертывания капиталоемких производственных программ, таких как бурение новых скважин, капитальные ремонты скважин и промышленного оборудования, обустройство месторождений, проведение геолого-технических мероприятий по выполнению проектных показателей, что отразилось на объемах добычи нефти.

ЗАО «Чедтый нефть», ООО «ЮС», ООО «Нефтегазпромтех», ООО «Вест Ойл», ООО «Тэбук» и ООО «Мичаюнефть», в 2009 г. приостановившие разработку месторождений, до сих пор не возобновили добычу нефти.

Предприятиям, входящим в группу ООО «ЛУКОЙЛ-Коми», на долю которого приходится 70% от общего объема добычи нефти на территории республики, в 2010 г. удалось удержать добычу на уровне 2009 г.

Избежать резкого падения добычи нефти в настоящее время удалось благодаря работе нефтяных компаний ОАО «Комнедра», ЗАО «Колванефть», ООО «Диньельнефть», ООО «Речер-Коми», ООО «ПЭК», обеспечивших в 2011 г. рост

объемов добычи. Прирост добычи нефти обеспечен, в основном, за счет бурения новых эксплуатационных скважин и проведения большого объема геолого-технических мероприятий, направленных на интенсификацию работы скважин и увеличение нефтеотдачи пластов.

Увеличение объемов добычи нефти возможно двумя путями: за счет открытия новых месторождений и внедрения современных методов нефтеотдачи.

Как показывает опыт, первый путь требует значительных затрат на проведение поисково-разведочных работ, поскольку фонд подготовленных структур требует постоянного обновления. Объективно, потенциал для развития минерально-сырьевой базы территории республики имеется, однако для его реализации необходимы значительные инвестиции в геологоразведочные работы [7].

Основной задачей геологоразведочных работ, по нашему мнению, следует считать оценку потенциальных ресурсов новых территорий как основу для выявления зон нефтегазоаккумуляции, перевод ресурсов категории D_2 в D_1 и более высокие категории – создание основ для проведения поисковых работ.

Для этого в новых районах планируется выполнение значительных объемов региональных работ – проведение сейсмических работ по региональной сети профилей и бурение параметрических скважин [8]. В первую очередь, это изучение складчато-надвиговых зон Западного Урала, на основе которых возможно увеличение ресурсной базы РК за счет расширения перспективных земель и перевод нелокализованных ресурсов категории D_2 в более высокие категории, изучение глубоких горизонтов Тимано-Печорской провинции. С проведением региональных работ мы опоздали, как минимум, на пять лет, в 2011-2015 гг. они должны были полностью завершены, чтобы создать базу для поисковых работ в 2016–2020 гг.

В соответствии с «Программой развития и использования минерально-сырьевой базы Республики Коми на 2006–2010 гг. и на период до 2015 г.» проводились региональные работы, поисково-оценочные и детальные исследования по воспроизводству запасов УВС как в районах нефтегазодобычи, так и в слабоизученных районах, удаленных от центров нефтегазодобычи, с целью выявления новых крупных зон нефтегазоаккумуляции и подготовки новых центров нефтегазодобычи.

Объемы глубокого бурения с 2005 по 2010 г. составили 216,281 пог. км. Отработано 11889,2 пог. км сейсмопрофилей 2D и 5038,46 км² – 3D. Объемы бурения в 2010 г. по отношению к 2009 г. сократились на 5%, затраты снизились на 12%. Объемы поисковых сейсмических исследований 2D снизились на 53% и исследования 3D увеличились на 26% (см. таблицу).

В последние годы прирост запасов УВ превысил 250 млн. т условного топлива. Были открыты месторождения, среди которых Баяндыское, Западно-Хатаяхское-II, Северо-Югидское, Осваньюрское, Восточно-Каджеромское, Южно-Сотчемьюское, Южно-Зверинецкое – нефтяные, Изъель-Петровское газонефтяное, Среднеседельское и Сускинаельское – газовые и другие.

Объемы сейсмических исследований и глубокого бурения

	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.
Затраты на ГРП, млн. руб.	3108,16	4446	4965,7	6891,0	4881	4274,2
Виды и объемы работ в физическом выражении						
Сейсмические исследования 2D, пог. км	1467,5	2923,2	2269,88	1945,9	2227,7	1055
Сейсмические исследования 3D, кв. км	1011,27	815,69	702,8	1181,5	985,5	1241,7
Объемы глубокого бурения, пог. м	41740	39185	41882	51885	21385	20204

Значительный прирост запасов получен на разрабатываемых месторождениях в ходе доразведки. Однако анализ структуры прироста запасов не позволяет говорить о высокой эффективности геологоразведочных работ в целом, поскольку большая часть прироста запасов (132 млн. т) нефти составляет перевод запасов из геологических в извлекаемые за счет изменения коэффициента извлечения нефти (КИН) по Усинскому месторождению тяжелой нефти (ООО «ЛУКОЙЛ-Коми»). Значительная часть прироста (102 млн. т извлекаемых запасов) приходится на Нижнечутинское месторождение нефти с практически непромышленными запасами. Прирост запасов УВ по месторождениям в результате разведочных работ практически соответствует списанию запасов углеводородов (за счет переоценки) по месторождениям.

Это свидетельствует о недостаточном объеме финансирования геологоразведочных работ, что обусловлено не только разразившимся кризисом, но и отсутствием заинтересованности со стороны государства [8]. Необходимо обязательное государственное финансирование, поскольку крупные компании-недропользователи концентрируют свои работы в двух направлениях – доразведке ранее выявленных месторождений и оценке перспективных объектов, находящихся на небольшом удалении от выявленных месторождений.

Как считает большинство специалистов, государство не должно уходить от ответственности за воспроизводство запасов, оно должно взять на себя финансирование поисковых и разведочных работ до выявления ресурсов категории C_3 , только после этого участки должны выставляться на аукцион. Это значительно снизило бы риски недропользователей, поскольку им предстоят еще самые капиталоемкие работы – глубокое бурение [2].

Вложение крупных республиканских инвестиций в геологоразведку будет способствовать значительному росту объемов работ нефтяными компаниями, а в целом: опережающему росту прироста запасов по сравнению с добычей углеводородов.

Необходимо отметить, что в связи с дефицитом средств, недостаточно внимания уделяется вопросам рационального использования запасов нефти. Как уже было сказано, увеличения объемов

добычи нефти можно добиться не только открытием новых зон нефтенакопления, но и широким применением методов повышения нефтеотдачи.

Последнее направление, отданное на откуп компаниям, до сих пор не получило должного развития в части определения роли и места государства в этом вопросе. Необходимо сформировать критерии недропользования, не допускающие выборочную отработку запасов, ведущую к существенному снижению нефтеотдачи. Назрела необходимость формирования комплекса экономических стимулов, побуждающих недропользователей применять технологии повышения нефтеотдачи, формирования структуры государственного управления и контроля за рациональным использованием запасов углеводородного сырья, способных разработать и реализовать механизм стимулирования и обязательного применения передовых методов повышения нефтеотдачи [9].

За последнее время предприятиями выполнен большой объем работ по вводу скважин из простаивающего фонда, капитальному ремонту систем сбора нефти и газа, проведены геолого-технологические мероприятия, направленные на повышение нефтеотдачи продуктивных пластов.

Сложившаяся в отрасли ситуация свидетельствует о том, что можно рассчитывать на достижение более высоких уровней добычи только в случае повсеместного применения технологий, способных существенно повышать степень извлечения запасов, в основном это уплотнение сетки скважин, бурение горизонтальных и многозабойных скважин, зарезка боковых стволов, использование при заводнении полимеров и загущенной жидкости, применение большого ряда физико-химических методов, тепловое воздействие на пласт. Это потребует от предприятий-недропользователей значительных затрат (рис.1).

нефти. В республике большое внимание уделяется состоянию разработки залежей высоковязкой нефти, запасы которой составляют существенную часть в общем балансе запасов разрабатываемых месторождений.

Нефтяниками Коми накоплен огромный опыт по исследованию и решению проблем, связанных с разработкой залежей аномально вязких нефтей, в первую очередь по применению тепловых методов в результате закачки в пласты пара. Благодаря этому удалось повысить нефтеотдачу пласта на Ярегском месторождении в девять-десять раз, на пермокарбонной залежи Усинского месторождения в два-три раза по сравнению с традиционными методами. Отработка и освоение новых технологий ведутся на специальных опытно-промышленных полигонах.

К числу приоритетных направлений в Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции относится развитие Ярегского нефтетитанового комплекса. Главной задачей реализации инвестиционной программы по Яреге является кратное увеличение объемов добычи нефти: с 640 тыс. т в 2008 г. до 1 млн. 700 тыс. т в 2016 г. Для того, чтобы выйти на этот рубеж нужно реализовать сразу несколько глобальных проектов.

Необходимо существенно нарастить объемы проходки горных выработок. Значительные объемы бурения требуют кардинального совершенствования технологии и применения нового оборудования. На ближайшую перспективу Ярега останется настоящим полигоном внедрения современных технологий нефтедобычи термощахтным способом. Но этим дальнейший поиск эффективной разработки уникального месторождения не ограничивается. Активно продолжается эксперимент по добыче с поверхности.

Программой предусматривается строительство современной установки подготовки нефти, а также мощного энергоблока с целью выработки дополни-

тельных объемов пара для разогрева вводимых площадей. Требуется решить целый комплекс задач для транспортировки значительно возросших объемов нефти. Проектные решения кардинально отличаются от прежних схем. Предполагается строительство трубопровода с теплоизоляционным покрытием протяженностью 42 км от Яреги до НПЗ, где после реконструкции, направленной на увеличение глубины переработки, ярегская нефть будет перерабатываться.

Планируемый рост объемов добычи нефти на территории республики может быть обеспечен

вводом в эксплуатацию новых месторождений, в частности, ряда месторождений, расположенных в Денисовской впадине, Ижма-Печорской синеклизе.

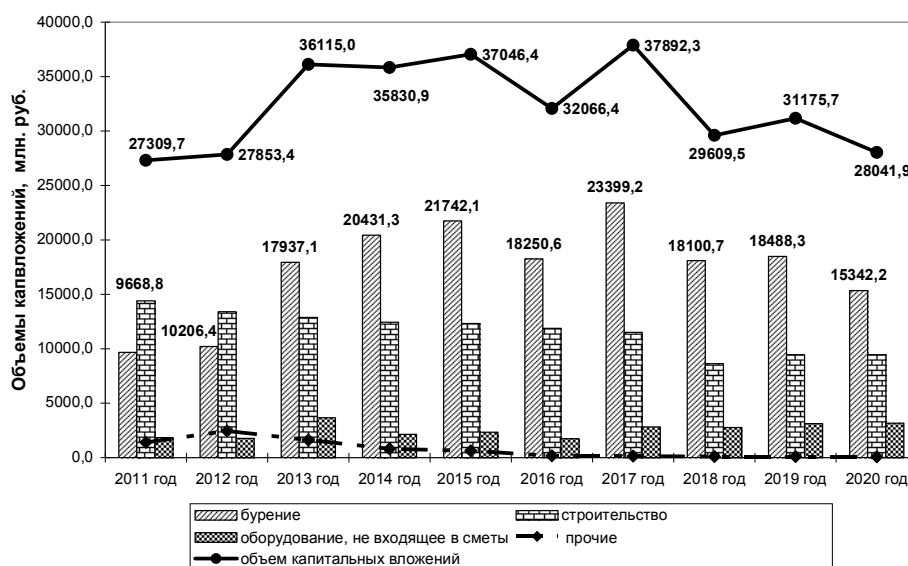


Рис. 1. Планируемые объемы капитальных вложений.

На укрепление нефтегазового комплекса направлено внедрение новых технологий, ориентированных на повышение коэффициента извлечения

На увеличение объемов добычи направлено бурение эксплуатационных скважин, в соответствии с планами компаний максимум эксплуатационного бурения ожидается в 2017 г. (рис. 2). Благодаря вводу новых скважин в количестве 169 ед., дополнительная добыча нефти достигнет 1427,9 тыс. т.

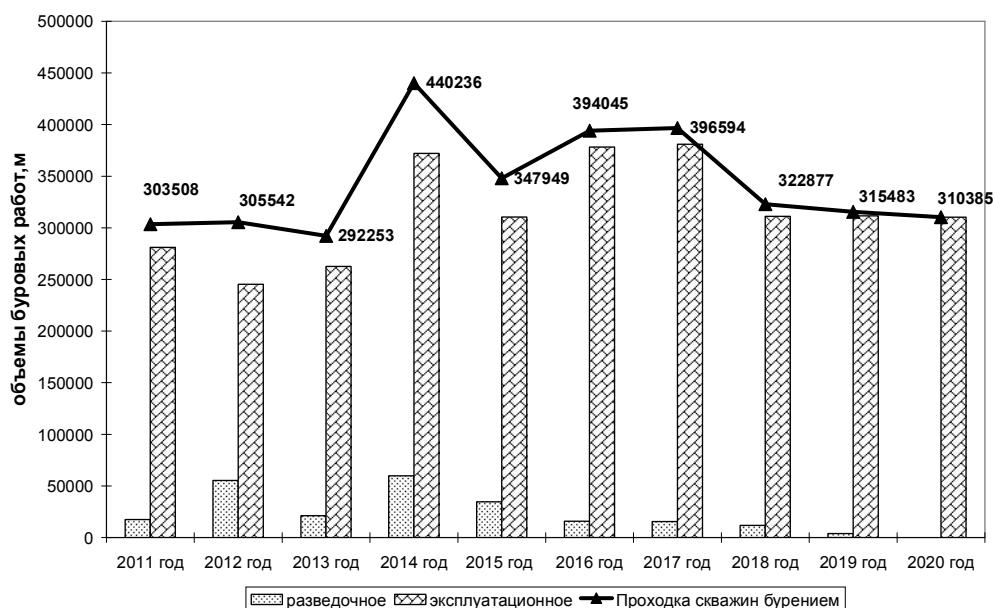


Рис. 2. Планируемые объемы глубокого бурения.

При выборе методических подходов к прогнозированию авторы опирались как на формализацию ранее имевших место процессов, так и на количественную оценку основных параметров, определяющих скорость и направление развития нефтегазового комплекса.

В основе данного исследования лежат материалы проектных технологических документов на разработку месторождений углеводородов, разработанных в соответствии с методическими рекомендациями по проектированию разработки нефтяных и газонефтяных месторождений (утверждены Приказом МПР России от 21.03.2007 г. № 61) и методическими рекомендациями по оценке эффективности инвестиционных проектов (от 21.06.1999 г. № ВК 477) и реализуемыми более чем 20 предприятиями нефтегазового комплекса Республики Коми. Базовые положения проектных технологических документов послужили основой для разработки производственных программ предприятий нефтегазового комплекса Республики Коми на среднесрочную перспективу и стратегии развития нефтегазового комплекса республики до 2020 г.

В качестве сценарных условий были приняты действующая система налогообложения, текущие цены на нефть на внутреннем и внешнем рынке. Для расчета экономических показателей использованы действующие методические положения, основанные на расчете и анализе чистого денежного потока, генерируемого для различных исходных данных по капитальным вложениям, эксплуатационным затратам и объемам реализации продукции.

При условии выполнения предприятиями отрасли производственных программ и планов геологоразведочных работ, можно прогнозировать рост добычи нефти на территории республики (рис. 3). В этом случае мы можем рассчитывать на развитие отрасли по оп-

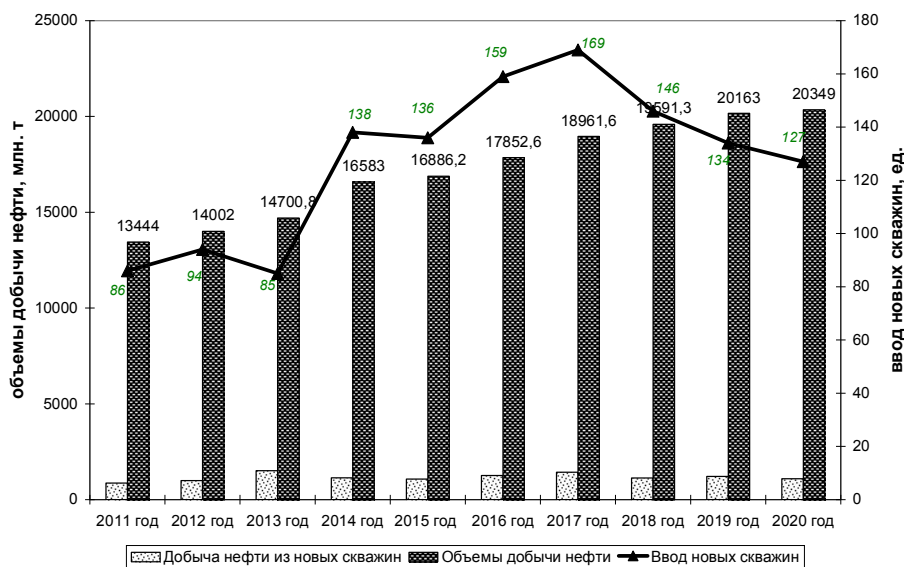


Рис. 3. Динамика добычи нефти на территории Республики Коми (оптимистичный сценарий развития).

тимистичному варианту, когда объемы добычи нефти к 2020 г. могут превысить отметку 18 млн. т.

В случае невыполнения предприятиями производственных программ, развитие добычи нефти может пойти по «консервативному» сценарию, в этом случае объемы добычи к 2020 г. едва достигнут 15 млн. т.

Сложившаяся ситуация в динамике добычи нефти и воспроизводстве запасов требует объективной оценки и принятия решений уже сегодня, пока благоприятная обстановка на мировом рынке

позволяет маневрировать и иметь резерв для подготовки минерально-сырьевой базы. Определение государственной стратегии, детальный анализ потенциала Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, оценка эффективности вовлечения его в оборот путем непосредственного участия государства и координации действий компаний, позволило бы говорить о перспективах роста и поддержания добычи нефти. Государство должно напрямую воздействовать на компании: предоставляя каникулы по уплате НДС на срок окупаемости проектов разработки. Разработчиков месторождений, находящихся на поздней стадии, оно должно стимулировать к повышению нефтеотдачи пластов за счет применения методов увеличения нефтеотдачи – одного из самых эффективных, но дорогих направлений увеличения воспроизводства.

Литература

1. *Ледовских А.А.* Основные результаты работ Федерального агентства по недропользованию в 2009 г. и приоритетные задачи на 2010г. // Геология нефти и газа, 2010. № 3. С. 4-7.
2. *Муслимов Р.* Нефтяной отрасли нужны коренные реформы // Нефть и капитал, 2010. №4. С. 26-30.
3. *Орлов В.П.* Государство и недропользование // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление, 2001. №2. С.29-33.
4. *Топливный сектор Республики Коми: направления и методы регулирования развития/* Отв.ред. В.Н. Лаженцев. Сыктывкар, 2002. 416 с.
5. *Татаркин А.И., Романова О.А.* Промышленная политика и механизмы ее реализации: Системный подход // Экономика региона, 2007. № 3 С. 19-31.
6. *Стратегия развития минерально-сырьевой базы углеводородов/А.П.Боровинских, В.И.Гайдеек, Л.З.Аминов, Н.Н.Тимонина и др.* // Горный журнал, 2007. № 3. С. 52-56.
7. *Методология и практика геолого-экономической оценки краевых систем древних платформ/Л.З.Аминов, М.Д.Белонин, В.И.Богацкий и др.* С.-Петербург: ВНИГРИ, 2000. 311 с.
8. *Прищепина О.М.* Современные проблемы подготовки запасов углеводородов в регионах наращивания разведанной сырьевой базы // Минеральные ресурсы России: Экономика и управление, 2009. №3. С. 6 -15.
9. *Конторович А.Э., Садовник П.В.* Состояние сырьевой базы углеводородов и перспективы развития нефтяной и газовой промышленности России // Недра России, 2002. № 7 (114). С. 1-6.

Статья поступила в редакцию 02. 08. 2011.

УДК 539.21:544.22:548.5:549

КВАТАРОННАЯ КОНЦЕПЦИЯ: ОСНОВНЫЕ ИДЕИ И НЕКОТОРЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

А.М. АСХАБОВ

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

Изложены основные идеи, на базе которых сформировалась кватаронная концепция кластерной самоорганизации вещества на наноуровне. В рамках кватаронной концепции разработаны новые теоретические модели зарождения и роста кристаллов, образования наночастиц, фуллеренов, наноструктурированных материалов. Указано на междисциплинарный характер новой концепции, на ее роль в решении задач смежных наук и нанотехнологий.

Ключевые слова: кластеры «скрытой» фазы, кватароны, зарождение и рост кристаллов, фуллерены, наноструктурированные материалы, минералоиды

A.M. ASKHABOV. QUATARON CONCEPT: THE MAIN IDEAS AND SOME APPLICATIONS

The main ideas on which base the quataron concept of substance cluster self-organization at nano-level are given. In the frames of quataron concept the new theoretical models of nucleation and growth of crystals, formation of nanoparticles, fullerenes, nano-structured materials are developed. The interdisciplinary character of the new concept, its role in the solution of problems of interdisciplinary sciences and nano-technologies is shown.

Key words: clusters of “hidden” phase, quatarons, nucleation and crystals growth, fullerenes, nano-structured materials, mineraloides

Введение

Исследование природы и строения вещества на наноуровне, разработка технологии получения нанокристаллических материалов в настоящее время относится к числу фундаментальных научных проблем, к решению которых приковано внимание большого числа физико-химических, материаловедческих и минералогических лабораторий мира.

В последние годы нами развивается комплекс научных идей и положений, касающихся процессов и механизмов кластерной самоорганизации вещества на наноуровне, получившей название «кватаронная концепция» [1-12].

Ключевым положением новой концепции является существование в неравновесных условиях специфических кластеров нанометровых размеров – кватаронов.

Как показывает наш опыт, кватаронная концепция является эффективным инструментом для решения весьма широкого круга проблем, связанных с образованием различных наночастиц, кристаллических зародышей, формированием кристаллических и некристаллических материалов.

В данной работе обобщаются результаты исследований свойств кватаронов, их роли в зарождении и росте кристаллов, образовании фуллеренов, в генезисе жидких фаз воды, формировании наноструктурированных природных и искусственных материалов.

Особо указывается на междисциплинарное значение кватаронной концепции, на возможную ее

роль в решении задач не только кристаллографии и минералогии, но и физики, химии, материаловедения и нанотехнологий.

Кватароны и их свойства

Пути образования нанокластеров, как и любых других твердых наночастиц и соответственно состоящих из них ультрадисперсных материалов, ограничены. Они могут образоваться или в результате последовательного уменьшения размеров составляющих частиц с выходом их на нанометровый уровень (путь сверху) или в процессе фазового перехода из жидкого или газообразного состояния в твердое с образованием наночастиц (путь снизу). Однако классическая теория образования зародышей новой фазы непригодна для описания реальных процессов структурирования вещества на наноуровне. В предложенной в качестве альтернативы кватаронной концепции образование зародышей новой фазы происходит на основе особых кластеров – кластеров «скрытой» фазы или кватаронов [10].

Формально подход к описанию процесса зарождения частиц новой фазы в кватаронной концепции практически не отличается от классического. Как и в классической теории, зарождение новой фазы рассматривается как процесс, требующий определенных энергетических затрат. При этом дополнительно принимается во внимание возможность существования электрического заряда на образующихся частицах новой фазы и зависимость удельной поверхностной энергии от радиуса частицы.

Так энергия образования кластера, состоящего из n частиц, обычно выражается следующим образом:

$$\Delta G = S\gamma - n\varepsilon, \quad (1)$$

где S – поверхность кластера, γ – удельная поверхностная энергия, ε – энергия, приходящаяся на одну частицу (энергия связи). Для сферического электрически нейтрального кластера с учетом зависимости γ от радиуса кривизны r выражение (1) приобретает следующий вид:

$$\Delta G = 4\pi r^2 \gamma_0 \left(1 - \frac{2\delta}{r}\right) - \frac{4}{3}\pi r^3 \frac{N}{V_m} \varepsilon, \quad (2)$$

где γ_0 – удельная поверхностная энергия для плоской границы раздела фаз, N – число Авогадро, V_m – мольный объем, параметр δ появляется при введении поправки на кривизну поверхности в зависимости от удельной поверхностной энергии.

В данной работе для зависимости γ от r используется выражение

$$\gamma = \gamma_0 \left(1 - \frac{2\delta}{r}\right), \quad (3)$$

близкое по форме к тому, что было обосновано в работе Х.Райса [13] в рамках теории масштабных единиц. Однако параметр δ здесь толкуется как минимальное расстояние, на которое могут приблизиться атомы кластера и окружающей фазы без установления связей между ними. Он имеет величину, примерно равную диаметру кластерообразующих атомов (или структурных единиц) [6]. Для неорганических соединений и минералов значение δ находится в пределах $0.22 \div 0.36$ нм.

Для критического кластера, определяемого из условия $\partial \Delta G / \partial r = 0$, имеем:

$$\varepsilon = \frac{2\gamma_0 V_m}{rN} \left(1 - \frac{\delta}{r}\right). \quad (4)$$

Отсюда следует, что $\varepsilon > 0$, только при $r > \delta$.

Подставив выражение (4) в (2), получим для энергии образования кластера:

$$\Delta G = \frac{4}{3}\pi r^2 \gamma_0 \left(1 - \frac{4\delta}{r}\right). \quad (5)$$

Формула (5) отличается от классической формулы Гиббса тем, что допускает возможность безактивационного ($\Delta G \leq 0$) образования кластеров, радиус которых $r \leq 4\delta$. Это и есть кластеры, которые мы называли кластерами «скрытой» фазы или кватаронами.

С учетом выражения (3) претерпевает изменения и формула, связывающая пересыщение с радиусом кластера. Модифицированная формула Гиббса-Томсона для растворов имеет вид:

$$\ln \frac{c}{c_0} = \frac{2\gamma_0 V_m}{RT} \left(1 - \frac{\delta}{r}\right), \quad (6)$$

где R – универсальная газовая постоянная, T – температура.

Из этой формулы, в частности, следует принципиально важное следствие – даже в условиях нулевого пересыщения в растворах возможно образование кластеров, радиус которых равен δ .

Число атомов в них обычно составляет от 4 до 8. В предельном кватароне радиусом 4δ содержится несколько сотен атомов.

При выводе формул (5) и (6) мы не делали никаких предположений о природе образующихся кластеров. Они рассматривались лишь как группа связанных атомов или молекул. На самом деле кватароны представляют собой кластеры переходного состояния вещества, отличного от традиционных агрегатных состояний. Такое состояние вещества характерно только для наномира. По существу мы имеем дело с особым (кватаронным) состоянием вещества – новой формой атомно-молекулярной организации.

На размерной шкале в интервале от δ до 4δ существует серия кластеров (кватаронов), отличающихся размерами, структурой, свойствами и степенью устойчивости. На их основе формируются все другие типы наночастиц.

Кватароны как неравновесные объекты способны к самоорганизации и саморазвитию. При полной реализации валентности (ковалентных взаимодействиях между образующими кватароны атомами) они могут превратиться в большие молекулы, а при установлении трехмерной упорядоченности (расположении атомов по законам решетки) – в кристаллические наночастицы.

При минимизации энергии и оптимизации их геометрии на основе кватаронов формируются всевозможные равновесные структуры вещества на наноуровне, начиная от обычных тетра- или октаэдрических группировок до широко известных фуллеренов, либо плотных додекаэдрических или икосаэдрических кластеров, а при их агрегации – иерархические, коллоидные частицы и фрактальные образования.

В каждый момент времени кватароны могут иметь достаточно непредсказуемую геометрическую конфигурацию. Но в любом случае форма их близка к сферической, а в полиэдрической интерпретации – это обычно икосаэдрические или подобные им, но динамические структуры, которые в первом приближении аппроксимируются сферой. Интересно, что сферодизация кватаронов, радиус которых меньше 2δ , обусловлена их раздуванием, а при $r > 2\delta$ это происходит из-за возникающих сжимающих усилий (лапласово давление).

К сожалению, наши представления о топологии и динамике структуры кватаронов несут в значительной степени умозрительный характер. Избавиться от этого можно будет с развитием методов фемтосекундной спектроскопии, когда станут возможными экспериментальные наблюдения временной эволюции внутренней структуры кластеров. В этом плане заслуживают внимания пионерские исследования А.Зивейла [14] по динамике образования небольших молекул из отдельных атомов, отмеченные Нобелевской премией.

Что касается связей между частицами в кватаронах, то, несмотря на переменчивость, сохраняется их преимущественно вандерваальсовый характер. От обычных молекулярных комплексов они отличаются повышенными энергиями («возбужденные комплексы или ассоциаты», «активированные комплексы»). Кроме того, для кватаронов важны не

только парные, но и многочастичные взаимодействия. В них длины связей и углы между частицами меняются в значительных пределах. Все это делает кватароны объектами повышенной реакционной способности и структурной мобильности.

Кватаронный механизм образования и роста кристаллов

Проблема образования кристалла легко решается при геометрической интерпретации кватаронов в терминах систем Делоне, или (R, r) систем [1, 11]. Действительно, расположение атомов в кватаронах не фиксировано. Однако атомы в таком кластере-кватароне не могут удалиться на значительные расстояния друг от друга (расстояние R в системе Делоне) и приближаться друг к другу ближе некоторого расстояния (расстояние r). Таким образом, кватароны могут рассматриваться как конечные куски системы Делоне, так же как кристаллические зародыши — это конечные куски бесконечных кристаллических структур (правильных систем). Кристаллы, как известно, являются частным случаем (R, r) систем, для их образования необходима и достаточна локальная правильность в пределах области, равной шару диаметром $4R$ (локальная теорема) [15]. В некоторых работах [16] утверждается, что радиус этой области равен $6R$. Поскольку параметр δ практически тождественен расстоянию R в кватароне (максимальное расстояние, на которое могут удалиться друг от друга атомы кластера, сохраняя его целостность), то величина $4\delta \approx 4R$ определяет область, в которой должна достигаться локальная правильность системы. Когда это произойдет, кватарон трансформируется в кристаллический зародыш. При этом, несмотря на необходимость выполнения ряда условий (заполненность внутренних оболочек, нефрактальность, симметричные особенности и т.д.), вероятность кристаллизации кватарона достаточно велика, поскольку по мере приближения радиуса кватарона к 4δ его структура становится все более близкой к структуре кристалла. Динамическая и относительно не жесткая структура кватарона рано или поздно попадает в симметричную «ловушку» кристалла. В результате схема образования кристалла выглядит следующим образом: сначала в кристаллообразующей среде формируются кватароны, которые при достижении ими определенных размеров могут трансформироваться в кристаллические зародыши.

Эта схема зарождения кристаллов принципиально отличается от классического механизма фор-

мирования критического зародыша, происходящего путем последовательного присоединения атомов (молекул) к дозародышевым частицам (рисунок).

Очевидно, если значительная часть вещества в кристаллообразующей среде связана в описываемые здесь кластеры, то они в той или иной мере будут участвовать в росте кристаллов. Их присоединение к кристаллу облегчается тем, что они топологически близки к структурным модулям кристалла. Полная же адаптация структуры кластера к структуре кристалла происходит на растущей грани [2]. В результате на грани образуется «двумерный» зародыш, и тем самым решается проблема формирования источника ступеней при послойном росте кристалла. Таким образом, фундаментальное зна-

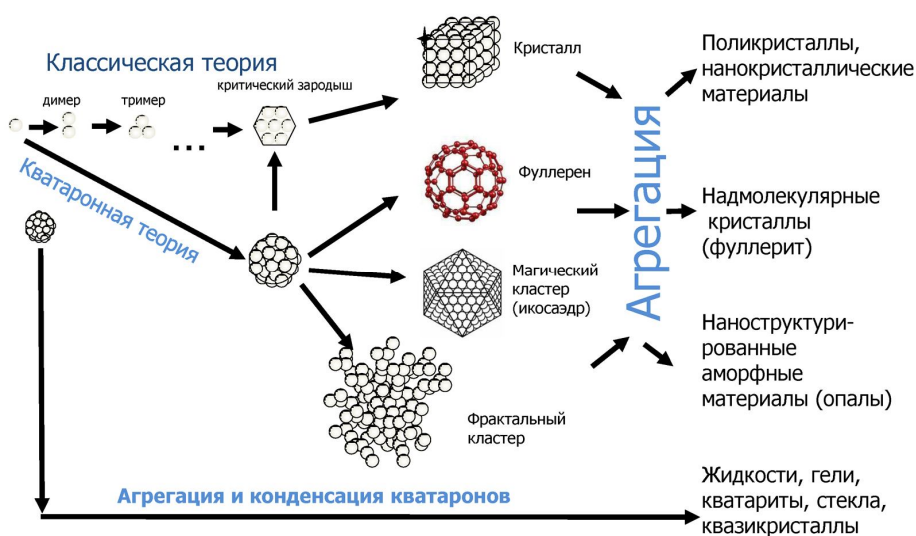


Рис. Пути кватаронного генезиса наночастиц, формирования кристаллических и некристаллических материалов.

чение идеи кватаронов для развития теории роста кристаллов заключается в том, что она позволяет решать дискуссионные вопросы об источнике ступеней роста, о природе и размерах кристаллообразующих частиц.

В рамках кватаронной концепции находят объяснение все важнейшие закономерности роста кристаллов: кинетики их роста, внешней морфологии, образования дефектов, вхождения примесей, причем захват примесей атомами может осуществляться как в эндо-, так и в экзокватаронной формах.

Кватаронный генезис некристаллографических форм наноструктур.

Кватароны как предшественники фуллеренов

Отличительной особенностью наноразмерных минеральных образований является удивительное морфологическое разнообразие, объяснить которое в рамках существующих теоретических моделей роста кристаллов не удастся. В первую очередь это связано с характерной для нанобъектов некристаллографичностью их форм, отсутствием на них плоских граней, прямолинейных ребер и острых вершин. Как правило, они имеют форму нитей, сфер, трубок, спиралей и т.д. В усло-

виях обычного роста кристаллов, происходящего путем послойного или нормального отложения вещества, образование таких форм маловероятно, а для некоторых форм – вообще исключено. В связи с этим нами был предложен новый механизм морфогенеза наноструктур из кватаронов и их агрегатов [12].

Морфогенетически важным свойством кватаронов является их способность агрегироваться без слияния. В результате они образуют структуры в виде цепочек, колец, торов и т.д., из которых в свою очередь могут быть сконструированы разномаштабные агрегаты. Последующая кристаллизация таких объектов приводит к формированию различных морфогенетических типов наноразмерных кристаллических образований, т.е. их форма задается еще на докристаллизационной стадии в процессе кватаронной агрегации.

Фрактальный агрегат. Если расположить кватарон радиусом r в начале координат прямоугольной системы и присоединить к нему шесть других по соответствующим направлениям осей, то получим ансамбль из семи кватаронов – кватаронный агрегат. Повторение указанной процедуры уже для кватаронного агрегата приводит к формированию агрегата более высокого уровня. Если в полученном после многократных итераций агрегате в сфере радиуса R с центром в начале координат содержится n кватаронов, которое определяется выражением

$$n(R) = \left(\frac{R}{r}\right)^d, \quad (7)$$

то такой агрегат представляет собой фрактал, а параметр d называется фрактальной размерностью. Для трехмерного пространства $1 \leq d \leq 3$ [17]. Введенная таким образом фрактальная размерность d характеризует распределение массы в пространстве. Чем больше размеры фрактального агрегата, тем меньше его плотность. В этом смысле фрактальный агрегат "борется" за пространство, тогда как кристалл – за плотнейшую упаковку вещества. Отсюда и скелетно-дендритная структура фрактального агрегата. Соответствующую структуру будет иметь агрегат и после кристаллизации образующих его кватаронов. Таков механизм формирования фрактальной структуры нанообъектов (нанокристаллов). Однако свойство $n(R) \sim R^d$ справедливо только в определенном масштабе размеров кватаронов и их агрегатов ($r < R$). Поэтому фракталы в мире нанокристаллов образуются редко и характерны преимущественно для агрегатов из кватаронов.

Фрактальные объекты отличаются рыхлой структурой и уменьшающейся с ростом размера плотностью. Рыхлая структура фрактального объекта создается увеличением его поверхности. Поскольку поверхность кластера может увеличиваться за счет фрактальности его поверхности, то фрактальная структура кластера может оказаться энергетически более выгодной по сравнению с плотной (компактной) его структурой.

В начальный момент образования фрактальной структуры поверхности кластера его масса может быть приравнена массе плотного кластера [2]. Для кластеров, формируемых частицами радиуса

$a = \delta/2$, выражение для массы фрактального кластера преобразуется следующим образом:

$$m = \left(\frac{r}{a}\right)^d = \left(\frac{2r}{\delta}\right)^d = (2n)^d, \quad (8)$$

где $n=r/\delta$.

После логарифмирования получим:

$$\ln m = d \ln 2 + d \ln n. \quad (10)$$

Аналогичным образом для плотного кластера имеем:

$$\ln m = \ln \frac{4}{3} \pi + 3 \ln n + 3 \ln \delta. \quad (11)$$

Полагая $\delta=0.3$ нм из выражений (17) и (18) получим:

$$\ln n = \frac{2.18 + 0.69d}{3 - d}. \quad (12)$$

Для $d=1$ из (12) имеем $n=4.2$ и $r=4.2\delta$. Следовательно, при $r>4.2\delta$ возможна трансформация плотного кластера в кластер с фрактальной структурой поверхности. Величина 4.2δ выступает как нижняя граница фрактального кластера.

Отсюда следует очень интересный вывод: для кристаллизации кластера остается очень узкая область размеров (от 4 до 4.2δ), проскочив которую он далее может развиваться как фрактал и кристаллизация станет невозможной. Различные модели образования фрактальных кластеров, как известно, дают фрактальные размерности, находящиеся в пределах от 1.8 до 2.5. Для наиболее вероятной для рассматриваемых условий модели кластер-атомной агрегации расчеты по формуле (12) дают значения $r = 17.32\delta = 5.19$ нм. Тем самым реальная область возможной кристаллизации несколько шире. Интересно, что для модели кластер-клатерной агрегации $r \approx 740$ нм. Это уже область коллоидных микрочастиц. Из предложенной модели следует, что все некристаллические коллоидные частицы, вероятно, являются фрактальными образованиями.

Макромолекулярные и белковые наноструктуры. Совершенно обычны сферические, волоконные, трубчатые, спиральные структуры для макромолекул и макромолекулярных биологических объектов: белков, бактерий, вирусов и т.д. [18]. Уникальные нанообразования весьма разнообразной морфологии были обнаружены для керата [19]. Все эти структуры некристаллографической формы, несмотря на всю их специфичность, также могут быть интерпретированы в терминах кватаронной самоорганизации. В частности, роль переходных структур (кватаронов) в белковых объектах играют так называемые расплавленные глобулы (molten globule), "мерцающие кластеры" [20] и другие изменчивые вторичные структуры на пути свертывания белковой цепи к устойчивой нативной структуре или к формированию белковых субъединиц.

Размеры белковых кластеров или субъединиц намного больше размеров предельных кватаронов неорганических веществ. Так, для сферических вирусов герпеса или бородавок человека единичные капсулы достигают радиуса 220 нм [18]. Как и следовало ожидать, они имеют икосаэдрическую форму. Формирующие капсулу субъединицы в семь-

восемь раз меньше. Такие вирусы, будучи уложены в трехмерную упорядоченную структуру, образуют кристаллы. В вирусе табачной мозаики белковые субъединицы имеют спиральную укладку и формируют вирусные нанотрубки с наружным диаметром 17 нм [21].

Поскольку геометрический размер наноструктур зависит от параметра δ , имеющего порядок диаметра молекулы, макромолекулярные наноструктуры существенно крупнее и имеют в большинстве своем некристаллическое строение. Для их морфогенеза важно не то, что размеры структур могут выйти за пределы наноуровня, а то, что основное свойство нанообразований, а именно – чрезвычайно высокая доля вещества в поверхностном слое в общем объеме частиц – сохраняется.

Несмотря на неоднозначность выбора величины δ и сложность строения макромолекул, кватаронный подход может оказаться полезным при анализе процессов формирования скомканных глобул полимеров и кристаллизации белков. При любом разумном δ макромолекулярные структуры – это всегда наночастицы, если не в геометрическом, то в физическом смысле.

Способность к структурной самоорганизации (возникновению упорядоченных структур из хаоса) является общим свойством как неживой, так и живой материи. В этом смысле они могут рассматриваться как модели друг друга. Более того, кватаронная организация вещества – это мостик между живыми и неживыми организмами (структурами).

Отметим, что обсуждаемая в последнее время проблема диагностики биорганов в метеоритах [22] (Розанов, 1998) по чисто морфологическим признакам не может быть решена в силу фундаментальной схожести на наноуровне морфологии биогенных и абиогенных объектов [4].

Образование фуллеренов. Хотя со времени обнаружения стабильного кластера углерода, состоящего из 60 атомов и имеющего характерную икосаэдрическую симметрию, которому его авторы дали название «фуллерен C_{60} » [23], прошло уже достаточно много времени, тем не менее, механизм и условия образования C_{60} и других кластеров углерода из семейства фуллеренов остаются не раскрытыми.

Критический анализ существующих моделей образования фуллеренов показывает, что у них должен быть «жидкий» предшественник. Однако до сих пор не удавалось объяснить каким образом образуется такой «жидкий» кластер-предшественник, содержащий необходимое для формирования фуллеренов количество атомов углерода.

В рамках кватаронной концепции эта проблема решается очень просто [3, 9].

Согласно кватаронной теории при $r < 4\delta$, энергетически более выгодно образование полых кватаронов, тогда как при $r > 4\delta$ образуются плотные кластеры, служащие в случае углерода потенциальными центрами кристаллизации графита или алмаза.

Если это так, то совершенно естественно предположить, что именно полые кватароны являются предшественниками фуллеренов. Фуллереновый каркас строится уже на имеющейся сфериче-

ской поверхности кватарона, минуя всякие последовательные этапы сборки. В таком случае, образование фуллеренов – это неизбежный этап физико-химической эволюции кватаронов.

Учитывая неравновесный и нестабильный характер условий синтеза фуллеренов, возможны следующие варианты эволюции образующихся кватаронов, обусловленные изменением радиуса кватаронов r и числа атомов n , размещенных на поверхности: 1) $r \uparrow n \uparrow$; 2) $r \downarrow n \downarrow$; 3) $r \downarrow n \uparrow$; 4) $r \uparrow n$; 5) $r \uparrow n \downarrow$; 6) $r \downarrow n$; 7) $m \uparrow$; 8) $m \downarrow$; 9) m . Очевидно, что не все из этих вариантов ведут к формированию фуллеренов. Например, увеличение радиуса ($r \uparrow$) при неизменном (n) или уменьшающемся ($n \downarrow$) числе атомов (варианты 4, 5) связано с распадом кватаронов, тогда как уменьшение радиуса при постоянном числе атомов неизбежно приводит к фуллеренизации кватаронов.

В равновесных условиях радиус кватаронов $r = \delta$. Величина δ (минимальное расстояние, на которое могут приблизиться атомы углерода без установления связей между ними) должна быть близка к ван-дер-Ваальсовому диаметру атома углерода (0.354 нм) и превосходить длину наиболее слабой π -связи в графите (0.335 нм). Предположим $\delta \approx 0.345$ нм. Тогда на поверхности кватарона может разместиться 16 атомов. Скачкообразное образование ковалентных связей между атомами приведет к уменьшению расстояния между ними до 0.1415 нм (это среднее расстояние C-C связей в фуллеренах). В результате радиус образующегося при этом жесткого кластера должен уменьшиться до 0.318 нм. При другом крайнем варианте, а именно при увеличении числа атомов на кватароне при постоянном радиусе, может образоваться фуллерен, содержащий 94 атома ($r = 0.345$ нм). Таким образом, на основе кватарона радиусом δ может сформироваться семейство углеродных кластеров от C_{16} (при $n \downarrow$) до C_{94} (при $n \uparrow$). Минимальный фуллерен C_{20} формируется при $n \downarrow$ из кватарона, радиус которого равен 1.15δ или 0.395 нм.

Аналогично кватарон радиусом $r = 2\delta = 0.69$ нм, образующийся при предельном (максимально возможном) пересыщении, формирует фуллерены от C_{60} ($n \downarrow$) ($r = 0.276$ нм) до C_{380} ($n \uparrow$) ($r = 0.69$ нм).

На основе кватаронов радиуса $r = 4\delta$ образуются фуллерены от C_{256} до C_{1522} . Однако достижение верхней границы теоретически возможных фуллеренов маловероятно, поскольку к этому размеру кватароны становятся двух- трехлобчатыми или плотными объектами и, как следствие, формируют многослойные, вложенные друг в друга фуллерены.

Если среда не пересыщена, то $r < \delta$ и тогда формируются кластеры с меньшим числом атомов. При $r = \delta/2 = 0.1725$ нм образуются кластеры с числом атомов от 3 до 23.

Действительный радиус C_{60} по рентгеновским данным, как известно, составляет 0.357 нм. Следовательно, к фуллерену C_{60} может привести эволюция как кластеров радиусом $r = \delta = 0.345$ нм с начальным числом атомов 16 (при $r \uparrow n \downarrow$), так и кластеров радиусом $r = 0.69\delta = 0.69$ нм с числом атомов 60 (при $r \uparrow n \downarrow$), но при очевидном преимуществе второго варианта.

Кватаронный генезис жидких фаз воды

Более 100 лет назад С.Т.Р. Вильсон [24] установил, что водяной пар содержит электрически нейтральные кластеры водных молекул. В последующем существование малых кластеров воды было доказано также масс-спектрометрическими данными [25]. Однако этот факт не нашел до сих пор должного теоретического обоснования. Вместе с тем, противоречащие классической теории конденсации полимолекулярные кластеры воды легко интерпретируются как кватароны, предшествующие образованию жидкой воды [7]. Что касается образования воды через кватароны, то существует несколько способов конденсации кватаронов, предусматривающих их слияние или агрегацию. Слияние кватаронов с формированием более крупных однородных кластеров вплоть до образования капель жидкой воды возможно только при $r > 2\delta$ [7]. Радиус кластера, образующегося при слиянии N кватаронов, равен $R = 2\delta (1 + N^{1/3})$. Следовательно, радиус минимальной наноклапты воды ($N \approx 1$) равен $R = 4\delta \approx 1.2$ нм ($\delta \approx 0.3$ нм). Это совпадает также с нижней границей кристаллического состояния, определяемой по локальной теореме [11]. При этом кватароны радиусом $r = 1.33\delta \approx 0.4$ нм, равновесно существующие в паровой фазе при том же пересыщении, в конденсированном состоянии могут образовать жидкую фазу с плотностью $\rho = 0.90$ г/см³. Поскольку конденсация кватаронов с радиусом $r < 2\delta$ происходит с сохранением их целостности, то образуется структурированная вода. При конденсации кватаронов радиусом $r = \delta$ может образоваться аномальная структурированная фаза (S-фаза или «твердая» вода) с высокой плотностью ($\rho = 2.12$ г/см³). О регистрации аномальной сверхплотной воды ранее уже сообщалось [26]. Однако экспериментальные доказательства ее существования остаются до сих пор спорными. Аналогично конденсация кватаронов с радиусом $r = 2\delta$ должна дать аномальную «газообразную» G-фазу ($\rho = 0.26$ г/см³). Очевидно, что вода с такой плотностью еще не является жидкой водой в прямом смысле слова, но это уже и не газ.

Наиболее близкая к обычной воде, плотность которой при 0°C $\rho = 0.997$ г/см³, жидкая фаза образуется при конденсации полых кватаронов радиусом 1.28 нм. Следовательно, главными структурообразующими единицами для реальной воды являются кватароны, содержащие 20÷24 молекулы, т.е. кватароны в форме додекаэдра или усеченного октаэдра. При этом неструктурированная вода с плотностью ≈ 1 г/см³ может образоваться также при слиянии плотно упакованных икосаэдрических кластеров, содержащих 561 молекулу. Такой двойственный путь образования жидкой воды заставляет думать, что обычная вода должна представлять собой смесь двух фаз (структурированной и неструктурированной). Заметим, что этот вывод не следует понимать как повторение известной двухструктурной модели воды, поскольку в данном случае отсутствуют области с сильно различающимися плотностями и границами раздела.

Еще одна возможность образования относительно крупных кластеров и соответственно водной

фазы связана с фрактальной агрегацией кватаронов, радиус которых менее 2δ . Радиус R фрактального кластера воды связан с радиусом исходных кватаронов следующим выражением [7]:

$$\ln R = \ln r - \frac{\ln \frac{\rho}{\rho_0}}{3 - D}, \quad (13)$$

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

$$\ln R_n = \ln R_{n-1} + 2. \quad (14)$$

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

Выше мы рассматривали случай образования воды из электрически нейтральных кватаронов. Однако, если кватароны заряжены, то ситуация может быть иной. Очевидно, что заряды будут препятствовать агрегации и слиянию кватаронов. Тогда конденсация кластеров, радиус которых больше 4δ , может оказаться единственно возможным механизмом образования жидкой воды. Образование структурированных фаз воды станет практически невозможным.

Вместе с тем заряженные кватароны при некоторой их критической концентрации по принципу кулоновского кристалла могут образовать специфическую структурированную водную фазу («плазменную» воду). Не исключено, что подобную природу имеют изредка наблюдаемые водные образования, называемые шаровыми молниями. В пользу данной гипотезы свидетельствует то, что шаровые молнии чаще всего образуются в грозу и их существование ограничено во времени (до десятков секунд). Заметим, что согласно одной из распространенных гипотез [27] шаровая молния также рассматривается как кластерное образование, состоящее из необычной плазмы, – смеси положительных и отрицательных ионов. Но при этом приходилось предполагать, что ионы облеплены нейтральными молекулами воды – иначе невозможно было обеспечить отсутствие рекомбинации ионов.

Таким образом, существует принципиальная возможность образования различных водных фаз, большинство которых до сих пор не воспроизведены.

В заключение отметим, что каким бы способом ни образовалась жидкая вода, последующая ее «жизнь» будет определяться устанавливающимися между молекулами воды водородными связями. Однако при этом некая «кватаронная» память в структуре воды в виде особенностей ближнего порядка сохраняется.

Кватаронный генезис наноструктурированных твердых материалов

Весьма важную роль кватароны и образующиеся на их основе относительно жесткие кластерные наночастицы играют в формировании ультра-

дисперсных конденсированных веществ в твердом состоянии. Структурно-текстурные особенности таких веществ зависят от природы, размеров, свойств, способов сопряжения и степени релаксации конденсирующихся наночастиц. При этом возможно образование широкого класса аморфных материалов – от обычных стекол до более или менее упорядоченных материалов типа благородного опала. Все материалы, которые образуются в результате осаждения кластеров, радиус которых меньше чем 4δ , рентгеноаморфны. При фрактальной агрегации частиц формируются пористые материалы. Кристаллические наночастицы в конденсированном состоянии образуют нанокристаллические материалы. Не исключено также и образование смешанных аморфно-кристаллических материалов, особенно при осаждении кватаронов, размеры которых близки к предельным ($r = 4\delta$), когда часть из них кристаллизуется, а часть остается аморфной.

Нередко кватароны, фуллерены или иные кластерные образования в конденсированном состоянии располагаются по законам решетки и тогда мы имеем объекты, обладающие свойствами кристаллов. К примеру, это имеет место в фуллеритах – в кристаллах, состоящих из кластеров углерода (фуллеренов).

По этому же принципу мы предлагаем называть кватаритами ультрадисперсные упорядоченные материалы с дискретным внутренним строением, сложенные отдельными кватаронами или их агрегатами.

Заметим, что кватариты сохраняют некоторые черты, унаследованные от свойств порождающих их кватаронов, прежде всего это проявляется в виде определенной их метастабильности. В этом смысле кватариты – это близкий аналог так называемой ридберговской материи – вещества, целиком состоящего из высоковозбужденных атомов и молекул.

Интересно также, что аморфные кватаритовые образования при определенной упаковке образующих их частиц способны формировать внешне симметричные конечные объекты некристаллографической формы. Пример таких объектов для B_6O с икосаэдрической симметрией был описан в работе [28].

Кватароны и их иерархические структуры более крупных размеров обеспечивают условия для формирования всего наблюдаемого разнообразия морфологических форм нанокристаллов и некристаллических нанообъектов (см. рисунок). Более того, с этих позиций легко интерпретируется также образование аperiодических структур и квазикристаллов.

Минералогические и естественнонаучные следствия кватаронной концепции

Кватароны и кватаронная форма организации нановещества имеет фундаментальное значение для понимания природы и генезиса минерального вещества.

Прежде всего кватароны – это предкристаллизационные кластеры, протоминеральные частицы, «эмбрионы» минералов, латентная «минеральная фаза», «полуфабрикаты» структурных модулей минералов, минералообразующие строительные единицы. Они определяют особенности структур-

ной и морфологической организации некристаллического минерального вещества (минералоидов).

Уже сейчас ясно, что мы находимся на пороге пересмотра ряда фундаментальных генетических, структурных и классификационных минералогических проблем. В частности, в связи с рассмотренными выше особенностями строения и формирования некристаллических материалов имеет смысл расширить понятие о минерале. В результате значительное число объектов, считающихся минералоидами, попадает в область определения минералов и могут рассматриваться как новые минеральные виды, т.е. минералы – это не только природные объекты (химические соединения), имеющие кристаллическую структуру, но и рентгеноаморфные твердые вещества с определенным образом организованной структурой (фуллериты, кватариты, опалы и т.д.).

Знание свойств кватаронов представляет также очевидный нанотехнологический интерес, и в первую очередь в плане получения различных наноструктур и наноматериалов, развития молекулярной и наноэлектроники, а также для создания кватаронной электроники и, возможно кватаронного лазера. Между прочим, идея создания кватаронного лазера по аналогии с молекулярным не является совсем уж фантастической. Для этого необходимо определенным образом организовать снятие возбуждения с кватаронов и ввести обратную связь.

С близкими к кватаронам объектами мы сталкиваемся также и в других областях науки – в физике, химии, биологии. В физике и химии – это различные высокоактивные атомно-молекулярные группировки, возбужденные состояния кластеров, динамические структуры переходного состояния, новые коллективные частицы. Для биологии кватароны интересны как формы предбиологической организации вещества, как неживые модели живого. В качестве особых биокватаронов могут быть интерпретированы некоторые типы конформаций биомолекул, динамические структуры белков и вирусных частиц (вирионов). Таким образом, кватаронная концепция может оказаться полезной для естествознания в целом.

Нет сомнения в том, что такие удивительные объекты, как кватароны и, казалось бы, невозможная кватаронная форма самоорганизации вещества привлекают внимание специалистов в различных областях науки и найдут применение в молекулярном и супрамолекулярном дизайне, в конструировании различных материалов, в управлении динамикой наносистем и химических реакций, в решении проблем физики и химии наноразмерных систем.

Заключение

Таким образом, из анализа свойств кватаронов (кластеров «скрытой» фазы) следует, что наночастицы – не просто один из уровней размерности дисперсных систем, это уровень особой структурной организации вещества, его перехода в принципиально новое состояние, не имеющее макроскопических аналогов. В рамках кватаронной концепции разрешаются базовые вопросы генезиса протоминеральных частиц – «минеральных эмбрио-

нов"; устанавливаются минимальные размерные границы минеральных индивидов, предсказываются их основные структурно-морфологические и химические свойства. Под воздействием новых идей кластерной самоорганизации вещества перестраиваются современные представления об образовании и росте кристаллов, о структуре и свойствах малых кластерных форм вещества, о формировании жидких фаз воды, наноструктурированных материалов.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 11-05-00432-а) и Программ фундаментальных исследований Президиума (09-П-5-1028) и ОНЗ РАН (09-Т-5-1003).

Литература

1. Асхабов А.М. Геометрическая интерпретация предкристаллизационных кластеров "скрытой" фазы (кватаронов) // Уральский минералогический сборник. Миасс, 1999. С.22-26.
2. Асхабов А.М. Кватарон-кластерный механизм роста кристаллов // Сыктывкарский минералогический сборник, №28. Сыктывкар, 1999. С.5-17.
3. Асхабов А.М. Кватаронный механизм образования фуллеренов // Докл. РАН, 2000. Т.374. №3. С.359-361.
4. Асхабов А.М. Кватаронная природа морфологической схожести биогенных и абиогенных наноструктур // Минералогия и жизнь: биоминеральные гомологи. Сыктывкар, 2000. С.12-14.
5. Асхабов А.М. Кватароны как строительные единицы роста кристаллов // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар, 2002. №2. С.2-4.
6. Асхабов А.М. Кластерная (кватаронная) самоорганизация вещества на наноуровне и образование кристаллических и некристаллических материалов // Зап. ВМО, 2004. 133 (4). С. 108-123.
7. Асхабов А.М. Кластеры «скрытой» фазы – кватароны и образование жидкой воды // Докл. РАН, 2005. Т.405. №3. С. 381-384.
8. Асхабов А.М. Агрегация кватаронов как механизм формирования аморфных частиц сферической формы // Докл. РАН, 2005. Т.400. №2. С.224-227.
9. Асхабов А.М. Кватаронная модель образования фуллеренов // ФТТ, 2005. Т.47. № 6. С. 1147-1150.
10. Асхабов А.М., Рязанов М.А. Кластеры "скрытой" фазы (кватароны) и зародышеобразование // Докл. РАН, 1998. Т.362. №5. С.630-633.
11. Асхабов А.М., Галиулин Р.В. Кватаронный механизм образования и роста кристаллов // Докл. РАН, 1998. Т.363. №4. С.513-514.
12. Асхабов А.М., Юшкин Н.П. Кватаронный механизм генезиса некристаллографических форм наноструктур // Докл. РАН, 1999. Т.368. № 1. С.84-86.
13. Reiss H., Frish H.L., Hefland E., Lebowitz J.L. Aspects of the statistical thermodynamic of real fluids // J. Chem. Phys. 1960. Vol.32. No.1. P.119-124.
14. Zewail A.N. Femtochemistry: Atomic-Scale Dynamics of the Chemical Bond // J. Phys. Chem., 2000. Vol.4. No. 1.
15. Галиулин Р.В. Кристаллографическая геометрия. М.: Наука, 1984. 135 с.
16. Engel P. Geometric Crystallography An Axiomatic Introduction to Crystallography. D. Reidel Publishing Company/ Dordrecht-Boston-Lancaster-Tokyo, 1986. P.266.
17. Feder J. Fractals. Plenum Press, 1988. 258 p.
18. Современная кристаллография. Т.2. Структура кристаллов / Б.К. Вайнштейн, В.М.Фридкин, Л.М.Инденом и др. М.: Наука, 1979. 354 с.
19. Yushkin N.P. Natural polymer crystals of hydrocarbons as models of prebiological organisms // J. Cryst. Growth., 1996. Vol. 167. No.1-2. P.237-247.
20. Проблема белка / Е.М.Попов, В.В.Демин, Е.Д.Шибанова и др. М.: Наука, 1996. 480 с.
21. Франклин Р., Клуг А., Холмс К. Изучение структуры и морфологии вируса табачной мозаики методом рентгеноструктурного анализа. М.: ИЛ, 1958. С.47-63.
22. Розанов А.Ю. Ископаемые микроорганизмы в метеоритах // Наука в России, 1998. № 6. С. 25-29.
23. Kroto H.W., Heath J.R., O'Brien S.C. et al. C60 Buckminsterfullerene // Nature, 1985. Vol. 318. P.162.
24. Wilson C.T.R. Condensation of water vapor in the presence of dust-free air and other gases // Philos. Trans. R. Soc., London, (1897)A. Vol. 189. P. 265.
25. Carlon H.R. and Harden C.S. Mass-spectrometry of ion-induced water cluster: on explanation of infrared continuum absorption // J. Applied Optics, 1980. Vol. 19. P. 1779.
26. Дерягин Б.В., Чураев Н.В. Новые свойства жидкостей. М.: Наука, 1971. 176 с.
27. Стаханов И.П. О физической природе шаровой молнии. М.: Научный мир, 1986. 264 с.
28. Hubert H., Devouard B., Laurence A.J. et al. Icosahedral packing of B12 icosahedra in boron suboxide (B6O) // Nature, 1998. Vol. 391. P.376-379.

Статья поступила в редакцию 22.07.2011.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 338.45:553.982.048

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИСТОЩЕННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕФТИ МЕТОДОМ СТАТИСТИЧЕСКОЙ БАЗЫ

Б.И. ТАРБАЕВ*, С.Л. САДОВ*, Т.О. СИЗОНЕНКО**

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

***Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар
sadov@energy.komisc.ru*

Целесообразность продолжения эксплуатации либо консервации истощенного нефтяного месторождения определяется с учетом объема нефти, доступной для извлечения. Взамен традиционных, недостаточно достоверных способов оценки предлагается метод подсчета остаточных запасов месторождения, основанный на моделировании отбора выборки из конечной совокупности без возвращения.

Ключевые слова: истощенные месторождения нефти, остаточные запасы, экономическая оценка

B.I. TARBAEV, S.L. SADOV, T.O. SIZONENKO. ECONOMIC EVALUATION OF THE DEPLETED OIL FIELDS BY STATISTICAL BASIS METHOD

The expediency of the operation prolongation or abandonment of the depleted oil field is determined by available for production oil amount. The traditional techniques calculate oil volume with low certainty. The residual stocks evaluation method, based on the sample choice from finite population without replacement simulation, is offered instead.

Key words: depleted oil fields, residual stocks, economical evaluation

В условиях, когда нефтедобывающие компании слабо заинтересованы в разведке и освоении перспективных и прогнозных ресурсов углеводородов, большое народнохозяйственное значение приобретает по возможности реалистичная оценка остаточных запасов месторождений, эксплуатируемых длительное время и характеризующихся высокой степенью выработанности запасов. Месторождения нефти в процессе разработки проходят несколько стадий, отражающих меру извлечения полезного ископаемого из недр. На последней стадии для решения задачи оценки остаточных запасов нефти (способных к перемещению в продуктивном пласте) используется несколько методических приемов, начиная от простейшего, когда активные запасы рассматривают как разницу между первоначально подсчитанными объемами и накопленной добычей, и сложными, сопряженными с пересмотром геолого-промысловых параметров. Основным способом является первый. Он сильно зависит от точности первоначальных оценок запасов (которые могут отличаться от истинных значений в разы) и не может обеспечить желаемый уровень достоверности. Пересчет же геологических запасов, связанный с пересмотром промысловых параметров, представляет достаточно сложную и дорогостоя-

щую операцию, и достоверности тоже не гарантирует. Эти обстоятельства обусловили поиск менее трудоемких и затратных путей решения проблемы.

Математические исследования свойств конечных совокупностей привели к разработке метода статистической базы, открывающего дополнительные возможности решения указанной проблемы. При его использовании залежь нефти рассматривается как конечная совокупность элементарных разновеликих объемов (что вполне адекватно ее физической природе как тела в ограниченном пространстве), а в качестве выборки принимаются накопленные объемы добычи нефти в эксплуатационных скважинах за фиксированные промежутки времени. Однако на практике такие данные необходимой полноты и достоверности не доступны, что потребовало альтернативного решения, а именно разработки процедур трансформации общего объема накопленной добычи нефти в случайную выборку. Эту операцию целесообразно разделить на две процедуры:

1) разбиение объема накопленной добычи нефти по объекту на отдельные составляющие, выполненное случайным образом;

2) генерирование из полученных элементов выборки методом Монте-Карло по одному из зако-

нов случайного распределения, например, Парето или показательному.

Содержательную основу метода составило утверждение о том, что если в процессе исследования конечной совокупности с неизвестным числом слагающих ее элементов полученная выборка достигает значения, которое характеризуется как состояние «исследовательской зрелости», появляется возможность без знания полного состава элементов вычислить общий объем конечной совокупности. Такая возможность была математически обоснована целым рядом исследователей [1-7] и проверена экспериментальными расчетами над известными конечными совокупностями. При извлечении из конечной совокупности выборки из N элементов в порядке $\underline{s}_n = (i_1, i_2, \dots, i_n)$ с вероятностью, пропорциональной их размеру, и без возврата в изначальную совокупность, были получены результаты, соответствующие модели распределения на области всех перестановок элементов совокупности [1].

Обозначим случайные варианты прописной буквой, предполагаемые – строчной. Тогда вероятность открытия элементов в порядке $\underline{s}_n$ будет иметь вид

$$P(\underline{S}_n = \underline{s}_n | Y) = \prod_{j=1}^n y_{i_j} / (R - \sum_{l=0}^{j-1} y_{i_l}), \quad (1)$$

где $y_{i_0} = 0$, $R = y_1 + y_2 + \dots + y_N$. С введением параметра открываемости β модель приобретает вид

$$P(\underline{S}_n = \underline{s}_n | Y) = \prod_{j=1}^n y_{i_j}^\beta / (R - \sum_{l=0}^{j-1} y_{i_l}^\beta), \quad (2)$$

где $y_{i_0} = 0$, $R = y_1^\beta + y_2^\beta + \dots + y_N^\beta$.

Как показали эксперименты [2,3], между числом объектов n и суммой выражений $(1 - \exp\{-\lambda(n)y_j\})$ существует связь, и при определенных обстоятельствах появляется возможность вычислить инклюзивную вероятность $p\{k \in \underline{S}_n\} \equiv \pi_j(n)$ того, что месторождение с номером j окажется среди первых n открытий. Она аппроксимируется как

$$\pi_j(n) \cong 1 - \exp\{-\lambda(n)y_j\}, \quad (3)$$

где $\lambda(n)$ – единственное решение уравнения

$$n = \sum_{j=1}^N (1 - \exp\{-\lambda(n)y_j\}). \quad (4)$$

Один из исследователей проблемы Дж. Кауфман [4] показал, что если параметр $\lambda(n)$ известен априори, а элементы $\underline{s}_n$ выстроены в порядке $1, 2, \dots, n$, то сумма всех величин объектов $\hat{R}$ может несмещенно и приближенно оцениваться как

$$\hat{R} = \sum_{j=1}^n \frac{y_j}{1 - \exp\{-\lambda(n)y_j\}}. \quad (5)$$

Для предварительной оценки неизвестного параметра $\lambda(n)$ необходимо получить точечную оценку R по неполной выборке. Это представляет известную трудность, которая может быть преодолена выполнением оценки ожидания случайного события z_{n+1} для $(n+1)$ -го извлечения элемента из совокупности при условии упорядоченной выборки $\underline{s}_n = (1, 2, \dots, n)$:

$$E[z_{n+1} | \bar{S}_n = (1, 2, \dots, n)] = \sum_{j=1}^n \frac{1}{(R - y_1 - y_2 - \dots - y_{j-1})}, \quad y_0 = 0. \quad (6)$$

Как только N становится достаточно большим, z_{n+1} сходится к вероятности $\lambda_j(n)$, для которой

$$\lim \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \exp\{-\lambda_j(n)y_i\} = 1 - f, \quad 0 < f < 1, \quad (7)$$

где $f = n/N$.

Установлено [5], что неизвестный параметр $\lambda(n)$ может быть аппроксимирован условным ожиданием из выражения (7), если реальную величину R заменить ее оценкой из (5). В этом случае имеем выражение

$$\hat{R} = \sum_{j=1}^n y_j / \left(1 - \exp\left\{-y_j \sum_{k=1}^n \frac{1}{\hat{R} - \sum_{i=0}^{k-1} y_i}\right\} \right), \quad y_0 = 0, \quad (8)$$

представляющее собой уравнение, путем решения которого и получается искомая оценка.

Как нетрудно убедиться, эффективность метода в первую очередь зависит от размера выборки, отобранной из конечной совокупности (доли $f = n/N$). Как показали экспериментальные расчеты авторов с совокупностями с заранее известными числом элементов и общим объемом (с 1000-кратной имитацией отбора без возвращения с перемешиванием), отклонения вычисленных показателей от исходных данных составили менее 1% при 75%-ном квантиле, а усредненный показатель по нарастающей статистической базе имеет прогнозную ценность уже при 50%-ном квантиле (рисунк). Полученные результаты свидетельствуют о более высокой достоверности оценок, получаемых по методу статистической базы, по сравнению с традиционными.

Вычисленная величина активных запасов месторождения имеет достаточную достоверность для того, чтобы ее можно было использовать при оценке экономической эффективности проектов его эксплуатации хорошо известными методами с использованием показателей чистого дисконтированного дохода, внутренней нормы доходности и т.д. [8]. Активную (подвижную) нефть в более широком смысле, в отличие от геологических запасов, включающих подвижную и пассивную части нефти в залежах, в геолого-промысловой практике принято называть извлекаемыми запасами. Границу между извлекаемой и пассивной нефтью определяет т.н.

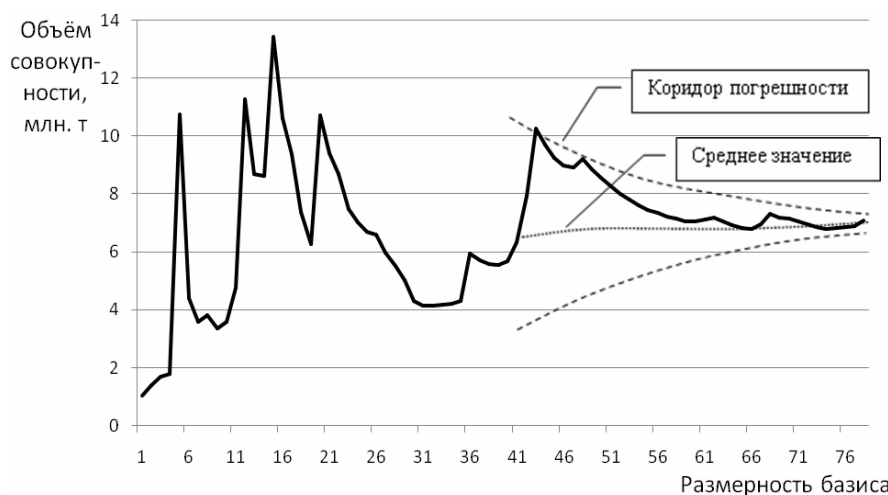


Рис. Результаты экспериментальных расчетов по модели с известной совокупностью.

коэффициент извлечения нефти (КИН), субъективность которого не отрицается. Более того, величина КИН по мере поступления новой информации и появления новых технологий нефтедобычи периодически пересматривается в сторону увеличения. В этой связи полагаем, что результаты, полученные с использованием метода статистической базы, отражают фактическую меру возможного отбора нефти из залежи и вовсе не должны совпадать со значением КИН в его устоявшемся понимании. Граница раздела между подвижной и неподвижной нефтью — это область нечеткости, которая должна оцениваться с помощью соответствующего математического аппарата.

Область применения метода представляется весьма широкой. В нефтяной отрасли он может эффективно использоваться для подсчета остаточных (активных) запасов на месторождениях нефти, находящихся в стадии истощения. Их рассмотрение с позиций коммерческой привлекательности и способности обеспечить при эксплуатации желаемую норму прибыли представляется весьма актуальной задачей. Данная оценка во многом определяет принятие решения либо о целесообразности дальнейшей разработки месторождения, либо о его консервации.

Литература

1. Chen Z., Sinding-Larsen R. Estimating petroleum resources using Geo-anchored method – a sensitivity study: Natural Resources Research, 1999. Vol. 8. No. 1. P. 49-58.
2. Andreatta G., Kaufman G.M. Estimation of finite population properties when sampling is without replacement and proportional to magnitude // J. Am. Stat. Assoc., 1986. Vol. 81. No. 395. P. 657-666.
3. Barouch E., Chow K., Kaufman G.M., Wright T.H. Properties of successive sample moment estimators: Studies in Applied Mathematics, 1985. Vol. 73. P. 239-260.
4. Kaufman G.M. Finite population sampling methods for oil and gas resource estimation, in Rice D.D., ed., Oil and gas assessment – methods and applications: Am. Assoc. Petroleum Geologists Studies in Geology. 1986. No. 21. P. 43-54.
5. Chen Z. Quantification of petroleum resources through sampling from a parent population and as a function of basin yield: doctoral thesis, the Norwegian Institute of Technology, 1993. 320 p.
6. Kaufman G.M. Successive sampling and software reliability: MIT Sloan School Working Paper 3316, 1992. 34 p.
7. Schuenemeyer J.H., Drew L.J. A procedure to estimate the parent population of the size of oil and gas fields as revealed by a study of economic truncation: Math. Geology, 1983. Vol. 15. No. 1. P. 145-162.
8. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция). Официальное издание. М.: ОАО НПО "Изд-во "Экономика", 2000. 421 с.

Статья поступила в редакцию 15.04.2011.

УДК 947.084.2

РЕПРЕССИИ «ПО ЗАКОНУ»: ЛИШЕНИЕ ИЗБИРАТЕЛЬНЫХ ПРАВ СОВЕТСКИХ ГРАЖДАН

Е.Ф.КРИНКО

Институт социально-экономических и гуманитарных исследований Южного научного центра РАН, г. Ростов-на-Дону
krinko@mail.ru

В статье рассматривается проблема лишения советских граждан избирательных прав в 1920-1930-х гг. Отмечается, что лишение избирательных прав стало одной из важнейших мер советской политики, направленной на кардинальную трансформацию общества.

Ключевые слова: политические репрессии, избирательные права, советская власть

E.F.KRINKO. REPRISALS "UNDER THE LAW": DEPRIVATION OF THE SOVIET CITIZENS OF ELECTORAL RIGHTS

The problem of deprivation of the Soviet citizens of electoral rights in 1920-1930-s is considered. It is noticed that deprivation of electoral rights became one of the major measures of the Soviet policy directed at cardinal transformation of society.

Key words: political reprisals, electoral rights, the Soviet power

В последние десятилетия теме политических репрессий в СССР уделяется существенное место в отечественной историографии. При этом исследователи прежде всего обращаются к «Большому террору» и политическим процессам 1930–1950-х гг., созданию и функционированию системы ГУЛАГа. Между тем, советское государство использовало широкий комплекс мер социально-правовой дискриминации отдельных категорий населения. К их числу относится и лишение части граждан избирательных прав, сравнительно недавно привлечшее внимание историков [1–3].

Советы как органы власти с самого начала имели определенный классовый характер, представляя интересы не всего общества, а социальных низов. В Конституции РСФСР 1918 г. утверждалось, что «эксплуататорам не может быть места ни в одном из органов власти. Власть должна принадлежать целиком и исключительно трудящимся массам и их полномочному представительству». При этом юридически закреплялось неравенство среди самих трудящихся: голос одного городского рабочего приравнивался к голосам пяти крестьян. К выборам допускались и другие категории граждан, «добывающие средства к жизни производительным и общественно полезным трудом», а также домохозяйки. Все еще сохранявшиеся надежды на мировую революцию выразились в том, что избирательными правами наделялись и иностранные граждане, от-

носящиеся к категории трудящихся. В то же время не могли избирать и быть избранными лица, использовавшие наемный труд с целью извлечения прибыли, жившие на нетрудовой доход (проценты с капитала, доходы с предприятий и т.п.), торговцы, монахи и священники, бывшие полицейские, жандармы, члены царской семьи, душевнобольные, находившиеся под опекой и осужденные за корыстные и порочащие преступления [4]. Практически без изменений указанные положения повторялись в конституциях СССР 1924 г. и РСФСР 1925 г.

Порядок проведения выборов и состав лиц, лишавшихся избирательных прав, регламентировали специальные подзаконные акты, требования которых менялись в зависимости от поворотов в политике руководства страны. Так, в условиях стабилизации обстановки в стране 13 октября 1925 г. была принята Инструкция ВЦИК о выборах городских и сельских советов и о созыве съездов советов. В ней подчеркивалось, что не должны лишаться избирательных прав лица, применявшие наемный труд в сельском хозяйстве, если это не влекло за собой его расширения за рамки трудового. Основным признаком трудового хозяйства считался подсобный характер наемного труда и обязательное участие в работе его трудоспособных членов. Не отстранялись от выборов кулаки и ремесленники, владельцы и арендаторы мельниц, сложной сельскохозяйственной техники при условии нали-

чия в хозяйстве одного наемного работника или двух подмастерьев (учеников), если они лично участвовали в работе.

Напротив, новая инструкция о выборах городских и сельских советов и о созыве съездов советов, утвержденная Декретом ВЦИК от 4 ноября 1926 г., значительно расширила круг лишенцев. В их число попали лица, «закабалывшие окружающее население» путем систематического предоставления в пользование сельскохозяйственных машин, скота или предоставлявшие кредит «на кабальных условиях», бывшие офицеры и военные чиновники белых армий. Избирательных прав лишались земледельцы и владельцы предприятий (мельниц, маслобоен и других), а также ремесленники и кустари, применявшие наемный труд не только постоянно, но и временно, «в таком объеме, который расширял их хозяйство за пределы трудового» [5]. Местные избирательные комиссии по-своему интерпретировали правовые нормы, нередко включая в списки лиц, лишенных избирательных прав всех, кто казался им «классовым врагом».

На Дону с целью изучения результатов применения новой инструкции ВЦИК в конце 1926 г. проводилась проверка инструктором организационного отдела Донского областного исполкома Учакиным в двух специально намеченных сельсоветах Приазовья – Кагальницком и Высочинском [6]. Составленная по ее итогам докладная записка является ценным свидетельством лишения избирательных прав трудящихся, от лица которых и выступало большевистское руководство.

В Кагальницком сельсовете насчитывалось 2 тыс. 524 хозяйств и 12 тыс. 594 жителей, среди которых преобладали крестьяне и казаки, значительную часть составляли также кустари и ремесленники. На занятия населения существенно влияли два фактора: с одной стороны, малоземелье, крестьянский надел составлял чуть более 0,5 десятины на человека, с другой стороны, близость Азовского моря, Дона и его притоков, богатых рыбой, а также Ростов-на-Дону как промышленного центра. Основная масса хозяйств – 1 629 (64,5 %) – с 8 264 жителями (65,6 %) занималась земледелием. При этом, исходя из площади обрабатываемой земли, 68 % хозяйств попадали в категорию середняцких, но и они жили не только за счет земледелия, но и побочных доходов от рыболовства и других занятий. Лишь 33 % хозяйств обрабатывали свои наделы собственным скотом. Если даже прибавить хозяев, имевших одну лошадь и, в большинстве случаев, работавших в «скопщину», совместно, то обеспечено скотом оказывалось 55 % хозяйств. Нехватка рабочего скота не позволяла расширить посевные площади, и часть населения занималась ремеслами, торговлей и рыболовством. Отдельные крестьяне возвращали полученный земельный надел обратно, не имея возможности обрабатывать его из-за отсутствия тягловой силы.

Многосемейность хозяйств и небольшой размер посевов препятствовали широкому применению наемно-батрацкого труда. Свою роль также играла «супруга» как одна из традиционных форм крестьянской трудовой кооперации, заключавшаяся

в соединении рабочей силы, скота и инвентаря ряда хозяйств для совместного выполнения отдельных работ. Указав на неполноту предоставленных ему данных, проверяющий, тем не менее, сделал вывод о незначительности применения наемного труда. Постоянно он применялся только в 13 хозяйствах (от одного до трех батраков в каждом) и, не только в хозяйствах, обеспеченных рабочим скотом и посевной площадью, но и в хозяйствах малопосевных, имевших трудоемкие культуры посева, для обработки которых собственных рабочих рук не хватало. Тягловая сила, имевшаяся у середняков, нередко использовалась в других хозяйствах на условиях «трудообмена» или за плату. Временно, в период уборки урожая, сенокоса, прополки подсолнуха, кукурузы, картофеля, наемный труд применялся не менее чем в 30 % хозяйств, при этом, по словам проверяющего, «условия этого найма маскируются различными способами – родством, трудообменом, частичной помощью и т.п., поэтому учет такого наемного труда чрезвычайно усложняется». Около 12 % хозяйств с.Кагальник, помимо наделенной земли, пользовались арендованной, из них 102 хозяйства (около 6,3 %) арендовали более 1 десятины. Все это свидетельствовало о том, что Кагальницкий сельсовет относился к «местностям, населенным близкими к середнякам слоями крестьянства», а вовсе не к тем, где бы широко применялась аренда земли зажиточным крестьянством у бедняков.

Хозяйств ремесленников в Кагальницком сельсовете насчитывалось 478, при этом только 149 из них использовали труд учеников, подмастерьев и мастеров, и лишь в четырех это являлось обязательным условием производства. Шесть хозяйств имели подмастерьев и мастеров, остальные – от одного до трех учеников, общее количество которых составляло 193 чел.

Применение новой инструкции ВЦИК привело к значительному увеличению численности лиц, подлежавших лишению избирательных прав. В избирательную кампанию 1925/26 гг. в Кагальницком сельсовете насчитывалось 5 960 чел., достигших избирательного возраста. Из них было лишено избирательных прав 57 торговцев, 12 священников, 1 чел., находившийся под опекой, 1 осужденный с лишением избирательных прав, 3 офицера, всего 74 чел. или 1 % от общего количества избирателей. В избирательную кампанию 1926 г. под действие инструкции попало уже 683 чел. или 10,2 % от общего количества избирателей. Численность лишенцев выросла на 609 чел. или в 9,2 раза. Основную массу новых лишенцев составили кустари и ремесленники, использовавшие труд учеников и подмастерьев – 145 хозяйств с 414 чел. (60,6 %). Затем шли торговцы – 62 хозяйства с 155 чел. (22,7 %), лица, использовавшие наемный труд в обработке земли – 13 хозяйств с 38 чел. (6 %), священники – 9 хозяйств с 18 чел. (3 %) и различные категории «бывших» – бывшие волостные старшины, торговцы, полицейские и т.п. – 16 хозяйств с 48 чел. или около 7 %.

Высочинский сельсовет включал 539 хозяйств, в которых проживало 2 697 чел. В отличие от Кагальника, здесь значительно преобладали

крестьянские земельные хозяйства, их насчитывалось 523 (97 %) с 2 628 чел. (97,4 %). В Высочинском сельсовете также сказывалось малоземелье, но середняки составляли 80,4 % хозяйств. 40 % хозяйств были способны собственным скотом обрабатывать наделенные земли, а в совокупности с 28 % однолошадных крестьян скотом было обеспечено 68 % хозяйств. Постоянно наемный труд применялся в 15 хозяйствах, временно, в период уборки урожая или покоса трав – в 19, в основном в 16 хозяйствах, имевших 10 и более десятин. 12 хозяйств перерабатывали молоко на сепараторах за соответствующую плату, что подходило под определение «систематического предоставления инвентаря в пользование окружающему населению». Однако, по оценке проверяющего, это не имело «кабального характера», что не позволяло ставить вопрос о включении этих хозяйств в состав подлежащих ограничению в избирательных правах.

В докладной записке отмечалось, что составление списков лишенных избирательных прав было произведено «чрезвычайно не точно». Поэтому «многие лица, должные по занимаемому положению попасть в списки, в таковые не попали». В предыдущих выборах было лишено избирательных прав 5 чел., включая 2 священников и 3 чел., находившихся под опекой или 0,4 % от общего количества избирателей. В кампанию 1926 г. под действие новой инструкции попадали 15 хозяйств, применявших наемный труд как основной (40 чел.), 4 хозяйства, имевшие паровые молотилки (16 чел.), 2 хозяйства священнослужителей (8 чел.), 2 хозяйства, временно занимавшиеся торговлей мясом (4 чел.), 3 душевнобольных и лиц, состоявших под опекой. Всего отстранялось от участия в выборах 24 хозяйства с 74 чел. или 5,3 % от общего количества избирателей. Увеличение произошло по сравнению с прошлым годом примерно в 15 раз. В Высочинском сельсовете, как и Кагальницком, практиковалась дача средств займа, но учесть таких лиц не представлялось возможным.

В целом, докладная записка отражает стремление проверяющего отнестись к реализации новой инструкции по «всей строгости закона». Учакин несколько раз подчеркивает необходимость более тщательного учета лиц, использовавших наемный труд и дававших займы «на кабальных процентах». Он отмечает, что обучение ремеслам в Кагальнике – «обычное явление, и применяется оно во многих случаях не в целях извлечения прибыли, а чаще в целях добрососедского уважения – научить сына или дочь соседа, родственника или знакомого ремеслу, однако, это не исключает наличия ряда фактов, где ученичество практикуется как добавочный труд». В то же время инструктор облисполкома волнуется то, что увеличение численности лишенцев могло отрицательно отразиться на настроении ремесленников, «особенно если принять во внимание то обстоятельство, что до 29 % из них служило в рядах Красной Армии». Более того, согласно новой инструкции в Кагальницком сельсовете подлежали лишению избирательных прав 10 членов прежнего состава сельсовета, из которых 8 являлись ремесленниками, а в Высочинском сельсовете – 2 чел.

Действительно, по установленным инструкцией критериям можно было лишить избирательных прав почти все крестьянское население. За применение «наемного труда» в число «лишенцев» попал, например, крестьянин дер. Мушино Удомельской волости Тверской области М.М. Марков, писавший: «Мне... ставят в вину, что у меня были плотники при производстве надворных построек. В деревне нет такого крестьянина, который не пользовался бы наемным трудом при ведении построек. Строить дом или двор одному невозможно». 73-летний житель дер. Брусово той же волости А.А. Соловьев был лишен избирательных прав за то, что вместе с братом приобрел патент и торговал лесом, хотя за него ходатайствовало 40 односельчан. В своем обращении они писали, что Соловьев в молодости батрачил, предприятий не имел, жил всегда небогато. В 1926 г. у него сгорел дом, пала корова «и старик обнищал, живя только огородом, имея болезнь рака, в результате чего у него удалена нижняя челюсть, и получает питание только молочное через искусственный аппарат» [7].

Лишение избирательных прав советских граждан предусматривалось и в качестве меры уголовного наказания. Согласно Уголовному кодексу РСФСР 1926 г., поражение политических и отдельных гражданских прав могло назначаться осужденному как полностью, по всей совокупности прав, так и по отдельным их категориям, среди которых закреплялось и непосредственно лишение активного и пассивного избирательного права. Суд рассматривал вопрос о поражении прав осужденного при вынесении приговора о лишении свободы на срок свыше года. Поражение в правах назначалось в качестве и самостоятельной, и дополнительной меры социальной защиты. В то же время она не могла соединяться с условным осуждением и общественным порицанием и назначаться на срок свыше пяти лет. В случае назначения рассматриваемой меры в качестве дополнительной к лишению свободы, поражение прав распространялось на все время отбытия заключения и сверх того на срок, определенный приговором. При досрочном освобождении в силу амнистии или помилования срок поражения в правах исчислялся со дня освобождения от лишения свободы [8].

Численность лишенцев в Советской России постоянно росла. В 1924 г. в РСФСР их насчитывалось 700 тыс. чел. или около 1,6 % от общей численности избирателей. В 1926 г. – 4,5 % избирателей, в 1927 г. – 7,7 % (в сельской местности, соответственно, 1,1 и 3,3 %) [9]. В городах РСФСР в 1926 г. она составила 219 745 чел. (4,2 %), в 1927 г. – 612 236 (7 %), в 1929 г. – 727 365 (7,2 %), т.е. в абсолютном выражении за три года увеличилась более чем в три раза. В других республиках численность лишенцев, как правило, оказывалась еще выше. В 1929 г. она составила 11,8 % избирателей Украины, 13,7 % – в Узбекистане. В целом же, согласно опубликованным данным, в СССР в 1929 г. были лишены избирательных прав 8,6 % взрослого населения, тогда как в 1927 г. – 7,7 %. Ш. Фицпатрик приводит данные, согласно которым численность лишенцев в РСФСР в 1930 г. составила почти

2,5 млн. чел., и, как минимум, 4 млн. чел. в СССР. Приблизительный характер указываемых цифр, по ее мнению, свидетельствует о том, что власти, скорее всего, и сами точно не знали, сколько человек было лишено избирательных прав [10, с. 295]. Увеличение численности лишенцев было связано не столько с более тщательным их выявлением, сколько с поворотом к административно-волевым методам руководства в связи со сворачиванием нэпа.

Право избирать и быть избранным всегда относилось к числу основных политических прав граждан, обеспечивающих им возможность прямо и непосредственно участвовать в управлении государством. Однако избирателям в Советской России в 1920–1930-е гг. фактически отводилась роль статистов, так как на их рассмотрение представлялся заранее подготовленный безальтернативный кандидат или список, утвержденный партийными органами [11]. В то же время лишение избирательного права отнюдь не являлось простой формальностью, поскольку вместе с ним человек терял и другие права и возможности пользоваться социальными благами. Лиц, лишенных избирательных прав и членов их семей, не принимали в учебные заведения, в партию и комсомол, им было сложно устроиться на работу. Лишенцев не брали в колхозы, они не могли стать членами кооператива, артели, а при налогообложении им полагалось «твердое задание». После введения карточной системы в 1928 г. лишенцы не получили карточек и были вынуждены покупать продукты по коммерческим ценам, их также лишали пенсий и пособий. В 1929–1930 гг. в государственных учреждениях прошли «чистки» с целью удалить из них лишенцев и других «социально-чуждых» лиц. Больницы и суды, жилищные и налоговые ведомства, другие структуры должны были проводить по отношению к ним дискриминационную политику.

Секретное постановление правительства в августе 1930 г. запрещало предоставлять работу лишенцам и другим служащим, потерявшим ее в результате недавних чисток, их предлагалось «отправлять на лесозаготовки, торфоразработки, на уборку снега, и только в такие места, где испытывают острую нехватку рабочей силы». Новой дискриминации подверглись лишенцы и при выдаче паспортов, хотя в правилах, установленных комиссией Политбюро, не говорилось прямо, что лишение избирательных прав само по себе может быть основанием для отказа в выдаче паспорта. Однако местные должностные лица, как правило, автоматически отказывали в выдаче паспортов лишенцам, членам их семей и вообще всем, в ком интуитивно чувствовали «социально-чуждых» [10, с. 145–147].

Немало лишенцев пыталось обжаловать принятые в отношении них меры. Только за первые два месяца 1930 г. от граждан РСФСР поступило 17 тыс. жалоб на необоснованное лишение избирательных прав (за те же месяцы 1926 г. – менее 500). В большинстве из них упор делался не на само лишение прав, а на сопутствующие дискриминационные меры: выселение из квартир, исключение из профсоюзов и учебных заведений, увольнение с работы, обложение специальными налога-

ми, раскулачивание и т.д. Восстановлением в правах занимались различные учреждения: сельские советы, райисполкомы, ЦИК автономных республик, ВЦИК РСФСР. Для этого в них создавались специальные комиссии по рассмотрению жалоб лишенцев. Были опубликованы письма лишенцев к различным властным структурам, от поселковых и районных избирательных комиссий до обращений к Председателю Президиума Верховного Совета СССР М.И. Калинину как главе государства, а также в редакции газет [12].

Однако на практике восстановление в правах, как правило, сопровождалось достаточно унижительными публичными ритуалами. Например, священнослужителям приходилось публично отрекаться от собственного сана, а то и от веры в Бога. Ради восстановления в правах люди отказывались от членов своей семьи, от собственного прошлого, порой шли на откровенную ложь и подкуп должностных лиц, от которых зависело принятие положительного решения. Пожалуй, одним из немногих «нормальных» способов являлась служба в армии и на флоте, дававшая возможность после демобилизации восстановиться в правах.

Только согласно Конституции СССР 1936 г. все совершеннолетние граждане страны, за исключением умалишенных и осужденных судом с лишением избирательных прав, получили право избирать и быть избранными. Лишение прав как мера социальной и правовой дискриминации была официально отменена, просуществовав 18 лет. На практике же в советских анкетах, заполнявшихся при приеме на работу, и после этого сохранялся пункт: «Были ли вы когда-либо лишены избирательных прав?», позволявший осуществлять дискриминацию в отношении бывших лишенцев и членов их семей.

Таким образом, лишение избирательных прав стало одной из важнейших мер советской политики, направленной на кардинальную трансформацию общества. Отказавшись от прямого террора эпохи Гражданской войны, власть в годы нэпа перешла к иным способам ликвидации социальных групп и слоев, которые она полагала для себя потенциально враждебными. С отказом от нэпа эти меры только усиливались, лишенцы превращались в изгоев, подвергались дальнейшим репрессиям. В то же время документы свидетельствуют о том, что многие лишенцы достаточно лояльно относились к советскому строю, воспринимая произошедшее с ними как результат некоей ошибки и обращаясь с просьбами восстановить справедливость. Они не успели разобратся с переменами в правящем курсе и быстро к ним приспособиться.

Анализ лишения избирательных прав как правовой нормы и его реализации на практике позволяет понять общий ход, направленность и тенденции в развитии советской репрессивной политики в 1920–1930-х гг. Данная форма репрессий также красноречиво характеризует сам стиль взаимоотношений власти и общества: советским гражданам приходилось самостоятельно догадываться, чего от них ожидают, и искать способы демонстрации всемерной поддержки режима. Впрочем, и в этом слу-

чае они не были полностью застрахованы от таких «неприятностей», как ложный донос или простая ошибка судебно-следственных органов.

Статья подготовлена в рамках проекта «Повседневный мир советского человека: стратегии выживания и механизмы адаптации в условиях социальных трансформаций 1920–1940-х гг.» Программы фундаментальных исследований Отделения историко-филологических наук РАН «Генезис и взаимодействие социальных, культурных и языковых общностей».

Литература

1. *Социальный портрет* лишенца (на материалах Урала). Екатеринбург, 1996.
2. *Хлынина Т.П.* Чистки и лишение избирательных прав советских граждан в 1930-е годы: штрихи к портрету времени // *Российская история: проблемы, мнения, оценки* (федеральных, региональных социально-экономических и политических процессов). Ученые записки. Вып. 3. Пятигорск, 2004. С.94–103.
3. *Федорова Н.А.* Лишенцы 1920-х годов: советское сословие отверженных // *Журнал исследований социальной политики*. 2007. Т. 5. № 4. С. 483-496.
4. *Декреты Советской власти*. М., 1959. Т. 2. С. 561-562.
5. *Собрание узаконений и распоряжений Рабоче-крестьянского правительства РСФСР*. 1926. № 75. Отд. 1. С. 889.
6. *Докладная записка* заведующему организационным отделом Донисполкома // *Азовский историко-археологический и палеонтологический музей-заповедник. Фонд документов*.
7. *Ильин Н.* Реализация партийно-государственной политики по отношению к кулачеству Северо-Западного региона Тверской области // *Удомельская старина. Краеведческий альманах*. 2003. № 30. Январь.
8. *Уголовный кодекс РСФСР*. В редакции 1926 года. Издание официальное. М., 1927. Ч. 1. Ст. 20-д. Ст. 31-а. Ст. 32. Ч. 2. Ст. 23, 32, 34. Ч. 3. Ст. 34.
9. *Итоги выборов* в Советы РСФСР в 1927 г. М., 1927. Вып. 1. С. 21.
10. *Фицпатрик Ш.* Повседневный сталинизм. Социальная история советской России в 30-е годы: город / Пер. с англ. М., 2001.
11. *Тимофеева Л.С., Федорова Н.А.* Советская избирательная система при переходе к НЭП // *История государственности Республики Татарстан и современность*. Казань, 2000. С. 43-53.
12. *Крестьянские истории: Российская деревня 20-х годов в письмах и документах*. М., 2001.

Статья поступила в редакцию 11.04.2011.

УДК 94(470)"1920/1930"

ИСТОРИЯ ГУЛАГА В НОВЕЙШЕЙ РОССИЙСКОЙ ИСТОРИОГРАФИИ

В.И.МЕНЬКОВСКИЙ

Белорусский государственный университет, г. Минск
menkovski@bsu.by

Статья посвящена проблеме изучения российскими исследователями генезиса и компонентов сталинизма, его места и роли в советской истории. Автор предлагает свой взгляд на современную историографическую ситуацию в российской исторической науке.

Ключевые слова: российская историография, сталинизм, ГУЛАГ

V.I.MEN'KOVSKY. HISTORY OF GULAG IN THE NEWEST RUSSIAN HISTORIOGRAPHY

The paper is devoted to studying the problem of genesis and components of Stalinism, its place and role in the Soviet history, by the Russian researchers. The author gives his view on modern historiographic situation in the Russian historical science.

Keywords: Russian historiography, Stalinism, GULAG

Одной из приоритетных тем современной исторической науки является научный анализ советского общества 1920-1930-х гг. Изучение истории XX в. немыслимо без тщательного исследования основных политических, экономических и социокультурных составляющих советской системы, оценки уникальности «сталинского» Советского Союза в ряду других государств мира. В эти годы советская модель цивилизации обрела свои определяющие черты, в основном сохранившиеся на всем протяжении советской истории и без кардинальных изменений перенесенные в практику «социалистического строительства» в целом ряде государств. В этой связи объективный анализ исторического опыта СССР 20-30-х гг. прошлого века приобретает общегосударственное значение.

Среди сложного комплекса вопросов, которыми занималась новейшая российская историография, одним из главных было изучение сталинизма, его генезиса, составляющих компонентов, места и роли в советской истории. Российская и советская научная литература о Сталине и сталинизме включает множество книг и статей. Однако необходимо признать, что до сегодняшнего дня на вопрос о том, что такое сталинизм нет простого или единственного ответа. В Советском Союзе схемы объяснений создавались многократно в зависимости от различных обстоятельств, точек зрения и опыта. Например, сталинизм, как система ассоциирующаяся с определенным политическим режимом и общественно-экономической системой, назывался идеологами режима и политическими лидерами того времени социализмом. Но даже в то время в советском обществе различные группы вкладывали в понимание социализма разное содержание.

Конечно, интеллектуальное объяснение сталинизма не было работой одного поколения. Для каждой новой генерации сталинский период означал что-то иное. И хотя количество возможных

«сталинизмов» не безгранично, поскольку система связана с определенными конкретными историческими составляющими, она чрезвычайно велика и сложна. Ни одно из известных определений сталинизма не охватывает всей совокупности фактов. Каждая формулировка включает в себя только часть из них, подбираемых в зависимости от определенного угла зрения.

В классической советской интерпретации истории СССР, т.е. в официальной сталинской версии, господствовавшей с середины 1930-х до середины 1950-х гг., феномен, который мы сейчас называем «сталинизмом», определялся как «строительство социализма». Обсуждение содержания этого понятия было ограничено цензурой и идеологическими рамками, а интерпретация вульгаризирована в пропагандистских целях. Тем не менее, интеллектуальная основа в классической советской версии была. Она уходила корнями в марксизм и предположение, что экономический базис, прежде всего собственность на средства производства, является определяющим для политической надстройки, общественных и культурных институтов.

Государственная собственность на средства производства была частично установлена после Октябрьской революции и значительно расширена в конце 1920-х гг. после уничтожения городского частного сектора, принятия первого пятилетнего плана и установления централизованного государственного планирования. Коллективизация крестьянских хозяйств, осуществленная быстрыми темпами и с большим количеством жертв в первой половине 1930-х гг., уничтожила капитализм в сельском хозяйстве. В соответствии с марксистской теорией это были базовые предпосылки социализма.

Однако существовало и серьезное несоответствие классическому марксизму, предполагавшему безусловное уничтожение государства как аппарата насилия. Это противоречие было уstra-

нено в официальной интерпретации через подчеркивание сохраняющейся угрозы «капиталистического окружения», которое заставляло государство оставаться сильным и бдительным, а сам Сталин преподносился как продолжатель дела Ленина. Также указывалось на внутреннюю угрозу со стороны оставшихся классовых врагов. Сохраняющаяся угроза оправдывала существование монополии Коммунистической партии на власть, роль вождя в советской политической системе, усиление карательных органов.

Но с официальной сталинской точки зрения эта черта не была постоянной и первостепенной. В системных терминах наиболее значимым показателем советского прогресса в «строительстве социализма» было принятие новой советской Конституции 1936 г., которая провозгласила, что в основном враждебные классы уничтожены.

После XX съезда КПСС, осудившего «культ личности» Сталина и его злоупотребления властью, советская классическая модель сталинизма была заменена. Перечислив очень ограниченный ряд «ошибок» и «крайностей», совершенных Сталиным, власть направила все внимание только на его личность. Таким образом, ключом к пониманию сталинизма определялся сам Сталин, лидер, чьи патологические черты стали причиной «искажений социализма». Главное направление кампании десталинизации заключалось в демифологизации Сталина без демифологизации власти коммунистической партии. Теперь лично Сталин оказался причиной всех советских катастроф и неудач так же, как раньше он был причиной всех советских достижений.

В 1970-е гг. официальное советское отношение к сталинизму заключалось в том, что «ленинские нормы» были нарушены в «период культа личности», но основы системы, тем не менее, сохранились. Для поколения, выросшего в сталинские годы и идентифицировавшего себя с большевистской революцией и коммунистической партией, возможность отделить Ленина от Сталина была психологически важным моментом. Ускоренная сталинская индустриализация, несмотря на ее стоимость и жертвы, понесенные населением, оценивалась как необходимая и «социалистическая». Без нее страна не могла бы вырваться из отсталости и выйти на передовые позиции в мире после второй мировой войны. СССР не победил бы в войне с Германией. Коллективизация была также необходима и в основном правильна, хотя допускались и «эксцессы» в отношении крестьян.

В силу политических причин «сталинизм» как исторический термин не использовался в Советском Союзе даже в первые «перестроечные годы». В феврале 1986 г. М. Горбачев в интервью французской газете «Юманите» говорил, что «сталинизм» был придуман антикоммунистами для атаки на социализм и Советский Союз [1]. Г. Бордюгов и В. Козлов отмечали, что «термин «сталинизм», которого раньше сторонились, который вызывал исключительно отрицательные эмоции, который политики и обществоведы считали «не нашим», звучал в СССР в середине 1987 г. [2].

В годы перестройки позиция власти по отношению к сталинизму трансформировалась в сторо-

ну его неприятия и осуждения, однако это уже не была официальная точка зрения. Среди советского руководства стал возможен плюрализм мнений и к концу 1980-х гг. единой точки зрения просто не существовало. Впервые за весь советский период официальное мнение перестало быть обязательным для специалистов-исследователей. В эти годы среди советских историков доминировали два типа объяснения сталинской системы. Первое связывало генезис сталинизма с идеологической доктриной большевиков и однопартийной политической системой с запрещенными фракциями внутри партии, установленной после революции. Главной характеристикой сталинизма была репрессивная диктатура и сталинизм в основном оценивался как продолжение ленинского этапа. Эта интерпретация была похожа на одно из стандартных западных объяснений в рамках тоталитарной парадигмы.

В другом варианте анализа обращалось внимание на социальные силы. Речь, прежде всего, шла о бюрократизации, создании нового бюрократического правящего класса, являвшегося квинтэссенцией сталинизма. Здесь прослеживалась связь с позицией многих европейских марксистов и западных историков-ревизионистов. Сторонники такой точки зрения предполагали, что единственной социальной опорой сталинизма была новая бюрократическая элита. Но высказывались и предположения, что сталинизм имел поддержку за ее пределами. Такие идеи обсуждались осторожно, поскольку могли быть истолкованы как оправдание сталинских действий.

Дискуссии о феномене сталинизма неизбежно приводили к вопросу об исторической необходимости – был ли сталинизм неотвратимым этапом советской истории или его можно было избежать. Историки стали использовать концепцию альтернатив, что позволило вырваться из жестких рамок марксистских закономерностей и причинной обусловленности. По отношению к 1930-м гг. это дало возможность концептуализировать советскую историю в терминах серии решающих выборов и моментов решения. Таким образом, они отказывались от подхода, основанного на «единственной правде», характерного для традиционной советской историографии, и приближались к более свободной методологии, типичной для мировой исторической науки.

Изучение истории антигуманной сталинской системы, применявшей насилие в столь большом масштабе, накладывало серьезный эмоциональный и психологический отпечаток на работы исследователей. Эмоциональная составляющая труда историка в данном случае неизбежна, даже если он прилагает все возможные усилия для сбалансированного и объективного изучения. Но это все равно история. И необходимо суметь объяснить то иррациональное, нелогичное, что присутствовало в жизни страны и, более того, поддерживалось частью общества, включая высокоинтеллектуальные слои.

Перемены, которые произошли в российской историографии на рубеже XX–XXI вв., со всей очевидностью свидетельствовали о том, что российская историческая наука приобрела новые очертания. Она перестала быть локальной, замкнутой в своих теоретико-методологических основах, сложился ее

новый язык. Выявились важнейшие тенденции в формировании научной историографии российской истории.

Ученые обратились к сфере междисциплинарных связей научного знания, к исследованиям на границах разных дисциплин, в частности истории и психологии, истории и филологии, истории и культурологии. Залогом эффективности взаимодействия являются понимание каждой стороной собственных задач, высокая исследовательская культура. Поиск новых подходов к изучению истории происходил, во-первых, на теоретико-методологическом уровне через определение структуры, задач и методов исторических исследований; во-вторых, на уровне исследований конкретно-исторических проблем; в-третьих, в направлении осмысления различных исторических концепций и их персоналий; в-четвертых, через изучение исторического сознания общества.

Отражением названной ситуации стал один из самых острых и дискуссионных вопросов истории сталинского периода – оценка роли и места ГУЛАГа в системе сталинского террора и сталинской системы в целом [3–8]. Вопрос о терроре имел три важнейшие составляющие – масштаб репрессий, количество жертв и их характеристика; функции террора, рациональные и иррациональные мотивы его использования; степень органичности и неизбежности террора в советской системе. Сложившаяся концептуальная характеристика роли политического террора в коммунистических системах определяла его как произвольное использование органами политической власти жестокого насилия против личностей или групп или реальную угрозу такого использования. При этом не всякое насилие оценивалось как террор, поскольку «обычные» насильственные средства оставляют жертвам возможность сориентироваться и предусмотреть последствия определенных действий. Террор не дает таких возможностей, не обеспечивая неприкосновенность даже для конформистов.

В центре внимания современной историографии стоит вопрос о взаимоотношении исторической науки и исторического самосознания народа. Самосознание рассматривается как фактор, определяющий интерес общества к исторической науке, как связующее звено между наукой и культурой. Историческая наука, будучи формой социального самопознания, формирует отношение общества к прошлому» [9], т.е. формирует историческое сознание. Без исторических исследований, считает А.Я. Гуревич, нет исторического сознания, а только память о прошлом [10].

Решение указанных задач может быть эффективным лишь при учете целого ряда факторов, характеризующих современную историографическую ситуацию в российской исторической науке.

Во-первых, развитие исторической науки и образования сегодня происходит в условиях качественно нового этапа «информационной революции», когда значительно расширились возможности изучения научной и учебной исторической литературы, вышедшей за рубежом и ранее мало доступной читателю. Эти работы базируются во многом на иной, чем издававшейся в стране долгие годы, методологической и теоретической основе, демонстрируют иные научные подходы.

Во-вторых, это своеобразная «архивная революция», происходящая в изучении российской истории с начала 1990-х гг. Огромный массив ранее недоступной науке информации, особенно по новейшей истории, требует не просто введения его в научный оборот, но и новых теоретико-методологических подходов к его интерпретации. Определенная доля построений и выводов российской историографии под натиском этой ранее неведомой информации нуждается или в кардинальном пересмотре, или в существенных уточнениях.

В-третьих, российская историческая наука и историческое образование не могут не учитывать острую необходимость преодоления негативных явлений недавнего прошлого, связанных с господством монополярной методологии в исторической науке. Новые идеи и методы современной историографии являются результатом происходящих изменений в историческом сознании общества и самосознании историка.

Литература

1. *Laqueur W.* The Dream that Failed: Reflections on the Soviet Union. New York, 1994. P. 111.
2. *Бордюгов Г. А., Козлов В. А.* История и конъюнктура: Субъективные заметки об истории советского общества. М., 1992.
3. *Покаяние: Мартиролог.* Т. 1–8. Сыктывкар, 1998–2008; ГУЛАГ: Экономика принудительного труда. М., 2008.
4. *ГУЛАГ (Главное управление лагерей).* 1918–1960. М., 2002.
5. *Дети ГУЛАГа.* 1918–1956. М., 2002.
6. *Заклученные на стройках коммунизма.* ГУЛАГ и объекты энергетики в СССР. М., 2008.
7. *Историография сталинизма: Сб. ст.* М., 2007.
8. *История сталинского ГУЛАГа. Конец 1920-х – первая половина 1950-х гг. Собрание документов в 7 т.* М., 2004.
9. *Могильницкий Б.Г.* Историческое сознание и историческая наука // Исторические воззрения как форма общественного сознания. Ч. 1. Саратов, 1995. С. 12.
10. *Гуревич А.Я.* Культура и история // Новая и новейшая история, 1991. № 1. С. 49.

Статья поступила в редакцию 11. 04.2011.

УДК 903.25(470.13)

ТОРГОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ СВЯЗИ ПЕРМИ ВЫЧЕГОДСКОЙ С ВОЛЖСКОЙ БУЛГАРИЕЙ

Э.А. САВЕЛЬЕВА, К.С. КОРОЛЕВ

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

leonora.hist@mail.komisk.ru; korolev.hist@mail.komisk.ru

В статье рассматриваются предметы болгарского импорта на памятниках предков коми-зырян – Перми вычегодской. Ассортимент болгарских изделий, включающий преимущественно ювелирные серебряные изделия и предметы поясной гарнитуры, отсутствие болгарской керамики и поселений свидетельствуют об исключительно торговом характере связей Перми вычегодской с Волжской Булгарией. Эквивалентом обмена выступали меха. Обмен и торговля стимулировали развитие пушного промысла, ускорили развитие товарно-денежных отношений у предков коми-зырян, имущественной и социальной дифференциации общества.

Ключевые слова: Пермь вычегодская, болгарский импорт, ювелирные изделия, поясная гарнитура, торговые связи

E.A. SAVELYEVA, K.S. KOROLEV. TRADE-ECONOMIC RELATIONS OF THE VYCHEGDA PERM WITH THE VOLGA BULGARIA

Objects of Bulgarian import in sites of ancestors of the Komi-Zyryans – the Vychehda Perm - are considered. Assortment of Bulgarian articles, including mainly silver jewelry and a set of belt adornment, absence of Bulgarian ceramics and settlements testify to exclusively trading character of relations between the Vychehda Perm and the Volga Bulgaria. Furs acted as equivalent of exchange. The exchange and trade stimulated development of fur craft, accelerated development of commodity-money relations in ancestors of the Komi-Zyryans, property and social differentiation of society

Key words: the Vychehda Perm, Bulgarian import, jewelry, a set of belt adornment, trading relations

Волжская Булгария занимала видное место в европейской торговле домонгольского периода (X–XIII вв.). Торгово-экономические связи Волжской Булгарии имели серьезное воздействие на экономическое и культурное развитие соседних народов, в том числе Прикамья и Приуралья. Об этом свидетельствуют как данные археологии, так и языкознания. В пермских языках (коми и удмуртском) отмечается около 30 древнечувашских (булгарских) заимствований. Среди них: кан (царь), карта (хлев), коба (прялка), кись (бердо), оныр (седло), сутонь (лук), сукман (сукно), суса (челнок), сюри (шпудька), чарла (серп) и др. Обращают на себя внимание болгарские слова-заимствования, обозначающие предметы быта булгарских ремесленников (колодка, прялка, бердо, лукошко, шпудька, челнок) и др., термины, связанные с занятиями населения сельским хозяйством (хлев, серп, редька, репа, курица, седло и др.), ткачеством (челнок, шпудька), металлургией (свинец) и т.п. Эти заимствования являются свидетельством влияния булгарской культуры в области земледелия, животноводства, металлургии на пермские племена [1].

А.П.Смирнов отмечал, что наиболее интенсивными были контакты булгар с предками удмуртов, которые не ограничивались культурно-торго-

выми связями. Древние удмурты находились в политической зависимости от булгар и платили им дань [2]. По его мнению, «несколько иную картину мы видим у населения районов Вычегоды, средней и верхней Камы, не входивших непосредственно в состав Булгарского государства и находившихся лишь в торговых связях с Булгаром» [3]. В дальнейшем идеи А.П.Смирнова были уточнены, углублены и конкретизированы в исследованиях археологов, работавших в регионах Волго-Камья, – В.А.Оборина, Е.П.Казакова, М.Г.Ивановой, А.М.Белавина и др. Как известно, в регионах проживания предков удмуртов и коми-пермяков найдено большое количество болгарской керамики, украшений, предметов быта, выявлены остатки их торговых факторий и некрополей [4–6]. В Прикамье обнаружены опорные ремесленные и торговые пункты, где проживали не только представители местного населения, но и булгары [7–9].

Торгово-экономическим связям Перми вычегодской с Волжской Булгарией посвящены работы Э.А.Савельевой [10–13]. Установлено, что на территории Перми вычегодской нет следов постоянного проживания булгарского населения. По археологическим и письменным источникам Пермь вычегодская не была в политической зависимости от

Волжской Булгарии. С XI-XII вв. она оказалась в сфере экономических и политических интересов древнерусских княжеств, прежде всего Новгорода, а затем Ростово-Суздальского, в дальнейшем Московского княжества. В XII в. в долине Выми и Вычегды появляются первые древнерусские поселения. В условиях усиления влияния русских княжеств болгаро-пермские связи ограничивались в основном сферой торгового обмена. Об этом свидетельствует, в частности, ассортимент болгарских изделий на памятниках Европейского Северо-Востока – это преимущественно ювелирные украшения из серебра, бронзовая поясная гарнитура, единичные предметы быта. Торговля была достаточно интенсивной, о чем свидетельствует тот факт, что болгарский импорт представлен на 16 памятниках предков коми-зырян из 33-х, известных в настоящее время (рис. 1). Для сравнения – болгарские изделия найдены на 170 из 370 родановских памятников [6, 14]. В процентном отношении эти цифры составляют 48 и 46% соответственно, что свидетельствует о достаточно интенсивных торговых контактах болгарских купцов с северными соседями.

Древнейшими и основными путями с юга в бассейн Вычегды и Выми были водные – по притокам верхней Камы – Южной Кельтме и Березовке, далее по притокам верхней Вычегды – Северную Кельтму и Нем [15]. Несомненно, существовал и другой путь – по Вятке и Сыsole (рис. 2). Булгарских купцов влекли на север, так же как и русских, пушные богатства края. Отсюда вывозились меха, стекавшиеся на международные рынки Волжской Булгарии, которые булгары продавали купцам из Арабского Востока, Византии, Западной Европы, Руси. Наибольшим спросом пользовались меха горностая и зайца, норки и куницы, соболя, лисицы, рыся и бобра. Одним из платежных средств являлось серебро, в первую очередь, арабское. На памятниках древних коми в XI-XII вв. встречены остатки весов для взвешивания серебра, а также саманидские дирхемы. Через Булгар на Европейский Север попадали изделия из Средней Азии, служившие нередко прототипами для изготовления булгарскими мастерами украшений для северных народов с учетом их потребностей и вкусов. К ним относятся, в частности, бляхи с изображением всад-

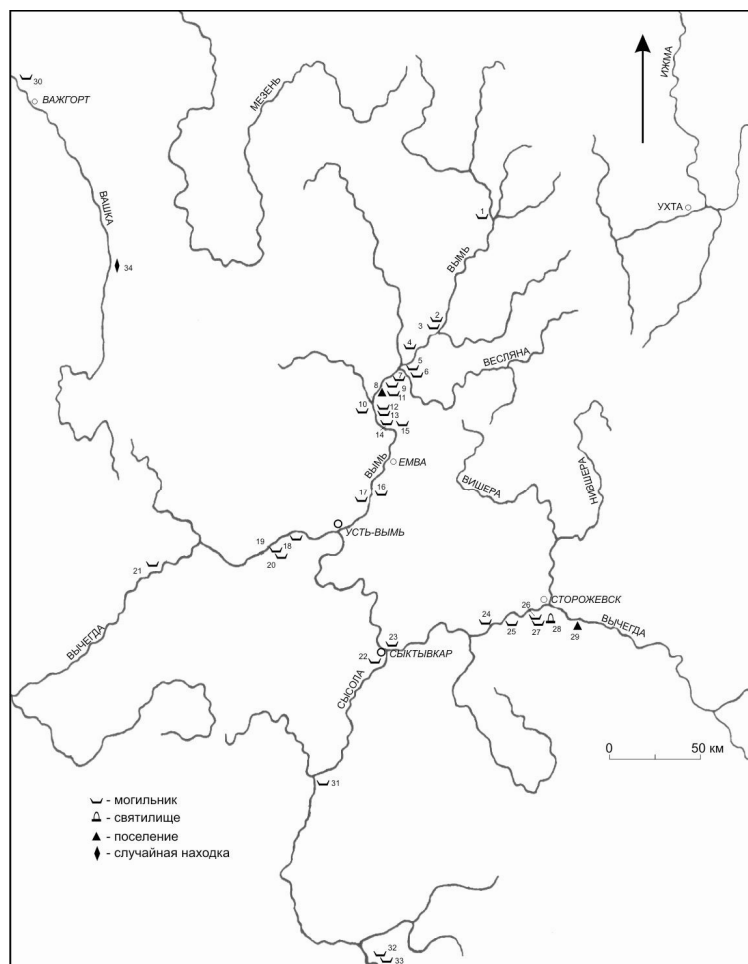


Рис. 1. Памятники Перми вычегодской (XI-XIV вв.):

1 – Кедавомский могильник, 2 – Ошмосский могильник, 3 – Кичильковский I могильник, 4 – Кичильковский II могильник, 5 – Веслянский II могильник, 6 – Ветьюсский могильник, 7 – Ыджыдзельский могильник, 8 – Жигановское поселение,

9 – Жигановский могильник, 10 – Вадъягский могильник, 11 – Отлинский I могильник, 12 – Отлинский II могильник, 13 – Кокпомъягский могильник, 14 – Петкойский могильник, 15 – Гидсайягский могильник, 16 – Часадорский могильник, 17 – Лялинский могильник, 18 – Чежтыягский могильник, 19 – Джибъягский могильник, 20 – могильник Клянышпласта, 21 – Ленский могильник, 22 – Усть-Сысольский могильник, 23 – Озельский могильник, 24 – Пезмогский могильник, 25 – Небдинский могильник, 26 – могильник Шойнаты II, 27 – могильник Шойнаты III, 28 – святилище Джуджыдъяг, 29 – поселение Леваты, 30 – Вильгортский могильник, 31 – Вотчинский могильник, 32-33 – Ужгинские I и II могильники, 34 – случайная находка (р.Вашка).

Список памятников Перми вычегодской с импортными булгарскими изделиями

№ п/п	Памятник	№ на карте
1.	Кичильковский I мог. –	3
2.	Веслянский II мог. –	5
3.	Ветьюсский мог. –	6
4.	Ыджыдзельский мог. –	7
5.	Жигановский мог. –	9
6.	Жигановское поселение –	8
7.	Кокпомъягский мог. –	13
8.	Петкойский мог.	14
9.	Вадъягский мог. –	10
10.	Чежтыягский мог. –	18
11.	Усть-Сысольский мог. –	22
12.	Шойнаты III мог. –	27
13.	Шойнаты II мог. –	26
14.	Пезмогский мог. –	24
15.	Вотчинский мог. –	31
16.	Случайная находка на р. Вашке	34

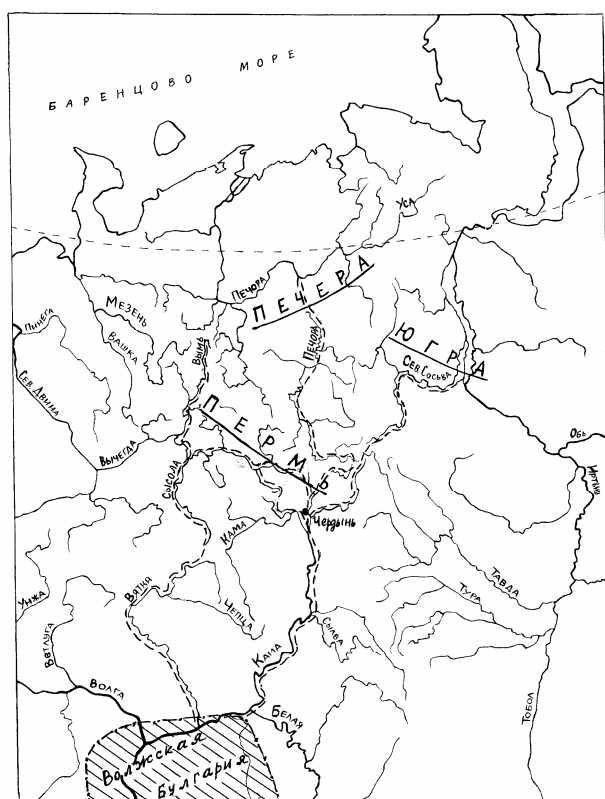


Рис. 2. Водные пути, соединяющие Волжскую Булгарию, европейский Северо-Восток и Приуралье.

ника. Вместе с серебряными болгарскими изделиями в земли древних коми попадали восточные украшения с ювелирными камнями и бусы (из сердолика, горного хрусталя, флюорита). Встречаются вставки из халцедона, сердолика, хризопраза яблочно-зеленого цвета, а также флюорита. Все эти изделия являлись эквивалентом обмена в силу их высокой ценности при сравнительно небольшом объеме. Они пользовались большим спросом у местного населения благодаря своей красоте, прочности. В то же время они считались символом богатства, способствовали повышению социального престижа их владельцев [16]. По поверьям восточных народов все драгоценные и полудрагоценные камни обладали магическими свойствами и служили оберегами-амулетами и талисманами. Им приписывались и медицинские свойства. Многие камни (гранаты, горный хрусталь, халцедон) использовались для лечения различных видов заболеваний. Вероятно, древним коми были известны приписываемые ювелирным камням лечебные свойства [17].

Таким образом, Волжская Булгария играла и роль посредника между Востоком и народами Восточной Европы, в том числе древними коми.

Картографирование импортных болгарских украшений на памятниках Перми вычегодской свидетельствует о том, что основная их масса в XI–XIII вв. оседала на Выми, где находился центральный район проживания предков коми-зырян (рис. 1; табл. 1, 2). На нижней Вычегде болгарские украшения встречены в погребальных комплексах Чечтыягского могильника (Истомина, 1992. С.128-129), расположенного сравнительно недалеко от устья р.Вымь. (табл. 1), на средневычегодских – восточ-

Таблица 1

**Импортные изделия на памятниках
Перми вычегодской (кроме бус)**

№ п/п	Памятник	Материал болгарских изделий		Булгарские изделия	Все привозные изделия
		серебро	бронза		
1.	Кичильковский I мог.	6	54	60	147
2.	Веслянский II мог.	5	1	6	14
3.	Ветьюсский мог.	7	–	7	10
4.	Ыджыдзельский мог.	11	17	28	101
5.	Жигановский мог.	13	10	23	83
6.	Кокпомъягский мог.	7	1	8	100
7.	Петкойский мог.	5	–	5	19
8.	Вадъягский мог.	2	6	8	25
9.	Чечтыягский мог.	17	41	58	?
10.	Шойнаты II мог.	1	–	1	33
11.	Шойнаты III мог.	1	–	1	9
12.	Пезмогский мог.	1	–	1	25
13.	Усть-Сысольский мог.	2	–	2	6
14.	Вотчинский мог.	3	42	45	?
15.	Жигановские поселения	1	–	1	?
16.	р.Вашка. Случайная находка	–	1	1	–
Всего:		82	173	255	570

Таблица 2

**Импортные изделия на вымских памятниках
Перми вычегодской**

№ п/п	Памятник	Материал болгарских изделий		Булгарские изделия (всего)	Все привозные изделия	% болгарских изделий
		серебряные	бронзовые			
1.	Кичильковский I мог.	6	54	60	147	40,4
2.	Веслянский II мог.	5	1	6	14	42,7
3.	Ветьюсский мог.	7	–	7	10	70
4.	Ыджыдзельский мог.	11	17	28	101	19,8
5.	Жигановский мог.	13	10	21	83	27,7
6.	Кокпомъягский мог.	7	1	8	100	8
7.	Петкойский мог.	5	–	5	19	26,3
8.	Вадъягский мог.	2	6	8	25	32
Всего:		57	89	143	499	27,5%

нее Вымского бассейна, – в единичных экземплярах [18] (табл. 3).

На 15 могильниках Перми вычегодской найдено 82 украшения костюма из серебра и 171 изде-

Таблица 3

Импортные изделия на средневычегодских памятниках Перми вычегодской

№ п/п	Памятник	Материал болгарских изделий		Булгарские изделия	Все привозные изделия	% болгарских изделий
		серебро	бронза			
1.	Шойнаты II мог.	1	–	1	33	3
2.	Шойнаты III мог.	1	–	1	9	11
3.	Пезмогский мог.	1	–	1	25	4
4.	Усть-Сысольский мог.	2	–	2	6	33
	Всего:	5		5	73	6,8%

лие поясной гарнитуры из бронзы болгарского производства (табл.1).

Среди серебряных украшений представлены гривны (2 экз.; рис. 3–20), очелья (2 экз.; рис. 3–21), лунницы (9 экз.; рис. 3–14 – 18), калачевидные серьги (7 экз.; рис. 3–9 – 11), браслеты (3 экз.; рис. 3–22, 23), круглые бляшки со сканью и зернью (12 экз., рис. 3–2), круглые и розетковидные бляшки с шатоном для вставки камней (5 экз.; рис. 3–3, 5, 6, 19), биконические (10 экз., рис. 3–1, 1а) и шлемовидные подвески (3 экз.; рис. 3–4), щитковые перстни (12 экз.; рис. 4, 1–9), бляхи с изображением всадника (6 экз.; рис. 4–30–34–36), крестовидная подвеска из четырех филигранно-зерненных бляшек с шатоном для вставки камня в центре (рис. 3–7).

Плетеная шейная гривна с серебряной трапезиевидной привеской, украшенной пирамидками и ромбами из крупной и средней зерни, скаными поясками, шариками крупной зерни, инкрустированная камнем, найдена на Кичилькосьском I могильнике [19] (рис.3–20). Небольшой фрагмент подобной гривны представлен в инвентаре Петкойского могильника [20]. Аналогичная гривна болгарского производства встречена в древностях предков коми-пермяков [21]. Подобные украшения вкладах найдены на территории Волжской Булгарии [22].

В погребении с шейной гривной Кичилькосьского I могильника найдены два бронзовых плетеных несомкнутых браслета, заканчивающиеся серебряными квадратными шатоном, оправленными сканью и зернью, с каменными вставками (рис.3–22, 23). Аналогичный плетеный браслет из серебра с шатоном и стеклянными вставками на концах обнаружен на нижневычегодском Чжэтыягском могильнике [23]. Подобные браслеты встречаются в коллекциях болгарских кладов на территории Волго-Камья в Булгаре и Биляре [22].

Из Ыджыдзельского могильника происходит богатое очелье, состоящее из серебряной овальной подвески с сердоликовой вставкой, орнаментированной сканью и зернью, двух круглых серебряных бляшек и двух трехбусинных височных колец,

украшенных сканью и зернью, соединенных строганными спиралевидными пронизками, нанизанными на шнур, разделенными между собой стеклянными бусинами (рис. 3–21). Аналогичная серебряная подвеска, обрамленная сканью, найдена на Чжэтыягском могильнике. В центре ее – остатки шатона для вставки камня, окруженного сканой проволокой, в верхней части подвески видны крупные шарики зерни [23].

На могильниках предков коми-зырян представлены серебряные округлые бляшки (круглые и розетковидная), украшенные сканью и зернью, вставками из сердолика и янтаря в центре (рис. 3–3, 6, 19), которые, вероятно, относятся к головным украшениям (налобники, очелья) [21]. В аналогичной технике выполнены биконические подвески с ушком (рис. 3–1, 1 а) и серебряные подвески шлемовидной формы с шатоном в центре для каменной или стеклянной вставки (рис. 3–4). Такие украшения встречены на Жигановском, Кокпомъягском, Вадъягском, Петкойском, Вотчинском, Веслянском II и Чжэтыягском могильниках.

Булгарское происхождение имеют и стандартные круглые серебряные бляшки, украшенные сканью и зернью (рис. 3–2), найденные на Ыджыдзельском, Ветьюсском и Веслянском II могильниках. В частности, в составе очелья, описанного выше, имеются две круглые бляшки и два трехбусинных височных кольца, выполненные в филигранно-зерненной технике (рис. 3–21). Примыкает к перечисленным изделиям, выполненным в подобной же технике, бляшка крестовидной формы из четырех спаянных круглых серебряных бляшек, с шатоном прямоугольной формы для каменной вставки, найденная на Кокпомъягском могильнике (рис. 3–7). Аналогичные украшения представлены в Прикамье в Вильгортском кладе [24]. Вышеописанные украшения в целом, включая круглые бляхи, датируются XI–XII вв. [13].

К булгарским ювелирным вещам относятся серебряные лунницы двух типов: замкнутые круглые с шатоном из камня или стекла в нижней части и с круглым отверстием в верхней и более мелкие лунницы с разомкнутыми концами [13] (рис. 3–14–17). Они обильно украшены пирамидками и ромбами из зерни, зерновыми шариками в окружении сканых колец, что вполне соответствует ювелирным приемам булгарских мастеров [25]. Тонкость и изящество в изготовлении лунниц предполагает их особое значение в ряду булгарских украшений, что, по мнению А.М. Белавина, связывалось с мусульманской символикой [21]. По форме, отделке и орнаментации булгарские лунницы значительно отличаются от славянских [26].

Значительную группу украшений составляют серебряные щитковые перстни булгарского производства [11] (рис. 4–1–9). Они найдены на Кичилькосьском I, Ыджыдзельском, Жигановском, Кокпомъягском, Чжэтыягском и Ветьюсском могильниках. Излюбленные сюжеты – замкнутая плетенка, растительный орнамент. Особенностью булгарских черненных изделий вообще и их отличием от русских являются оригинальный орнамент, сплошное чернение фона и золочение прочерченного рисунка

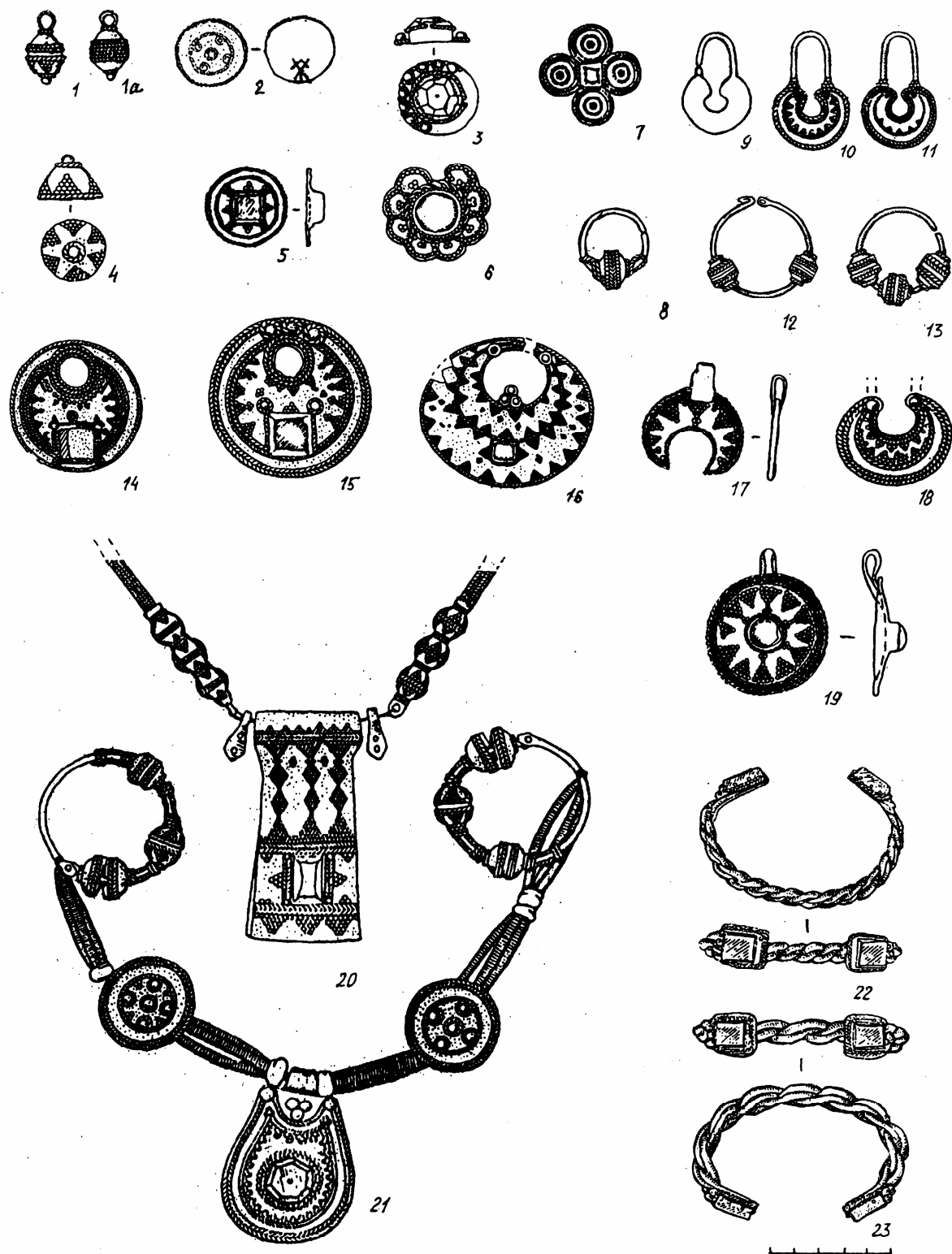


Рис.3. Булгарский импорт на памятниках Перми вычегодской. Ювелирные серебряные украшения со сканью и зернью:

1, 1a – биконические подвески, 2 – круглая бляшка, 3 – круглая бляшка с сердоликовой вставкой, 4 – подвеска шлемовидной формы, 5 – круглая бляшка с прямоугольным шатоном для камня, 6 – розетковидная бляшка с янтарной вставкой, 7 – крестовидная подвеска, 8, 12, 13 – бусинные височные кольца, 9-11 – калачевидные серьги, 14-18 – лунницы, 19 – круглая подвеска с круглым шатоном для камня, 20 – плетёная шейная гривна с серебряной трапециевидной подвеской с каменной вставкой, 21 – налобник с овальной подвеской с сердоликовой вставкой, 22-23 – плетённые бронзовые браслеты с серебряными шатонами на концах.

(1, 7, 14, 16 – Кокпомъягский мог.; 2 – Веслянский II мог.; 3, 13 – Жигановский мог.; 4, 6, 12, 15, 21 – Ыджыдзельский мог.; 5, 17, 19 – Чежтыягский мог.; 8-11, 20, 23 – Кичилькосьский I мог.).

[25, 27, 21, 28]. По мнению К.А. Руденко, на перстнях из вымских могильников, которые он относит к изделиям болгарского производства, мотив «узла счастья» (два переплетенных сердечка) становится весьма модифицированным (рис. 4–1, 6, 7). Появляются и зооморфные мотивы (птица – идея «неба») (рис. 4–8). В орнаментации вымских перстней отсутствует мотив крина (ростки растений – символ жизни), преобладают геометрические сюжеты, в их числе двойная плетенка (рис. 4–6), узловая орнаментация (рис. 4–9) [29].

Большинство описанных выше ювелирных изделий из серебра объединяются рядом общих черт и, прежде всего, технологией изготовления – они выполнены в скано-зерненной технике, при которой зернь группируется треугольниками и ромбами. Крупная зернь используется самостоятельно в окружении колец из скани, на всех типах украшений часто применяются шатоны для каменных и стеклянных вставок. XI–XII вв. – время расцвета болгарского ювелирного искусства, когда в Восточной Европе (как в славянском, так и в финно-угорском мирах) получают широкое распространение серебряные украшения со сканью и зернью [30].

В инвентаре могильников Перми вычегодской имеются серебряные височные одно-, двух- и трехбусинные кольца, одно из которых представлено на Ыджыдзельском могильнике в комплексе с бесспорно болгарскими украшениями (очелье, круглые серебряные бляшки, выполненные в скано-зерненной технике) (рис. 3–8, 12, 13).

Украшениями болгарского происхождения традиционно считались серебряные калачевидные серьги. В древностях Перми вычегодской они представлены двумя типами: 1) неорнаментированными, или бедно орнаментированными [11] (рис. 3–9); 2) богато украшенными треугольниками зерни и сканью [11] (рис. 3–10, 11). Они известны на вымских и вычегодских могильниках, в том числе на Усть-Сысольском [18]. По аналогиям, а также арабским и западноевропейским монетам в погребениях, калачевидные серьги в данных комплексах датируются XI в. В самой Волжской Булгарии подобные изделия не обнаружены. Проведенный исследователями анализ распространения и технологии изготовления скано-зерненных калачевидных изделий привел к выводу о том, что они появились вначале на памятниках Удмуртского и Пермского Предуралья, где датируются X–XIII вв. Исследователи полагают, что в XI–XIV вв. они распространялись именно с этих территорий, а не из Волжской Булгарии [32, 33]. Более того, в настоящее время в научной литературе высказывается предположение об изготовлении некоторых других категорий скано-зерненных украшений на территории Пермского и Удмуртского Приуралья местными ремесленниками и мастерами под влиянием болгарского ремесла [5; 29; 32; 33]. Среди них некоторые одно- и трехбусинные височные кольца, отдельные бусины со сканью и зернью, височные украшения с грушевидной привеской.

Однако представляется, что эти выводы нуждаются в корректировке и уточнении. Серебряные височные кольца, серьги, богато украшенные сканью и зернью, из памятников Перми вычегодской

принципиально не отличаются от других достоверно болгарских украшений и наиболее вероятно, что они имеют болгарское происхождение. Для решения этой дискуссионной проблемы, как справедливо отмечают исследователи, необходим комплексный анализ данных изделий с учетом производственных и культурных традиций как прикамских, так и болгарских ювелиров [22].

Поясная гарнитура болгарского происхождения представлена на могильниках Перми вычегодской многочисленными бронзовыми накладками различных типов (167 экз.) и наконечниками ремней (4 экз.). Наибольшее количество поясных украшений из бронзы найдено на Кичилькосьском I могильнике (р. Вымь) (53 экз.), Вотчинском (р. Сысола) (41) и Чажтыгском (нижняя Вычегда) могильниках (42 экз.).

На остальных могильниках Перми вычегодской они представлены в значительно меньших количествах, а на некоторых – единичными экземплярами (Петкойский, Веслянский II могильники).

Среди импортных болгарских поясных накладок преобладают бронзовые выпуклые сердцевидные (44 экз.) и щитовидные (46 экз.), орнаментированные псевдозернью и растительными узорами, которые прикреплялись к ремню штифтиками [19, 34] (рис. 4–12–16). Сердцевидные накладки делятся на крупные (рис. 4–13, 14) и мелкие (рис. 4–12). Среди щитовидных и сердцевидных накладок имеются неорнаментированные экземпляры с круглыми и продольными отверстиями и без них.

На вымских могильниках представлена серия накладок в виде круглых выпуклых бляшек-розеток с шариком в центре [11] (12 экз.: рис. 4–18). Полушарические бляшки, орнаментированные кружочками, найдены в погребениях Кичилькосьского I могильника (7 экз.) [35] (рис. 4–19). Умбоновидные накладки со спиральными концентрическими линиями, а по краю – насечками, имитирующими скань (25 экз.), обнаружены на Кичилькосьском I, Кедвавомском, Клянмышластском и Чажтыгском могильниках (рис. 4–17).

Особую категорию поясных накладок на Ыджыдзельском и Вадъягском могильниках Перми вычегодской составляют многоугольные фигурные, которые делятся на литые сплошные (4 экз.) и фигурно-прорезные с ромбовидной прорезью (11 экз.) (рис. 4–24, 27). На Жигановском и Ыджыдзельском могильниках найдены оригинальные поясные накладки прямоугольной формы с изображением одной (8 экз.) или двух человеческих личин (6 экз.), направленных в противоположные стороны [37, 11] (рис. 4–20, 21). На Вадъягском и Ыджыдзельском могильниках обнаружены две идентичные поясные накладки с подвижным кольцом с изображением дракона с раскрытой пастью и извивающимся туловищем [35, 37] (рис. 4–11). Из Кокпомъягского могильника происходит фигурно-прорезная накладка с кольцом (рис. 4–10) и поясная накладка с неподвижным кольцом и штифтиками на обратной стороне сердцевидной формы с волнообразными овальными краями с изображением крылатого дракона с длинным извивающимся туловищем, птичьими лапами и разинутой пастью (рис. 4–35).

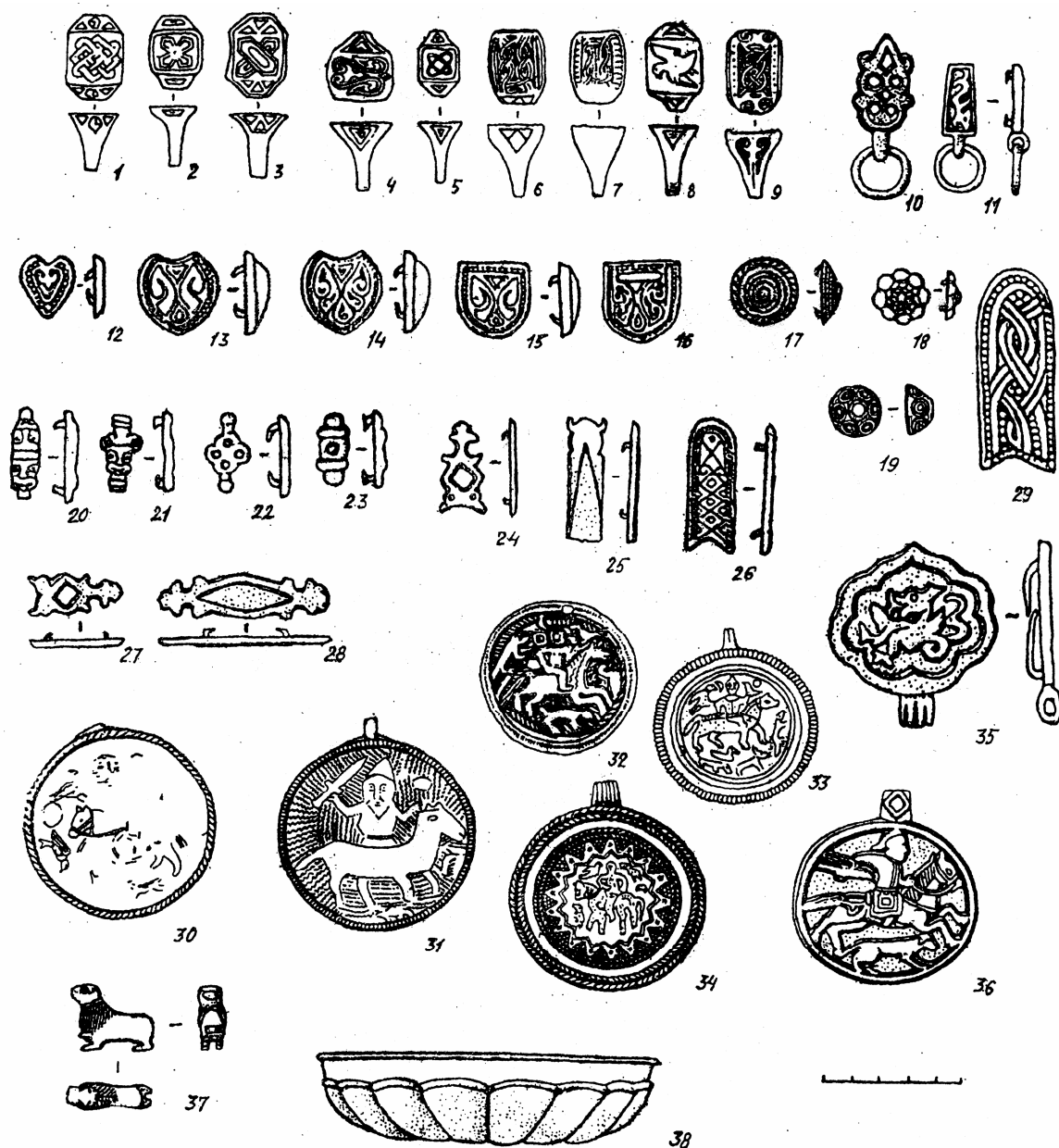


Рис. 4. Булгарский импорт на памятниках Перми вычегодской: 1-9 – щитковые серебряные перстни, 10-25, 27, 28, 35 – бронзовые поясные накладки, 26, 29 – бронзовые наконечники ремней, 30-34, 36 – бляхи с изображением охотничьих сцен, 37 – бронзовый замок в виде собачки, 38 – бронзовая чаша в виде цветка лотоса. (1-3, 10 – Кокпомьягский мог.; 12-19, 26, 29 – Кичильковский 1 мог.; 4, 5, 8, 9, 20, 21, 32, 33 – Жигановский мог.; 6, 7, 11, 22, 24, 30, 31, 34, 35, 38 – Ыджидьельский мог.; 37 – случайная находка).

Представляют интерес своеобразная фигурная накладка с утолщением в виде четырехлепестковой прорезной розетки в центре из Ыджидьельского [37] и овальная в сечении накладка с двумя поперечными валиками и округлым углублением в центре из Жигановского могильников (рис. 4–22, 23).

На Кичильковском I и Вотчинском могильниках представлены литые бронзовые наконечники ремней с креплением на штифтах, с одним полукруглым концом, с другим – в виде ласточкиного хвоста. Они орнаментированы плетенкой, геометрическими узорами, по краям – псевдозернью (рис. 4–26, 29).

Практически вся перечисленная поясная гарнитура из бронзы имеет прямые аналоги в булгарских поясных украшениях, найденных в Булгаре и Прикамье. Сердцевидные и щитовидные накладки идентичны широко представленным на памятниках Булгара, Рождественском городище и могильнике в Прикамье [25, 28, 9, 38]. Аналогии накладкам в виде круглых бляшек-розеток с лепестками по кругу с шариком в центре имеются в Булгаре [28, 25], на Рождественском городище и могильнике [9, 38]. На Рождественском городище и могильнике обнаружены умбоновидные [9, 38] и полусферические накладки, орнаментированные кружочками.

Фигурные накладки (сплошные и фигурно-прорезные), с изображением одного и двух человеческих лиц имеют абсолютно идентичные аналогии на Булгарских памятниках [25, 28]. Близкая по облику поясная накладка с человеческой личиной найдена в Белоозере [39]. В Булгаре имеются копии небольших накладок с подвижными кольцами с изображением дракона и крылатого дракона с птичьими лапами и разинутой пастью на более крупной накладке с неподвижным кольцом [25, 28].

С Волжской Булгарией и Востоком связаны круглые бляхи с изображением всадника, найденные на Кичилькосьском I, Ыджидьельском, Жигановском могильниках [40, 13]. Одна довольно примитивная копия подобной бляхи, видимо, местного производства, найдена возле дер. Онежье на Выми [13]. Из рассматриваемых изделий только две бронзовые (рис. 4–36), остальные – серебряные, диаметром от 5,4 до 6,5 см (рис. 4–30–34). Все они, за исключением онежской, найдены в погребениях в области груди погребенного и имеют петельку или отверстие для подвешивания. Судя по сопровождающему инвентарю, в большинстве случаев они являлись атрибутом мужских погребений (за исключением одного). Серебряные бляхи выполнены техникой плоской чеканки, бронзовая – отлита в односторонней форме. Все рассматриваемые изделия объединяет фигура всадника на коне, окруженного изображениями лесных животных, птиц и солярных знаков. Они, видимо, использовались у народов Приуралья в качестве культовых предметов и выражали их космогонические представления. Сюжет «охотничьей» сцены сложился под влиянием иранского искусства и имел религиозный смысл, представляя антропоморфное божество, покровительствующее животному миру [41, 40]. Вероятно, они изготавливались в Волжской Булгарии с учетом запросов соседних финно-угорских племен [30]. На булгарских городищах найдены бронзовые матрицы для производства этих блях [25]. На булгарское производство рассматриваемых предметов указывает и техника их изготовления: плоская чеканка, чернь, скань и зернь. Аналогичные бляхи известны в Прикамье, Поволжье и Зауралье, где датируются XII–XIII вв. [41, 42].

Кроме ювелирных украшений и поясной гарнитуры на памятниках вымской культуры встречаются и единичные булгарские предметы быта, относящиеся к золотоордынскому периоду, в частности, замок в виде собаки, найденный на р. Вашка возле с. Важгорт Удорского р-на Республики Коми (рис. 4–37), ложчатая круглодонная бронзовая чаша, нижняя часть которой оформлена в виде цветка лотоса из Ыджидьельского могильника на Выми [11, 13] (рис. 4–38).

Торгово-экономические связи Перми вычегодской с одним из передовых средневековых государств Восточной Европы – Волжской Булгарией, стоявшей на значительно более высокой ступени развития, способствовали распространению на Европейском Северо-Востоке культурных достижений соседних государств, ускорили развитие товарно-денежных отношений у предков коми-зырян, что вело к углублению имущественной и социальной дифференциации общества.

Литература

1. *Лыткин В.И.* О древнетюркских элементах в лексике пермских языков // Вопросы финно-угорского языкознания. Ижевск, 1967. Вып. IV. С. 131–142.
2. *Смирнов А.П.* Волжская Болгария // Степи Евразии в эпоху средневековья / Археология СССР. М., 1981. С. 208–212.
3. *Смирнов А.П.* Очерки древней и средневековой истории народов Поволжья и Прикамья // МИА. М., 1952. № 28. С. 68–110.
4. *Бадер О.Н., Оборин В.А.* На заре истории Прикамья. Пермь, 1958. С. 244.
5. *Белафин А.М.* Ремесленные центры Пермского Предуралья в системе средневековой торговли // Древние ремесленники Приуралья. Ижевск, 2001. С. 139–147.
6. *Белафин А.М.* О локализации страны Вису в Пермском Приуралье // Коми-пермяки и финно-угорский мир. Кудымкар, 1997. С. 166–170.
7. *Иванова М.Г.* Чепецкие древности. Устинов, 1985. С. 115.
8. *Казаков Е.П.* Волжская Болгария и финно-угорский мир северо-востока Европы IX–XI вв.: проблемы экономического и этнокультурного взаимодействия // Коренные этносы Севера европейской части России на пороге нового тысячелетия: история, современность, перспективы. Сыктывкар, 2000. С. 176–177.
9. *Белафин А.М., Крыласова Н.Б.* Древняя Афкула: археологический комплекс у с. Рождественское. Пермь, 2008. С. 509.
10. *Савельева Э.А.* Этнокультурные связи Перми вычегодской // Тез. Докл. VI Международного конгресса финно-угроведов. Сыктывкар, 1985. Т. IV. С. 159.
11. *Савельева Э.А.* Вымские могильники XI–XIV вв. Л., 1987. 200 с.
12. *Савельева Э.А.* Культурно-торговые связи Перми вычегодской с Волжской Булгарией // Тез. докл. Республиканской краеведческой конференции. Сыктывкар, 1988. С. 58–59.
13. *Савельева Э.А.* Роль Волжской Булгарии в развитии культуры Перми вычегодской // Исследования по средневековой археологии лесной полосы восточной Европы. Ижевск, 1991. С. 95–110.
14. *Оборин В.А.* Коми-пермяки // Финно-угры Поволжья и Приуралья в средние века. Ижевск, 1999. С. 255–298.
15. *Оборин В.А.* Культурные связи племен Верхнего Прикамья с племенами северо-востока Европы в эпоху железа // Древности Восточной Европы. М., 1969. С. 156–167.
16. *Королев К.С., Савельева Э.А.* Минералы в культуре Перми вычегодской // Минералы в материальной культуре древних уральских народов. Свердловск, 1988. С. 7–12.
17. *Сидоров А.С.* Знахарство, колдовство и порча у народа коми. Л., 1928. 190 с.
18. *Королев К.С.* Новый район обитания вычегодских пермян. Сыктывкар, 1979. С. 48.
19. *Савельева Э.А.* Пермь вычегодская. М., 1971. 224 с.
20. *Савельева Э.А.* Петкойский могильник // Памятники эпохи камня и металла Северного

- Приуралья. Сыктывкар, 1988. С. 101-121. (МАЕСВ; Вып. 11).
21. *Белавин А.М.* О своеобразии ювелирной продукции Волжской Булгарии X-XIII вв. // Проблемы финно-угорской археологии Урала и Поволжья. Сыктывкар, 1992. С. 142-148.
22. *Руденко К.А.* Булгарские клады (к вопросу о булгарской металлообработке XI-XIV вв. // Древние ремесленники Приуралья. Ижевск, 2001. С. 322-348.
23. *Истомина Т.В.* Раскопки Чежтыягского могильника // Архив Музея археологии и этнографии СыктГУ. Ф.2. Д.62. 93 л. 1988. Рис. 92, 100.
24. *Талицкий М.В.* Верхнее Прикамье в X-XIV вв. // МИА. М., 1951. № 22. С. 33-96.
25. *Полякова Г.Ф.* Изделия из цветных и драгоценных металлов // Город Болгар. Ремесло металлургов, кузнецов, литейщиков. Казань, 1996. С. 154-268.
26. *Успенская А.В.* Нагрудные и поясные украшения // Очерки по истории русской деревни. М., 1967. С. 88-132.
27. *Федорова Н.В.* Художественный металл Волжской Булгарии // Восточный художественный металл из Среднего Приобья. Л., 1991. С. 5-10.
28. *Руденко К.А.* Материальная культура булгарских селищ низовий Камы XI-XIV вв. Казань, 2001. 244с.
29. *Руденко К.А.* Булгарское черное искусство: перстни. Казань, 2010. 43 с.
30. *Хлебникова Т.А.* Еще одна находка болгарских ювелирных изделий // СА, 1963. № 1. С. 308-309.
31. *Рябинин Е.А.* Костромское Поволжье в эпоху средневековья. Л., 1986. С. 159.
32. *Иванова М.Г.* Этнокультурные связи северных удмуртов в эпоху средневековья // Взаимодействие древних культур Урала. Пермь, 1990. С. 45-53.
33. *Подосенова Ю.А.* «Булгарские» височные украшения из Пермского Предуралья // Пермские финны: археологические культуры и этносы. Сыктывкар, 2007. С. 208-210.
34. *Истомина Т.В.* Вотчинский могильник. Сыктывкар, 1999. С. 76-102. (МАЕСВ; Вып. 16).
35. *Савельева Э.А.* Кичильковский могильник // Археологические исследования в бассейне Печоры. Сыктывкар, 1973. С. 63-98 (МАЕСВ; Вып. 5).
36. *Истомина Т.В.* Комплекс погребения 37 Чежтыягского могильника // Проблемы финно-угорской археологии Урала и Поволжья. Сыктывкар, 1992. С. 125-136.
37. *Савельева Э.А., Зеленский В.С.* Хронология погребальных комплексов Ыджидьельского могильника // Памятники материальной культуры на Европейском Северо-Востоке. Сыктывкар, 1986. С. 99-118. (МАЕСВ; Вып. 10).
38. *Крыласова Н.Б.* Реконструкция костюма по материалам Рождественского и Огурдинского могильников X-XI вв. // Археология и этнография Среднего Приуралья. Березники, 2001. Вып. 1. С. 122-137.
39. *Захаров С.Д.* Древнерусский город Белоозеро. М., 2004. 592 с.
40. *Савельева Э.А.* Медальоны с восточными мотивами на Европейском Северо-Востоке // Материалы к этнической истории Европейского Северо-Востока. Сыктывкар, 1985. С. 92-110.
41. *Лещенко В.Ю.* Бляхи с охотничьими сценами из Поволжья // СА, 1970. № 3. С. 136-148.
42. *Белавин А.М.* Бляхи с «охотничьим» сюжетом из Верхнего Прикамья // Археология и этнография Среднего Приуралья. Березники, 2001. Вып. 1. С. 116-122.

Статья поступила в редакцию 07.07.2011.

ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 332.1:338.45

ТОПОЛОГИЯ БИЗНЕС-ПРОСТРАНСТВА В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СЕКТОРЕ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

О.В. БУРЫЙ

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

В статье представлена предварительная типология локальных отраслевых систем, основанная на анализе бизнес-пространства топливно-энергетического сектора Республики Коми. Определены ключевые структурные характеристики локальных отраслевых систем, а также экзогенные ограничения и внутренние возможности их саморазвития.

Ключевые слова: бизнес-пространство, локальные системы, топливно-энергетический сектор

O.V. BURIY. BUSINESS-SPACE TYPOLOGY IN THE FUEL AND ENERGY SECTOR OF THE KOMI REPUBLIC

The paper presents preliminary typology of local industrial systems, based on the Komi Republic's fuel and energy sector business-space analysis. Key structural characteristics of the local industrial systems, exogenous limitations and internal opportunities of their self-development are identified.

Key words: business-space, local industrial systems, fuel and energy sector

Саморазвитие территориальных экономических систем предполагает устойчивую способность региона или муниципального образования обеспечивать расширенное воспроизводство ВРП (ВМП) в условиях сложившейся макросреды и за счет собственных ресурсных возможностей и доходных источников в интересах реализации как макроэкономических целей и общенациональных приоритетов, так и внутрирегиональных целевых установок системного характера [1]. Задача теоретико-методологического обоснования указанного процесса потребовала детального описания топологии бизнес-пространства. Соответствующий анализ «геометрии размещения» определяющих видов экономической деятельности позволил не только идентифицировать локальные отраслевые системы (безусловную основу саморазвития), но и удовлетворить потребности в оценке эффективности, продуктивности и адекватности бизнеса интересам конкретного региона.

Исследования особенностей размещения топливно-энергетического и нефтегазового комплексов Республики Коми всегда были одной из приоритетных задач региональной науки. Стоит отметить геолого-экономическое районирование В.М. Худяевой, функционально-структурную организацию А.П. Обедкова и энергоэкономическое районирование, выполненное А.А. Калининой и И.Г. Успен-

ской. Эти работы позволили выявить пространственную структуру хозяйствования и, что особенно важно, разные роли отдельных районов в формировании крупного территориально-производственного комплекса. Было установлено, что только три района из семи нефтегазовых и шести энергетических определяли и совершенствовали пространственно-отраслевую организацию региона, остальные лишь «наращивали» его нефтегазовые и энергетические мощности [2–4]. Актуальность вопросов, поднятых еще в начале 80-х гг. прошлого века, обострилась изменившимися условиями реформенного (рынок) и пореформенного (кризис) периодов.

Последний финансово-экономический кризис не выявил ранее неизвестных противоречий между динамическим характером деловой активности, с одной стороны, и статичностью системы расселения и необходимостью обеспечения долгосрочной занятости населения, с другой [5,6]. Актуализировались лишь некоторые территориальные и отраслевые различия, позволяющие предположить, что одни виды экономической деятельности с учетом уровня их организации в силу рыночных, либо административных причин оказались более устойчивы к кризису, нежели другие [7]. К первым можно отнести – топливно-энергетический сектор большинства северных регионов.

Основные характеристики топливно-энергетического пространства

Если рассматривать территорию Республики Коми как непрерывное пространство, на котором происходят различного рода экономические трансакции (минимальные логически осмысленные операции) по поводу добычи, переработки и транспортировки топливно-энергетических ресурсов, а также их промежуточного и конечного потребления, то объектом исследования выступают локальные топливно-энергетические системы (ЛТЭС). Это специализированный вид локальных отраслевых систем, являющих совокупность мезо- и микросистем и хозяйствующих агентов, взаимодействующих в масштабе муниципального управления и расселения. Предметная область изучения отраслевых систем охватывает экзогенные ограничения и внутренне возможные их саморазвития в самом широком понимании.

Среди основных характеристик топливно-энергетического пространства, проявление и сочетание которых формируют различные типы систем, выделяются производственный профиль, технология, организация, труд, первичные ресурсы и территория.

Производственный профиль. Естественные природные условия, выражающиеся в разнообразии качества и условий залегания территориальных сочетаний минерально-сырьевых ресурсов, определили народнохозяйственную специализацию Республики Коми на производстве и поставках топливно-энергетических ресурсов на внутренний и внешний рынок. В предкризисный 2008 г. на долю ТЭК приходилось 72% всех налоговых поступлений, 40 – инвестиций в основной капитал, 12% численности, занятых в экономике. Комплекс представлен всем спектром производственных процессов: от сырьевых, связанных с производством продукции начального передела, до перерабатывающих, выпускающих конечные и промежуточные товары с высокой долей добавленной стоимости.

Нефтяная промышленность характеризуется разнообразным производственным профилем. Большая часть локальных элементов представлена мелкими промысловыми объектами (свыше 150 открытых месторождений), расположенными на обширной территории южной части Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции в границах 9 из 20 городских округов и муниципальных районов Республики Коми с ядрами в городах Усинск и Ухта, где сосредоточены основные производственно-технические базы и органы управления двух десятков недропользователей. Такое размещение является типичным для отечественной нефтяной отрасли [8]. Регион обладает и специфически обусловленными неполными сырьевыми производствами. Из 13 млн. т нефти, добытой в 2010 г., только треть была использована на территории региона в качестве сырья для переработки в г. Ухте и на промыслах в Усинском районе (мини-НПЗ для удовлетворения собственных нужд нефтяной компании-владельца). При этом более половины произведенной продукции предназначалось потребителям за пределами республики. Основной же объем сырой нефти был транспортирован трубопроводным и же-

лезнодорожным транспортом на нефтеперерабатывающие заводы ближнего и дальнего зарубежья [9].

В газовой отрасли ситуация несколько иная. Чисто газовых и газоконденсатных месторождений немного, из них базовым считается только одно. В результате производства сырьевого профиля сконцентрированы у одного недропользователя (ОАО «Газпром») в муниципальных районах «Вуктыл» и «Печора». С 2002 г. Республика Коми превратилась из нетто экспортера газа в нетто импортера, обеспечив, таким образом, полный перерабатывающий цикл. При сохранении структурных элементов производства произошли серьезные изменения в их соотношении: собственная добыча сырья падает по естественным причинам, глубокая переработка увеличилась из-за модернизации мощностей, транзит вырос из-за реализации новых газотранспортных проектов. В результате весь объем добываемого природного газа (2,9 млрд. м³ в год) идет на глубокую переработку непосредственно на территории Республики Коми (г. Сосногорск). Неполные сырьевые производства в этом сегменте характерны только для попутного нефтяного газа (0,5 млрд. м³ в год), потребляемого нефтяными компаниями для собственных технологических нужд преимущественно в городском округе «Усинск». Дефицит газового топлива (3,5 млрд. м³) восполняется Единой системой газоснабжения России.

Относительно полный перерабатывающий профиль характерен для угольной промышленности. С учетом складских запасов весь объем добываемого коксующегося и энергетического угля (11,9 млн.т в 2009 г.) проходит дальнейшее обогащение на территории региона в двух технологически и организационно независимых узлах (городах Воркута и Инта) и уже в таком виде поставляется потребителям внутри и за пределами Республики Коми [10].

Неотъемлемой частью топливно-энергетического комплекса Республики Коми является электро- и теплоэнергетика, представляющая собою практически замкнутую систему – 92% всего объема электрической энергии (9,2 млрд. кВтч) и 100% тепла (18,9 млн. Гкал) производится и потребляется внутри региона. Отрасль характеризуется дисперсным характером размещения производства, обусловленным крайне высокой степенью децентрализации энергообъектов (1 201 электростанция, включая Печорскую ГРЭС, пять ТЭЦ и 538 котельных). Неравномерный уровень промышленного и социально-бытового развития отражает трехкратная разница в подушевом потреблении энергии в городах и сельских поселениях республики. В территориальном отношении система включает пять энергоузлов (Воркутинский, Интинский, Печорский, Ухтинский, Южный), связанных системообразующими одноцепными ВЛ 220 кВ. Обеспеченность ТЭР достигается как внутриреспубликанским производством (газ, уголь, мазут), так и поставками природного газа из северных районов Западной Сибири.

Технология. ТЭК, являясь одним из лидеров промышленности Республики Коми по объему инвестиций, в целом характеризуется относительно высоким уровнем технологического развития. С одной стороны, предприятия, связанные с эксплуа-

тацией природных ресурсов, генерируют достаточный объем доходов для финансирования технологического обновления, а с другой – большинство из них входит в состав национальных корпораций, разрабатывающих и реализующих на территории региона собственные крупные инвестиционные проекты.

Тем не менее, ситуация внутри комплекса по секторам и предприятиям не однородна. Если рассматривать инновационную активность по видам экономической деятельности, то можно заметить, что число организаций, осуществляющих технологические инновации, изменяется в пределах от 1 до 6 единиц, а их удельный вес не превышает 5% в добыче топливно-энергетических ресурсов, 50 – в нефтепереработке и 10% – в производстве и распределении электроэнергии, газа и воды.

Основной всплеск модернизации производства пришелся на начало 2000-х гг., когда основные производственные активы в секторе добычи и переработки нефти, а также добычи коксующегося угля были приобретены соответственно ОАО «ЛУКОЙЛ» и ОАО «Северсталь». С тех пор модернизация производства здесь происходит регулярно, хотя ее глубина и темпы ниже, чем в 2000-2004 гг., и корректируются в соответствии с общеэкономической ситуацией. Также планомерно наращивается новое строительство в трубопроводном транспорте, контролируемом государственными компаниями ОАО «Транснефть» и ОАО «Газпром».

В секторе добычи и глубокой переработки газового сырья масштабная модернизация производства была осуществлена лишь однажды в период с 2002 по 2004 гг. С тех пор негативное влияние сырьевого фактора и конкуренция со стороны капиталоемких мега-проектов делает дальнейшее перевооружение Сосногорского газоперерабатывающего завода малоперспективным.

Еще в меньшей степени технологическое обновление коснулось секторов добычи энергетического угля и энергетики. Принципиальная разница в структуре рынка коксующегося и энергетического угля не позволила привлечь в отрасль стратегического инвестора. В результате на фоне положительной технологической динамики компании «Воркутауголь», ориентированной на одного крупного потребителя – металлурга, компания «Интауголь», обеспечивающая множество мелких потребителей-энергетиков, находится в состоянии перманентного кризиса.

Да и сам сектор тепло- и электроэнергетики не проявляет заметной инвестиционной и инновационной активности. Формально завершившаяся в 2008 г. реформа энергетики лишь зафиксировала фактическое состояние в отрасли, не приведя к сколь-нибудь заметным количественным и качественным улучшениям в развитии. Основные стратегические инвесторы – частные «Территориальная генерирующая компания № 9» (холдинг «Комплексные энергетические системы»), «Оптовая генерирующая компания № 3» и государственная «Межрегиональная распределительная сетевая компания» – предпочитают эксплуатировать созданные еще в советские годы производственные мощности, расходуя ограниченные инвестиционные ресурсы преимущественно на поддержание энергетических

объектов в безаварийном состоянии. Более мелкие (региональные и местные) игроки энергетического рынка Республики Коми естественным образом ориентированы на удовлетворение потребностей основного производства, с которым они формируют единую производственно-технологическую цепочку (например, ТЭЦ Сыктывкарского лесопромышленного комплекса).

Организация. Современное бизнес-пространство Республики Коми в сегменте ТЭК представлено ключевыми игроками национального уровня, взаимодействующими друг с другом посредством поставок и потребления топливно-энергетических ресурсов. Крупные корпорации доминируют организационно и территориально, отличаясь высокой экстерриториальностью, что является достаточно распространенным явлением в российской экономике применительно к столь капиталоемким и масштабным видам деятельности. Малый и средний бизнес, а также государственный сектор играют соподчиненную им роль, что проявляется в структурных характеристиках ЛТЭС.

В нефтяной промышленности лидирующие позиции занимает компания «ЛУКОЙЛ», консолидировавшая в начале 2000-х гг. наиболее рентабельные активы в сфере добычи, переработки и реализации нефти и нефтепродуктов в два территориальных производственных предприятия. Впоследствии к ним было добавлено третье предприятие в Ненецком АО. Таким образом, корпорация управляет единым территориально-производственным комплексом Тимано-Печоры с административным центром в г. Усинске (центр), тыловыми и индустриальными базами в Ухте (юг) и фронтирными – в Нарьян-Маре (север). Сбытовой центр перенесен в Санкт-Петербург, а головное управление традиционно осуществляется из штаб-квартиры в Москве.

В 2003 г. другая вертикально интегрированная компания (ВИНК) национального уровня ОАО «Роснефть» приобрела контроль над ведущим независимым производителем – ООО «Северная нефть». Но в отличие от ОАО «ЛУКОЙЛ» «Роснефть» владеет лишь одним относительно небольшим активом, не имеет собственной перерабатывающей и сбытовой сети в регионе (включая Ненецкий АО), являясь ВИНК лишь номинально. Более того, лицензия от ООО «РН-Северная нефть» была передана в ОАО «Роснефть», что привело к существенным потерям республикой доходов от добычи нефти в 2009 г.

Остальные полтора десятка недропользователей (в т.ч. ООО «Енисей», «Коминедра», «Нобель Ойл», «Печоранефтегаз» и др.) обеспечивают в сумме не более 20% добычи нефти. С точки зрения развития территорий своей деятельности – городских округов «Усинск», «Ухта» и муниципальных районов «Печора» и «Сосногорск» – каждый из них в отдельности занимает незначительное, либо маргинальное положение.

В газовой промышленности традиционно сильна роль ОАО «Газпром», контролирующего через свои представительства в г. Ухте всю систему газоснабжения Республики Коми, а также части Северо-Запада и Центра. В 2008 г. организационная

структура корпорации претерпела существенные изменения: управление магистральным транспортом было выделено в самостоятельное юридическое лицо с филиалом в г. Ухте и производственными объектами на территории шести субъектов Российской Федерации. Управление добычей и переработкой вследствие жесткой технологической зависимости было передано единым звеном в компанию «Газпром переработка» также с филиалом в г. Ухте и производственными объектами в городах Вуктыл, Печора и Сосногорск.

Угольная промышленность, с точки зрения организации, представлена двумя центрами – Воркутинским и Интинским, где сосредоточен бизнес по добыче соответственно коксующегося и энергетического угля.

Компания «Воркутауголь» с 2003 г. входит в сырьевой дивизион ОАО «Северсталь» и является самым большим предприятием г. Воркута. Стратегическое управление предприятием на территории Республики Коми, как и всеми горнодобывающими активами «Северстали» в России и мире, осуществляет ЗАО «Северсталь Ресурс». На локальном уровне организационная структура основного производства включает пять шахт, один разрез и центральную обогатительную фабрику. Вспомогательные производства представлены десятью учреждениями и предприятиями социальной и производственной инфраструктуры.

Компания «Интауголь» является градообразующим предприятием г. Инта. Сегодня в организационную структуру ОАО «Интинская угольная компания» входит одна единственная шахта и связанная с ней обогатительная фабрика. Структура собственности и стратегического управления, несмотря на статус открытого акционерного общества с обязательствами по раскрытию информации, представляется неопределенной: либо это по-прежнему государство в лице Российского фонда федерального имущества, либо частные инвесторы.

В энергетике кардинальные организационные изменения произошли 1 июля 2008 г., когда в ходе второго этапа реформирования завершились структурные преобразования активов энергохолдинга, произошло обособление от ОАО РАО «ЕЭС России» всех компаний целевой структуры отрасли (ФСК, ОГК, ТГК и др.) и прекращена деятельность головного общества ОАО РАО «ЕЭС России».

На территории Республики Коми региональным представительством энергохолдинга была компания «Комизэнерго». Ее основные генерирующие, тепловые и энергосбытовые активы были реализованы ОАО «Территориальная генерирующая компания № 9», зарегистрированной в г. Пермь и контролируемой через ОАО «Комплексные энергетические системы» бизнес-группой «Ренова». Крупнейшая электростанция региона – Печорская ГРЭС – вошла в состав ОАО «Третья генерирующая компания оптового рынка» (ОГК-3), 60% акций которого принадлежит горно-металлургической компании «Норильский никель». Третий крупнейший игрок электроэнергетического рынка – ТЭЦ Сыктывкарского ЛПК – входит в состав соответствующего лесопромышленного комплекса и находится под контролем транснациональной группы «Монди».

Распределительный сетевой бизнес был оставлен за брендом «Комизэнерго» в составе государственной Межрегиональной распределительной сетевой компании Северо-Запада (г. Санкт-Петербург).

Таким образом, стратегическое управление функционированием и развитием электроэнергетической инфраструктурой Республики Коми осуществляется за пределами ее территории. В то же самое время, практически вся муниципальная теплоэнергетика в составе 15 управляемых и 6 дочерних организаций жилищно-коммунального хозяйства с 2004 г. структурно сосредоточена в Коми тепловой компании (правопреемнике ГУП РК «Жилкомхоз») и находится в собственности Республики Коми.

Труд. Деятельность предприятий ТЭК основана на преимущественном использовании местных квалифицированных трудовых ресурсов, что объясняется взаимным влиянием нескольких факторов. Во-первых, наличие разнообразных по составу и различным по технологическому уровню основных производственных операций предполагает широкое использование как средне-, так и высококвалифицированных кадров на большом количестве точечных (узловых) и протяженных линейных объектов. В целом в ТЭК Республики Коми работает около 53 тыс. чел. Постоянная реализация новых инвестиционных проектов по расширению производства и техническому перевооружению создает спрос на программы переподготовки располагаемых трудовых ресурсов. Во-вторых, традиционная специализация Республики Коми на добыче, транспорте, переработке и потреблении ТЭР позволила за долгие годы сформировать собственную внутривнутриреспубликанскую систему подготовки кадров в рамках государственных высших и средних специальных учебных заведений, которые в последние годы активно дополняются корпоративными программами профессионального образования.

Для нефтегазовой отрасли базовым центром обучения является г. Ухта, где работают Ухтинский государственный технический университет, Ухтинский горно-нефтяной колледж, а также корпоративные центры обучения кадров ООО «Газпром трансгаз Ухта» и ОАО «Северные магистральные нефтепроводы».

Для угольной промышленности Воркуты и Инты традиционным поставщиком трудовых ресурсов является Воркутинский филиал Санкт-Петербургского государственного горного института.

Энергетическая отрасль не имеет на территории региона специализированных учебных заведений высшего и среднего образования. В последние годы дефицит инженерных и рабочих кадров решается за счет подготовки специалистов в Сыктывкарском лесном институте и Профессиональном лицее № 8 (г. Сыктывкар). Переподготовку и повышение квалификации сотрудники энергетических компаний проходят, как правило, в корпоративных учебных центрах за пределами Республики Коми.

С точки зрения внутри- и межрегионального использования трудовых ресурсов выделяется только сектор нефте- и газодобычи и нефтесервиса, где широко распространены вахтовые методы организации работ. Причем мобильные трудовые

ресурсы ввозятся в Республику Коми и используются в пределах различных округов и районов, а также вывозятся из нее в соседний Ненецкий АО. Другие отрасли ТЭК, особенно связанные со стационарными, промышленными методами организации работ (угольная, нефте- и газоперерабатывающая, энергетическая), ориентированы на максимальное использование местного персонала в местах его постоянного проживания.

Первичные ресурсы. Детальный анализ ресурсной основы развития локальных отраслевых систем ТЭК Республики Коми представлен в коллективной монографии [11]. Большинство месторождений нефти (93%) относятся к категории мелких, на них сосредоточено 45% промышленных запасов. Почти 35% запасов приходится на три крупных месторождения: Усинское, Возейское и Верхнеомринское (разрабатываются предприятиями ОАО «ЛУКОЙЛ»); около 20% – на средние месторождения: Ярегское, Кыртаельское, Пашнинское (все – ОАО «ЛУКОЙЛ»), Сандивейское, Среднемакарихинское, Салюкинское (ОАО «Роснефть») и Западно-Сынастское (ООО «Енисей»). Все перечисленные месторождения нефти находятся на уровне стабилизации добычи и ее падения.

Малые независимые предприятия, на балансе которых находится много мелких месторождений со значительными суммарными запасами, смогут играть решающую роль в развитии локальных отраслевых систем уже в среднесрочной перспективе, когда крупные вертикально интегрированные компании начнут активно переносить свой бизнес в северные районы Тимано-Печорской нефтегазовой провинции.

Ресурсная база газовой отрасли крайне истощена. Это связано со значительной степенью выработки запасов (до 80%) на эксплуатируемых месторождениях и отсутствием новых объектов, подготовленных к разработке и способных компенсировать выбытие добывающих мощностей. На базовом Вуктыльском месторождении запасы выработаны на 85%. Поскольку геологические перспективы неразведанных ресурсов крайне неопределенны, то ресурсный фактор будет играть против развития отрасли, трансформируя ее производственный профиль, основанный на собственных ресурсах, из перерабатывающего в транзитный, полностью зависимый от динамики освоения запасов природного газа п-ова Ямал.

Ресурсный потенциал развития угольной отрасли Республики Коми позволяет наращивать мощности по добыче как коксующихся, так и энергетических углей в масштабах расширяющегося потребительского спроса. Большая часть запасов сосредоточена на четырех месторождениях: Интинском (29%), Воргашорском (23%), Усинском (21%) и Воркутском (14%). Серьезные перспективы имеет Сейдинское месторождение, находящееся в нераспределенном фонде недр, как и Усинское (аукцион по которому в январе 2011 г. выиграл Новолипецкий металлургический комбинат) способны обеспечить не только энергетические потребности, но и стать базой для развития в Воркутинском районе совершенно нового углехимического производ-

ства. Впрочем, завод может быть размещен в более выгодном с территориальной и экономической точек зрения Печорском районе.

Ресурсные возможности энергетики также весьма благоприятны, поскольку могут быть ориентированы как на использование собственного регионального традиционного сырья (уголь, природный и попутный нефтяной газ, мазут), так и нетрадиционных (отходов лесопиления, утилизированного шахтного метана, возобновляемых энергоресурсов) и транзитных (ямальского газа) топливно-энергетических ресурсов.

Территория. Предприятия и организации ТЭК, занимающие весомое место в региональной экономике по производственным и финансово-экономическим показателям, естественным образом определяют градообразующую основу большинства городских и некоторых поселковых образований на территории Республики Коми. При этом речь идет как о базовой роли в монопрофильных населенных пунктах, так и дополняющей роли в поселениях с полипрофильной специализацией (табл. 1).

Таблица 1

Значимость отраслей ТЭК в экономическом развитии муниципальных образований *

Городские округа, муниципальные районы	Добыча ТЭР	Переработка ТЭР	Трубопроводный транспорт	Энергетика
ГО «Воркута»	высокая	средняя	-	высокая
ГО «Инта»	высокая	средняя	-	высокая
МР «Вуктыл»	высокая	низкая	высокая	низкая
ГО «Усинск»	высокая	низкая	средняя	низкая
МР «Печора»	средняя	-	средняя	высокая
МР «Сосногорск»	низкая	высокая	средняя	высокая
ГО «Ухта»	низкая	высокая	высокая	низкая
МР «Троицко-Печорский»	низкая	-	низкая	низкая
МР «Усть-Цилемский»	низкая	-	-	средняя
МР «Ижемский»	низкая	-	-	низкая
МР «Княжпогостский»	-	-	средняя	средняя
ГО «Сыктывкар»	-	-	низкая	средняя
МР «Усть-Вымский»	-	-	средняя	низкая

* Оценка проведена с учетом доли ТЭК в численности занятых и в стоимости отгруженной продукции. Рассчитано по [12]; - явление отсутствует.

Предприятия ТЭК присутствуют своими крупными производственными объектами или организационными структурами во всех городах Республики Коми, за исключением Емвы. Помимо этого, в зону деятельности нефтяной и газовой промышленности, с учетом трубопроводного транспорта, входят Княжпогостский, Троицко-Печорский, Усть-Цилемский и Ижемский районы.

Региональная и муниципальная энергетика естественным образом охватывает все без исклю-

чения административно-территориальные образования. Влияние трубопроводного транспорта и электроэнергетики имеет свои технологические особенности. Обе инфраструктурные отрасли характеризуются как протяженными производственными объектами (линейными участками трубопроводов и магистральными линиями электропередачи), так и точечными объектами (узлами сбора и подготовки углеводородного сырья, компрессорными и перекачивающими станциями, электростанциями и крупными трансформаторными подстанциями). Первые охватывают только пространственный аспект, тогда как вторые играют важную роль с точки зрения концентрации и движения трудовых ресурсов, организации постоянных рабочих мест и формирования основной доли добавленной стоимости.

К монопрофильным пунктам можно отнести окраинные города и тяготеющие к ним рабочие поселки, ориентированные на добычу и транспорт ТЭР: города Воркута, Инта, Усинск, Вуктыл, рабочие поселки Парма, Уса и другие.

Полипрофильную специализацию имеют центрально расположенные города Сосногорск, Ухта, Печора и Сыктывкар. В этих населенных пунктах (за исключением Сыктывкара) добывающие отрасли дополнены развитой переработкой и энергетикой, а также видами деятельности, не связанными напрямую с ТЭК (машиностроением, железнодорожным транспортом). Рядом с полипрофильными городами расположены нефтяные поселки: Ярега, Нижний Олес, Кожва.

Особую группу составляют муниципальные образования, на территории которых добыча углеводородного сырья имеет пионерный или незначительный характер (Ижемский, Усть-Цилемский, Троицко-Печорский районы), либо в них расположены транзитные пункты магистральных трубопроводов из северных районов Тимано-Печоры и Западной Сибири (поселки Уса, Сыня, Чикшино, Зеленоборск, Таежная, Синдор, г. Микунь).

Типы локальных топливно-энергетических систем

Локальные топливно-энергетические системы Республики Коми характеризуются всеми необходимыми признаками: различимостью в бизнес-пространстве, ведущей ролью в социально-экономическом развитии территории, взаимосвязанностью, а часто и комплементарностью основных элементов. Сочетание вышерассмотренных признаков формирует различные типы ЛТЭС, которые пронизываются сетевой инфраструктурной системой (табл. 2).

С точки зрения «геометрии размещения» в Республике Коми особенно выделяются локальные нефтегазовые системы. Существовая в качестве звеньев транснациональных корпораций и от-

носителю автономных субъектов, они «накрывают» практически всю северную и центральную часть региона.

Локальные угольные системы примыкают к ним с северо-востока, а электроэнергетические и трубопроводные сети технологически «сшивают» пространство с юго-западными районами. В результате, частично «исключенными» остаются лишь аграрные южные районы.

Бизнес-пространство, как принято считать, единого топливно-энергетического сектора в реальности сформировано искусственно обособленными и квази-самодостаточными ЛТЭС, не имеющими устойчивых межотраслевых кооперационных связей. Газовики не покупают попутный газ у нефтяников, те в свою очередь не покупают жидкие углеводороды у газовиков. И те и другие стараются развивать собственную автономную электрогенерацию, покупая недостающую энергию на оптовом рынке, а не напрямую у местных производителей. Энергетики же в большей степени ориентируются на газовые ресурсы (которые в ближайшем будущем будут завозиться из-за пределов региона) и игнорируют саму возможность создания современных энергоугольных цепочек внутри республики. Естественно, что при такой структуре экономических трансакций вне зоны созидательного управления остаются многие общественные (региональные) интересы: рациональное (комплексное) ресурсопользование, инфраструктурное развитие и обживание территории, надежная и достаточная налоговая база. То есть именно те внутренние источники роста, которые способны обеспечивать расширенное воспроизводство валового регионального продукта и на этой основе гарантировать саморазвитие региона [1].

Факторы формирования ЛТЭС

Основные типы ЛТЭС формируются под влиянием двух факторов, которые можно обозначить, как производственно-территориальное комплексование и корпоративная кластеризация.

Таблица 2

Основные типы локальных топливно-энергетических систем

Ресурс	Профиль, цикл	Организация, статус	Территория	Базовые предприятия
Газовый	Полный, добыча-переработка	Корпоративная, звено ТНК*	Региональная	Компания «Газ-пром переработка»
Нефтяной	Полный, добыча-переработка	Корпоративная, звено ТНК	Региональная	ОАО «ЛУ-КОЙЛ»
Нефтяной	Сырьевой, добыча-вывоз **	Автономная	Муниципальная	ООО «Енисей»
Угольный	Полный, добыча-переработка-вывоз	Корпоративная, звено ТНК	Муниципальная	Компания «Воркутауголь»
Угольный	Полный, добыча-переработка - частичный вывоз	Автономная	Муниципальная	ОАО «Интинская угольная компания»

* ТНК – транснациональная компания, ** – в 2011-2012 гг. профиль дополнится переработкой.

Следствием превалирования корпоративной кластеризации является серьезная общеэкономическая проблема соотношения внешнего и внутреннего управления в региональном и локальном развитии. Слабость институциональных сил на уровне региона, сталкиваясь с развитыми институциональными силами за его пределами (находящимися чаще всего в финансовом центре страны), приводит к тому, что новые ЛТЭС возникают исключительно в местах, где это выгодно экстерриториальным корпорациям и в тех временных рамках, которые соответствуют их стратегиям. Корпорации ставят перед собой и в большинстве случаев достигают цели прямой коммерческой эффективности – не столь очевидной на локальном уровне. В результате, в регионе, не проводящем собственную промышленную политику, в лучшем случае формируются центры затрат и промежуточные центры прибыли. Чаще же всего развитие получают только центры затрат, а центры прибыли практически полностью переносятся в места регистрации головных управляющих компаний. В качестве прибыльно-затратных можно привести полные нефтяные и газовые ЛТЭС, отражающие следующие связи: «Усинск-добыча-управление – Ухта-переработка», «Вуктыл-добыча – Сосногорск-переработка – Ухта-управление». Полностью «затратная» схема характерна для угольной ЛТЭК и представлена в секторе добычи коксующихся углей: «Воркута-добыча – Череповец-потребление».

Такая сложная и запутанная система, тем не менее, может характеризоваться как саморазвивающаяся с позиций признаков синергетики. Во-первых, ЛТЭС отделена от окружающего мира и, несмотря на присутствие различных антагонистических типов, поддерживает целостность своего существования на всем протяжении пореформенного периода.

Во-вторых, система, ориентированная на глобальный рынок, открыта для обмена веществом, энергией и информацией, хотя такой обмен жестко регламентирован корпоративными процедурами, генерируемыми за пределами ЛТЭС.

В-третьих, ЛТЭС – самоорганизована и самоуправляема даже в большей степени, чем принято считать. Особенности федеративных отношений между центром и регионами привели институциональное оформление процесса недропользования (как одной из целей функционирования ЛТЭС) к ситуации, когда органы государственной власти на местах являются сторонними наблюдателями за деятельностью компаний. Компании, обладая большой финансовой независимостью от внешнего мира, самостоятельно упорядочивают свои отношения, сотрудничают и конкурируют без непосредственного участия территориальные органы власти и в рамках уже сложившихся институтов. Исключения составляют лишь грубые нарушения формального законодательства или неформальных норм поведения, вынуждающие вмешиваться в деятельность ЛТЭС федеральные органы власти (последний пример, «антимонопольные войны» за цены на топливо).

К сожалению, остальные признаки саморазвивающихся локальных отраслевых систем (дина-

мичность, переход от одного вида саморегуляции к другому, самонастройка) применительно к топливно-энергетическим системам не столь определены.

Так, сложно заметить способность системы к порождению новых уровней иерархической организации. Доминирование вертикально интегрированных структур делает безуспешными любые попытки создать автономные формы самоорганизации и самоуправления. И речь идет даже не о прямом противодействии, а о нежелании помогать и об инерционности институциональной среды в стране и регионе, настроенной на поддержку либо очень крупного бизнеса, либо «микробизнеса» уровня частного предпринимательства. Неизбежно возникает угроза самонастройки ЛТЭС: практически все аттракторы формируются вне ее локализации, а инициативы (в том числе по кооперации и специализации) подавляются. В результате нынешние локальные системы скорее будут заморожены или ликвидированы, нежели получат автономный статус, когда действующий аттрактор (например, наличие месторождений, гарантирующих приемлемый для корпорации уровень рентабельности, либо региональных налоговых преференций) себя исчерпал.

Анализ динамики функционирования отдельных предприятий и комплекса в целом через призму энергоэкономического прогнозирования позволяет утверждать, что роль ТЭК в социально-экономическом, технологическом и пространственном развитии Республики Коми будет только усиливаться (по причине отсутствия иных приоритетов), подвергаясь при этом как естественным, так и управляемым процессам трансформации и самоорганизации внутренних элементов и связей [11]. Воздействовать на эту систему с позиции региональных интересов можно будет только через прямое создание альтернативных конкурентных производственно-технологических цепочек, действующих в незанятых рыночных сегментах, либо освобожденных вертикально интегрированными компаниями по мере изменения (старения) ресурсной базы. По своей сути такое воздействие будет носить характер не поступательного развития, а скачка, инициированного острым кризисом.

Работа выполнена в рамках подготовки Программы Президиума РАН № 26 «Научно-технологический прогноз развития России», рук. акад. А.Д. Некипелов. Подпроект «Экзогенные ограничения и внутренние возможности саморазвития локальных экономических систем», рук. член-корр. РАН В.Н. Лаженцев.

Литература

1. Татаркин А.И., Татаркин Д.А. Саморазвитие регионов в контексте федеративных отношений // Пространственная экономика, 2008. №4. С.60-70.
2. Худяева В.М. Нефтегазовые геолого-экономические районы и условия их освоения // Формирование территориальной структуры хозяйства европейского Северо-Востока СССР. Сыктывкар, 1982. С.108-118. (Труды Коми филиала АН СССР, №54).

3. *Калинина А.А., Успенская И.Г.* Региональная структура энерго- и теплоснабжения на европейском Северо-Востоке СССР // Формирование территориальной структуры хозяйства европейского Северо-Востока СССР. Сыктывкар, 1982. С. 85-96. (Труды Коми филиала АН СССР; №54).
4. *Обедков А.П.* Формирование Тимано-Печорского нефтегазопромышленного комплекса и совершенствование его функционально-структурной организации // Территориальные и межотраслевые проблемы развития европейского Северо-Востока СССР (опыт прикладного экономико-географического исследования). Сыктывкар, 1987. С.82-92. (Труды Коми филиала АН СССР; №88).
5. *Зубаревич Н.* Российские города как центры роста // Российское Экспертное Обозрение [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.rusrev.org/content/review/default.asp?shmode=8&ida=1197&ids=125>
6. *Прощание с трубой* // Эксперт, 2008. №29 (628).
7. *Кричевский Н.* Постпикалевская Россия: новая политико-экономическая реальность. М., 2009. 45 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.krichevsky.ru/images/book/doklad.pdf>
8. *Крюков В.А.* Институциональная структура нефтегазового сектора: проблемы и направления трансформации. Новосибирск: ИЭи-ОПП СО РАН, 1998. 280 с.
9. *Использование топливно-энергетических ресурсов в Республике Коми: Стат.сб. / Террит. орган ФСТС по Республике Коми.* Сыктывкар, 2009. 62 с.
10. *Промышленное производство Республики Коми: Стат.сб. / Террит. орган ФСТС по Республике Коми.* Сыктывкар, 2009. 197 с.
11. *Энергоэкономическое прогнозирование развития региона / О.В.Бурый, А.А.Калинина, Л.Я.Кукреш и др.; [отв.ред. В.Н. Лаженцев]; Ин-т соц.-экон. и энергет. проблем Севера Коми НЦ УрО РАН. М.: Наука, 2008. 365 с.*
12. *Города и районы Республики Коми. Социально-экономические показатели: Стат.сб. / Террит. орган ФСТС по Республике Коми.* Сыктывкар, 2009. 287с.

Статья поступила в редакцию 17.05.2011.

УДК 630*7(470.13)

ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ОТРАСЛЕВАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ КОМИ

А.А. ГИБЕЖ*, Т.Е. ДМИТРИЕВА**, В.А. НОСКОВ**

**Министерство развития промышленности транспорта и связи Республики Коми*

***Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар*
gibezh.minprom@rkomi.ru, dmitrieva@iespn.komisc.ru,
noskov@iespn.komisc.ru

В статье рассмотрены типы территориальных лесопромышленных систем, отражающих территориальную организацию регионального лесопромышленного комплекса. Раскрыты их особенности, а также условия и ограничения саморазвития. Подчеркнута важная роль районных и поселенческих лесопромышленных систем в укреплении экономической основы лесной периферии.

Ключевые слова: территориально-отраслевая организация, локальные лесопромышленные системы, саморазвитие территориальных систем

A.A.GIBEZH, T.E.DMITRIEVA, V.A.NOSKOV. **TERRITORIAL-BRANCH ORGANIZATION OF THE TIMBER-INDUSTRIAL COMPLEX OF THE REPUBLIC OF KOMI**

Types of the territorial timber industry systems reflecting the territorial organization of the timber-industrial complex are considered. Their characteristics and also conditions and limitations of self-development are given. The important role of regional and settlement timber-industrial systems in strengthening the economic basis of forest periphery is emphasized.

Key words: territorial-branch organization, local timber-industrial systems, self-development of territorial systems

Экономика Республики Коми традиционно опирается на лесопромышленный комплекс, который вносит существенный вклад в формирование занятости населения, поставки продукции на экспорт, налоги и т.д.

Исследования потенциала развития муниципальных образований Республики Коми выявили существенные технологические и институциональные изменения в лесном комплексе [1]. Перемены в экономических отношениях между предприятиями по-разному влияют на территориально-отраслевую организацию комплекса, которая является важным фактором его эффективности и формирует каркас производственной основы жизнедеятельности населения на значительной территории.

Территориально-отраслевая организация регионального лесопромышленного комплекса стала серьезной темой для специалистов, особенно практиков, только в последние пять-шесть лет. В советский период В.Г. Тихомиров обращал внимание на производственно-экономические связи предприятия с хозяйством территории, фиксируя при этом в республике в основном лесозаготовительные районы – территории с преимущественным развитием лесозаготовительного производства для вывоза круглого леса за пределы республики. Только один Сыктывкарский лесозаготовительный район представ-

лял территорию с лесохозяйственными, лесозаготовительными, лесоперерабатывающими предприятиями, которые тесно связаны между собой целью производства широкой номенклатуры конечных видов продукции и опираются на сырьевую базу районов, откуда мог быть осуществлен сплав древесины по рекам Вычегде и Сысоле [2]. На этапе рыночных преобразований Г.А. Князева, разрабатывая новую модель лесного комплекса и опираясь на заимствованную типологию лесопромышленных образований, выделила Сыктывкарский моноцентрический лесопромышленный комплекс [3].

Целенаправленные обращения к анализу территориальной структуры ЛПК связаны с крупномасштабными исследованиями муниципальных образований Республики Коми, проведенных с участием авторов статьи [1]. Учет принципов и форм пространственной организации лесопромышленного комплекса необходим в планировании его перспективного развития и позволяет устранить и не допустить территориальные диспропорции, снижающие его экономическую и социальную эффективность. Этот тезис не только декларировался при разработке проектов документов долгосрочного развития лесопромышленного комплекса Республики Коми на соответствующие периоды, в которой активно участвовали авторы, но и подкреплялся

конкретными предложениями по совершенствованию производственно-территориальной организации ЛПК *.

Задача данной статьи состоит в том, чтобы представить пространство лесопромышленной деятельности через идентификацию и саморазвитие локальных лесопромышленных производственных систем. Авторы полагают, что такой подход будет способствовать росту социальной эффективности размещения лесного бизнеса и адекватности его территориальной организации интересам населения, а также окажется продуктивным в решении проблемы пространственной асимметрии регионального лесопромышленного комплекса.

Методологический контекст территориально-отраслевого анализа

Системность является неперенным атрибутом практики и теории территориальной организации производства. Анализ бизнес-пространства Республики Коми среди существенных особенностей его топологии («геометрии размещения») выявил разную степень сформированности и зрелости территориально-отраслевой организации и высокую корпорированность топливной и лесопромышленной деятельности.

Признаками корпорированного пространства являются: концентрация производства и четкая отраслевая стратификация, внешние центры управления и прибыли, внутрикорпоративная социальная ответственность. Главные негативные следствия для регионального развития заключаются в экстерриториальности и самодостаточности деятельности корпоративных структур. Корпорированное пространство выступает экзогенной средой независимых хозяйствующих субъектов и формируемых ими локальных систем, создавая определенные вызовы их развитию.

Основным топологическим элементом бизнес-пространства признаны локальные отраслевые системы (ЛОС) – взаимосвязанные производственные объекты, формирование и развитие которых оказывает непосредственное влияние на эффективность базовых региональных комплексов и социального сервиса.

В качестве оснований идентификации ЛОС выбраны параметры сущности и состава. К главным сущностным признакам отнесены различимость в бизнес-пространстве, роль в социально-экономическом развитии территории, взаимосвязанность элементов – прямая (через кооперирование, комбинирование, снабжение, организацию и др.) и/или косвенная (общая сырьевая база, кадровые источники и др.).

Параметры состава, конкретизируемые с учетом отраслевой специфики, включают следующие позиции и их возможные характеристики:

- производство – масштаб (продукция, занятые), полнота передела (заготовка – переработка), размещение стадий передела, отношения с предприятными-соседями (кооперация, конкуренция);
- технология – уровень (отсталый, модернизированный, инновационный); качество продукции (конкурентоспособность внутренняя или внешняя);
- организация – статус (встроенное, независимое), регистрация (центр прибыли на месте, в районе, в регионе, в стране, за пределами);
- труд – уровень квалификации рабочих, менеджеров, предприятия-лидеры, источник кадров (свои, привозные);
- ресурсы первичные – доступ к сырью (устойчивый/аренда лесов, неустойчивый/покупка на рынке), доступ к транспорту (для топливной), качество сырья;
- территория деятельности – градообразующая роль (базовое предприятие в монопрофильном пункте или дополняющее полипрофильную специализацию).

Анализ и группировка хозяйствующих первичных субъектов в контексте заявленных оснований позволили выполнить предварительные типологии топливных и лесопромышленных систем. Они рассмотрены в данной статье, а также в работе О.В.Бурого, представленной в этом же номере журнала.

В ходе эмпирического анализа топливно-энергетических, лесо- и агропромышленных систем, а также систем социального сервиса уточнено содержание территориальных/локальных отраслевых систем. Локальная отраслевая система – совокупность предприятий, объединенных совместной деятельностью по производству и распределению определенных товаров и услуг. Она представляет ассоциацию людей и управляющих структур в сети связей, обозначена организационно, различима в бизнес-пространстве и нормативном поле, должна быть социально эффективной (создавать условия занятости и доходов местного населения) и не экстерриториальной в своей деятельности (когерентной местным интересам, реализуемым властью). Пространственный масштаб отраслевых систем имеет три градации: региональную (характерна для корпоративных производственных и систем социального сервиса), районную (муниципальную) и поселенческую. Локальными в строгом смысле являются районные и поселенческие системы.

Сущностным признаком ЛОС являются внутренние связи. Системообразующими признаками являются связи по производству («сырье – переработка»), а также по производству и распределению, охватывающие и потребление товаров/услуг.

Саморазвитие рассматривается как ядерный процесс устойчивой и эффективной деятельности систем и раскрывается с учетом теоретических оснований его содержания с позиций синергетического подхода [4-11]. Саморазвитие ЛОС представляет продуцирование профильной деятельности (воспроизводство функции системы) на основе самоорганизации.

Зафиксированы следующие признаки саморазвивающейся ЛОС:

* «Стратегия развития лесопромышленного комплекса Республики Коми до 2015 г.». Сыктывкар, 2005. Проект. «Основные направления развития лесопромышленного комплекса Республики Коми на 2008-2010 гг. и на период до 2020 г.». Сыктывкар, 2008. Проект. «Основные направления развития лесопромышленного комплекса Республики Коми до 2020 г.». Сыктывкар, 2010.

- отделена от окружающего мира (поддерживает целостность) и встроена в него;
- открыта – обменивается веществом, энергией, информацией;

- базовый процесс – самоорганизация (самоуправление), что предполагает: а) следование аттрактору (стремление к целевому состоянию, в данном случае успешному выполнению функции системы); б) сотрудничество и конкуренцию элементов, которые упорядочивают отношения без внешнего вмешательства; в) создание (иницирование) необходимых институтов (органов, норм и т.д.);

- динамична – под воздействием внутренних и внешних факторов попадает в состояние неустойчивости, нарушения целостности;

- саморазвитие как воссоздание целостности проявляется: в переходе от одного вида саморегуляции к другому, в порождении новых уровней иерархической организации с формированием новых относительно самостоятельных подсистем, перестройкой блока управления, выстраиванием новых типов прямых и обратных связей;

- самонастройка обеспечивается кооперативными эффектами, обеспечивающими согласованное взаимодействие элементов в ходе выявления барьеров и построения механизмов их преодоления.

Методология идентификации и проблематизации саморазвивающихся ЛОС предполагает оценку масштаба, размещения, типизации систем с учетом отраслевой специфики; фокусировку на внутренних и внешних связях с позиции эффективного функционирования и барьеров саморазвития; объективизацию характеристик саморазвивающейся системы; осмысление и конструирование направлений и механизмов, снижающих/устраняющих барьеры.

При реализации основных концептуальных положений изучения саморазвития локальных систем на эмпирическом материале топливно-энергетического, лесопромышленного, агропромышленного секторов, а также социального сервиса, акцент делается на отраслевой специфике системообразующих связей, а также их устойчивости под воздействием внешних факторов, которая раскрывается через фиксацию барьеров саморазвития.

Типы локальных лесопромышленных систем

Первичной единицей для анализа территориально-отраслевой организации лесопромышленного комплекса, как отмечалось выше, являются локальные лесопромышленные системы (ЛЛПС). ЛЛПС представляет совокупность предприятий, объединенных в единый производственный цикл «сырье–переработка», функционирующий в пределах определенной территории.

Для выделения различных типов ЛЛПС использованы следующие признаки: производственная специализация, характер связей, объем деятельности, а также количество операторов, ведущих хозяйственную деятельность, пространственный масштаб.

Производственная специализация зависит от глубины переработки древесины в рамках ЛЛПС. С точки зрения количества операторов, ведущих хозяйственную деятельность, предлагается выделять

моно- и полисубъектные системы. В моносубъектных ЛЛПС более 90% заготавливаемой/перерабатываемой древесины проходит через одного хозяйствующего субъекта, в полисубъектных – хозяйствующих субъектов больше двух и ни один из них не контролирует более 90% перерабатываемого сырья.

По пространственному масштабу деятельности можно выделить региональные, районные и поселенческие системы. Региональные системы в отраслевых комплексах республики играют ключевую экономическую роль и сформированы, как правило, корпоративными структурами. Районные системы являются основными элементами хозяйственно-территориального каркаса, поселенческие в зависимости от характера связей могут входить в состав районных, либо быть автономными звеньями республиканских комплексов.

Лесопромышленные системы Республики Коми представлены на картосхеме (рисунок).

В настоящее время в республике в соответствии с вышерассмотренными признаками выделяется одна *региональная лесопромышленная система* – это корпоративная моносубъектная ЛПС на базе ОАО «Монди Сыктывкарский ЛПК». Она имеет мощное перерабатывающее предприятие в г.Сыктывкаре. Обширная лесозаготовительная сеть в ближней лесной периферии – сырьевое звено системы – оформлено институционально в ООО «Лесная компания Монди СЛПК», подразделение ОАО «Монди СЛПК» с филиалами заготовки древесины в восьми муниципальных районах.

Районные (муниципальные) ЛЛПС формируются в рамках одного или нескольких районов. Обычно это моносубъектные системы, например, действующая Прилузская. В ее основе достаточно мощные потоки древесного сырья от заготовки до глубокой переработки, на которых базируется независимая компания ООО «Лузалес» (лесозаготовка 600 тыс. м³, производство пиломатериалов – 60 тыс. м³). Компания ведет активную лесозаготовку на территории района и имеет здесь относительно крупный перерабатывающий центр в пос. Кыдзявидз (лесопильное производство – сушка – производство клееного бруса). Дополняет Прилузскую систему деятельность среднего лесного бизнеса по лесозаготовке и производству пиломатериалов – ООО «Транзит», ООО «Югид туй» (с. Объячево), ООО «Лесинтерком» (пос. Коржинский) и др.

Своеобразие Жешартской моносубъектной системы, которая является звеном корпоративной межрегиональной системы, формируемой деятельностью компании «Объединенная плитная группа», состоит в узкой специализации на производстве плит и ориентации на привозное сырье из-за пределов региона.

В основе перспективных районных ЛЛПС лежат инвестиционные проекты по углубленной переработке древесины. Они могут быть как моносубъектные – в Усть-Куломском районе это Кебаньельская (ООО «Центровудком»), в Усть-Вымском районе – Казлукская (ООО «Лесозавод № 1»), так и полисубъектные, например, Троицко-Печорская в составе ООО «Печоразнергоресурс», ООО «Троицко-Печорский ЛПК», ООО «Печорский ЛПХ».

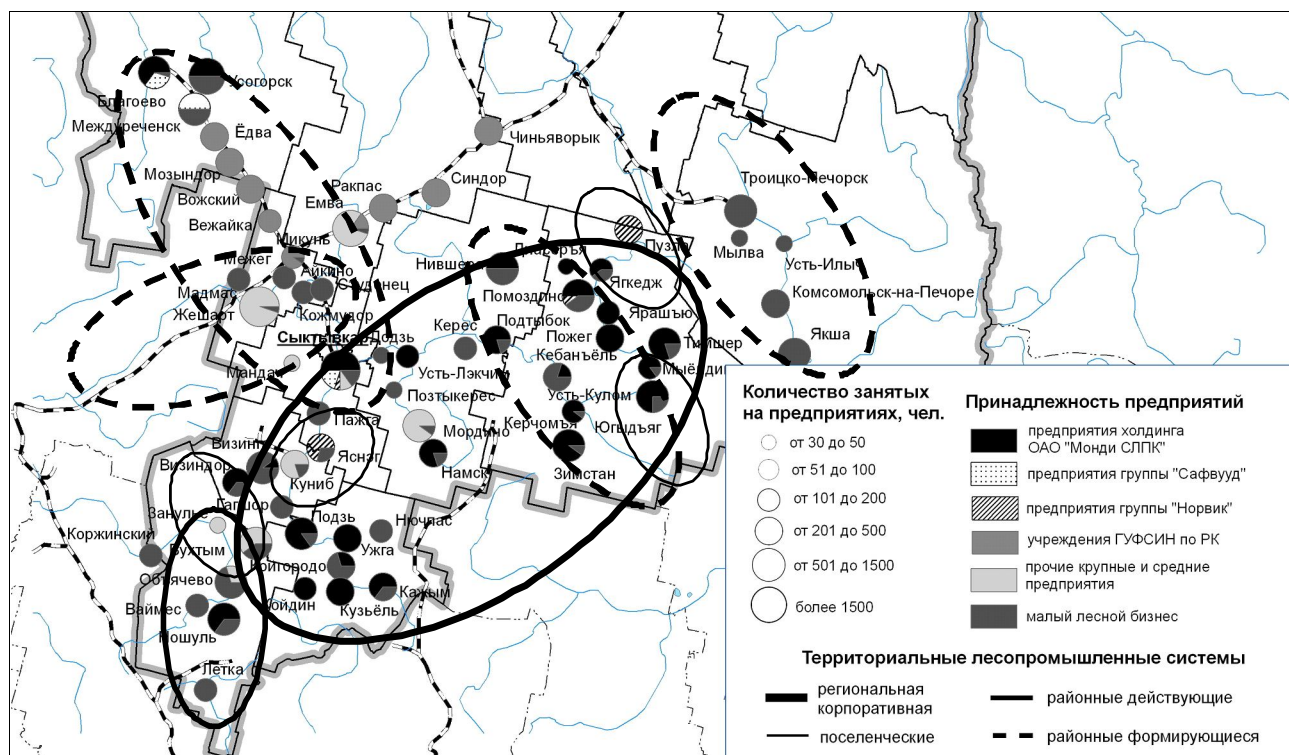


Рис. Территориальные лесопромышленные системы.

Успешная реализация проектов позволит создать саморазвивающиеся лесопромышленные системы, которые могут стать узлами лесопромышленного комплекса на периферии.

Поселенческие ЛЛПС являются третьим уровнем лесопромышленной иерархии в Республике Коми. Как правило, это исторически сложившиеся отраслевые образования на уровне отдельных поселений, которые могут быть как моносубъектными, например Пузлинская с базовым предприятием ООО «Комилесбизнес», так и полисубъектными, например Югыдъягская, Визингская, Ясногская. Такие системы включают в основном субъекты малого (реже среднего) бизнеса.

Особое место занимают предприятия Управления Федеральной службы исполнения наказаний по Республике Коми. Они представляют элементы общероссийской отраслевой системы, которая, являясь специфической корпорацией, оказывает свое влияние на территорию деятельности в плане обеспечения занятости и доходов населения в Удорском и Княжпогостском районах.

Самоорганизация лесопромышленных систем

Ключевым признаком саморазвивающейся ЛЛПС является самоорганизация, нацеленная на экономическую эффективность, стабильное сырьевое обеспечение, наличие необходимых технологий.

Региональная ЛЛПС, безусловно, относится к саморазвивающимся, потому что полностью самодостаточна, что обусловлено высокотехнологичной переработкой, продукция которой имеет устойчивый, в том числе и международный сбыт, стабильной сырьевой базой, оформленной с запасом на условиях многолетней аренды, прочными, гибкими связями по сырью, жестко регламентированными для «чужих» поставщиков.

Однако такие крупные саморазвивающиеся системы зачастую ограничивают развитие районных и поселенческих систем, так как конкурируют с ними за сырье путем подбора в аренду значительных участков хорошего лесного фонда.

Саморазвитие районных систем идет разными путями. Практически все они имеют устойчивые связи по сырью и формируются на базе собственной арендной заготовки, развивая поблизости переработку. Однако возможно в начале создание мощного перерабатывающего центра на покупном сырье с перспективным развитием собственной сырьевой базы (ООО «Сыктывкарский промышленный комбинат»). Такой путь требует построения новых связей и создания заготовительной подсистемы.

ЛЛПС могут быть саморазвивающимися и устойчивыми при выполнении определенных условий, среди них:

1. Достаточный уровень экономической и производственной эффективности за счет:

а) создания продукции с высокой добавленной стоимостью (рост «дорогой» продукции – ориентированно-стружечных плит, клееных изделий, деревянных домов и т.д.);

б) снижения затрат, в том числе в лесозаготовке, построенной на принципах рентной оценки древесных ресурсов;

в) использования отходов в производстве древесных гранул, плит, сушке изделий, коммунальной энергетике.

2. Стабильная лесосырьевая база (или лесоснабжение) перерабатывающих мощностей качественной древесиной, что достигается путем оформления долгосрочной аренды на участки лесного фонда в непосредственной близости от переработки либо долгосрочными контрактами с большим количеством

независимых фирм, сводящей к минимуму потери от возможного сбоя сырьевых поставок.

3. Устойчивый спрос на конечную продукцию переработки, причем высокая стабильность ЛЛПС достигается при реализации продукции на внутреннем (локальном или региональном) рынке, а конкурентоспособной продукции – на внешних рынках.

Позиция спроса усиливает значение для саморазвития ЛЛПС связей по реализации продукции, формируя полный цикл системообразования в виде цепочки «сырье–переработка–потребление». Это, в свою очередь, требует от местной власти воли и стратегического оформления установок на местную продукцию, например региональной программы деревянного домостроения, а также решения сложных сопутствующих вопросов реализации такой программы, в частности отвода и инфраструктурного обустройства земельных участков под жилищное строительство, кредитования и пр.

Развитие районных ЛПС должно стать приоритетной задачей развития регионального ЛПК, именно они способны дополнить и уравновесить его территориальный каркас (ослабить гипертрофию г. Сыктывкара), сохранить и развить градообразующую основу периферийных территорий, способствовать росту занятости и доходов местного населения. Муниципальные власти получают выгоду в виде снижения социальной напряженности, развития инфраструктуры, в том числе транспортной, энергетической, дополнительных налоговых отчислений в местные бюджеты.

Наибольшие трудности в своем развитии и функционировании имеют поселенческие ЛЛПС. Из-за объективных и субъективных трудностей (низкой эффективности, проблем с сырьем) такие системы крайне неустойчивы. Любое серьезное изменение во внешней среде создает угрозу не только развитию, но и простому функционированию систем.

В Республике Коми барьеры саморазвития характерны для районных и поселенческих систем. Региональная корпоративная система является самодостаточной и жестко управляется извне.

Многие районные ЛПС находятся в стадии формирования. Некоторые из них, обеспеченные арендной сырьевой базой, столкнулись с проблемами инвестирования перерабатывающего производства, в частности с выбором/заменой оператора проекта (Кебаньельская ЛЛПС). При этом от региональных властей, планирующих размещение инвестиционных проектов и обеспечивающих их льготной арендой, требуется учет сырьевых возможностей республики, чтобы не создать неразрешимую конкуренцию за сырье и вызвать его дефицит в труднодоступных районах.

С наибольшими сложностями сталкиваются поселенческие ЛПС. Кратко обозначим характер барьеров, не позволяющих этим локальным системам стать саморазвивающимися.

Нормативные барьеры доступа. С отменой договоров купли-продажи лесных насаждений в 2009 г. (кроме исключительных случаев), единственной формой отпуска осталась только аренда (14.03.2009 N 32-ФЗ). Тем предприятиям, которые заготавливали древесину по договорам купли-

продажи, пришлось переходить на арендную форму отпуска древесины, либо закрываться, так как существуют жесткие ограничения по минимальному объему отпуска древесины. Арендные участки лесного фонда находятся на значительном удалении от лесовозных дорог, что делает заготовку малопродуктивной или убыточной. Таким образом, малый бизнес, который является главным субъектом поселенческих ЛЛПС, был практически лишен доступа в лес, что привело к разрыву системообразующих связей. К примеру, в течение 2009 г. по данным администрации Усть-Куломского района прекратили свою деятельность более 30 малых предприятий [12].

Малые (местные) предприятия не в состоянии конкурировать за доступ в лес с другими компаниями, имеющими более серьезные финансовые возможности или административный ресурс, которые реально могут взять весь близлежащий лес в аренду, не проводя никаких рубок, при этом только платя арендные платежи. В данном случае социальный критерий предоставления участков лесного фонда предпочитается финансовый критерий, а должно быть наоборот.

Региональная власть прилагает усилия для того, чтобы обеспечить возможности малому и среднему бизнесу вновь принимать участие в лесных аукционах. Так внесены изменения в уже действующую программу «Использование, охрана, защита и воспроизводство лесов в Республике Коми (2011-2013 гг.)», разработанную Комитетом лесов Республики Коми. Предусматривается, что на аукционах для субъектов малого бизнеса будет реализовано около 300 тыс. куб. м леса на корню, что позволит сохранить или создать примерно 600 рабочих мест. При ресурсных возможностях и потребностях со стороны малого бизнеса объемы могут быть увеличены.

Радикальным решением проблемы может стать законодательное закрепление приоритетного права доступа в лес для местных субъектов лесопользования.

Экономические барьеры. Устаревшие технологии заготовки и переработки древесины, а также низкое качество управления производственным процессом не позволяют повысить эффективность поселенческих ЛЛПС, препятствуют их саморазвитию. Малые объемы производства, нормативные барьеры при заготовке древесины создают «порочный круг неэффективности», из которого невозможно выбраться. Преимущества получают те ЛЛПС, которые создаются в корпоративной связке, зачастую с иностранными партнерами (Пузлинская ЛЛПС, предприятие ООО «Комилесбизнес»). Отсутствие надлежащей диверсификации в рамках поселенческой ЛЛПС также снижает возможность такой системы стать саморазвивающейся.

Неподъемно для поселенческих ЛЛПС строить и содержать лесовозные дороги, а без полноценного строительства лесных дорог нельзя говорить об эффективном лесопользовании.

Одним из выходов может стать использование кооперативного ресурса самоорганизации: объединение мелких лесных предприятий или индивидуальных предпринимателей в союзы или

партнерства для устранения тех или иных барьеров, например, доступа в лес. Сырьевые ограничения вынудили малый лесной бизнес объединяться для создания сырьевых пулов для участия в аукционах по договорам аренды. Такую попытку сделали лесозаготовители Корткеросского района республики, которые решили создать некоммерческое партнерство «Ассоциация лесозаготовителей и деревообработчиков Республики Коми» при содействии Общероссийской общественной организации малого и среднего предпринимательства «Опора России». Основной целью организации является отстаивание интересов малого и среднего лесного бизнеса, прежде всего, в части получения доступа к лесу некоммерческому партнерству как крупному арендатору.

В заключение отметим особенности и тенденции развития территориальной организации лесопромышленного комплекса.

В республике превалирует региональная корпоративная ЛПС, определяющая современный территориальный каркас, а также многие проблемные аспекты лесопромышленной деятельности: аккумуляция значительной части лесного фонда в аренде, гиперцентрализацию переработки в Сыктывкаре, снижение спроса на ручной труд жителей лесозаготовительной периферии за счет перехода на машинные технологии.

В то же время в территориальной организации ЛПК, сложившейся в ходе мощной советской индустриализации и трансформировавшейся с существенными потерями в период становления рыночных отношений, все более устойчивым и продуктивным становится укрепление действующих и появление новых ЛЛПС районного уровня. Именно с ними связываются надежды на восстановление на новой технологической основе градообразующей роли лесной промышленности в удаленных районах.

Статья подготовлена в ходе разработки Программы Президиума РАН «Закономерности формирования и функционирования экономических систем» проект «Формирование и функционирование экономических систем Севера».

Литература

1. *Потенциал развития* муниципальных образований: содержание, оценка, управление (на материалах Республики Коми) / Коллектив авторов. Сыктывкар, 2008. 334 с. (Коми научный центр УрО РАН).
2. *Тихомиров В.Г.* Территориальная структура лесопромышленного комплекса Европейского Северо-Востока // Формирование территориальной структуры хозяйства Европейского Северо-Востока СССР / Труды Коми филиала АН СССР. Сыктывкар, 1982. Вып. 54. С. 97-107.
3. *Князева Г.А.* Лесной комплекс Республики Коми: проблемы перестройки и формирования новой модели. М.: МГУЛ, 1996. 187 с.
4. *Князева Е.Н.* Синергетически конструируемый мир // <http://spkurdyumov.narod.ru/KnyazevaElena.htm>;
5. *Степин В.С.* Саморазвивающиеся системы и философия синергетики // <http://nonlin.ru/node/163>.
6. *Остром В.* Смысл американского федерализма. Что такое самоуправляющееся общество? М.: Арена, 1993. 319 с.
7. *Хиценко В.Е.* Самоорганизация. Элементы теории и социальных приложений М.: КомКнига, 2005.
8. *Вернер Р.* Особенности самоорганизации социально-экономических систем. Ч. 1 // Экономическое возрождение России, 2005. № 1(3).
9. *Татаркин А.И., Татаркин Д.А.* Саморазвитие регионов в контексте федеративных отношений // Пространственная экономика, 2008. № 4. С.60-70.
10. *Татаркин А.И., Татаркин Д.А.* Саморазвивающиеся территориальные экономические системы: диалектика формирования и функционирования // Экономика и управление, 2010. № 1(51). С. 8-15.
11. *Flora C., Flora J.L., et al.* Rural Economic Development Through Local Self-Development Strategies // AGRICULTURE AND HUMAN VALUES - SUMMER 1991.
12. *Баланс интересов* // Лесные ведомости, №11 (39), декабрь 2009 г.

Статья поступила в редакцию 23.05.2011.

ИННА БОРИСОВНА АРЧЕГОВА



28 августа 2011 г. исполнилось 80 лет известному специалисту в области почвоведения, доктору биологических наук, ведущему научному сотруднику Института биологии Коми научного центра УрО РАН, заслуженному работнику Республики Коми **Инне Борисовне Арчевой**.

Основные научные направления, разрабатываемые И.Б.Арчевой, связаны с изучением органического вещества почв тундровой и таежной зон, генезиса почв, проблем экологии, антропогенных (техногенных) преобразований почв Севера, их освоения и восстановления. Научные разработки ученого широко используются при решении прикладных проблем рационального природопользования и природовосстановления, разработке рекомендаций для специалистов-практиков в областях сельского хозяйства, лесоведения и лесоводства. Под ее руководством исследуются вопросы, связанные с проблемой сельскохозяйственного использования земель тундровой зоны. Проведенные работы по созданию многолетних агроценозов в Воркутинском районе Республики Коми позволили обосновать зональную систему земледелия на основе метода залужения. Метод был внедрен в практику залуженных хозяйств, в 1970-1980-е гг. было создано несколько тысяч гектаров сеяных лугов. Мониторинг на сеяных лугах, проводимый вот уже почти 50 лет, показал, что при минимальном уходе сеяные луга сохраняют высокую продуктивность без коренного улучшения и пересева в течение более 40 лет. Эти работы не имеют аналогов в мировых масштабах. Полученные результаты обобщены в двух монографиях, а также в практических рекомендациях.

В последние десятилетия Инна Борисовна целенаправленно изучает проблему преобразований почв Севера под воздействием деятельности человека, интенсивность которой постоянно усиливается, решает сложные практические задачи восстановления нарушенных экосистем. Многолетний опыт исследования почв северных биогеоценозов, отличающихся высокой уязвимостью, позволил ей сформулировать концепцию и двухэтапную систему практических мер, направленных на ускорение восстановления природных комплексов с учетом специфики климатических

условий. Рекомендации по биоремедиации нарушенных территорий, разработанные И.Б.Арчевой и ее коллегами, широко используются на предприятиях нефте- и газодобывающей отраслей, горнорудной промышленности.

Под руководством И.Б.Арчевой разработана и запатентована технология биологической трансформации гидролизного лигнина в биологически активное органическое удобрение. Нетрадиционное органическое удобрение эффективно испытано на практике (рекультивация, сельское хозяйство).

Результаты научных изысканий И.Б.Арчевой известны почвоведом и экологам как в России, так и за ее рубежами. Они легли в основу многочисленных монографических работ, статей, патентов, учебно-методических пособий и учебников. Она автор и соавтор более 130 работ, в том числе 9 монографий, проводит активную организационную работу. Инна Борисовна является инициатором и организатором Международной конференции «Освоение Севера и проблемы природовосстановления», проводимой на базе Института биологии. Сегодня этот форум, ставший регулярным, собирает для обмена знаниями большой круг специалистов в области экологии и охраны природы.

Инна Борисовна щедро делится своими знаниями и опытом с молодыми специалистами. Под ее руководством выполнена не одна квалификационная работа. Многие годы она ведет педагогическую деятельность в высших учебных заведениях Сыктывкара и Ухты, успешно сочетая ее с трудом ученого, требующим большой самоотдачи.

Заслуги И.Б.Арчевой отмечены медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени, многочисленными почетными грамотами и благодарностями.

Коллеги ценят и уважают Инну Борисовну как чуткого и отзывчивого человека, способного прийти на помощь в трудную минуту и разделить радость в час успеха. Она – основа большой, крепкой и дружной семьи, согревает своим теплом дочь, внуков и правнука. Сотрудники Института биологии Коми НЦ УрО РАН и редколлегия журнала «Известия Коми научного центра УрО РАН» от всей души поздравляют с юбилейным днем рождения уважаемую Инну Борисовну и желают ей крепкого здоровья, бодрости, новых творческих успехов, счастья и благополучия.

редколлегия

ИРА ГРИГОРЬЕВНА УСПЕНСКАЯ



17 сентября 2011 г. исполнилось 70 лет ученому-энергетику, старшему научному сотруднику лаборатории комплексных топливно-энергетических проблем Института социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми НЦ УрО РАН кандидату технических наук **Ире Григорьевне Успенской**.

Ира Григорьевна родилась в д.Канаши Володарского сельсовета Шереметьевского района Татарской АССР. После окончания средней школы г. Усть-Каменогорска началась ее трудовая деятельность в качестве разнорабочего на предприятии «Энергострой» треста «Алтайсвицеострой». В 1960 г. она поступила на заочное отделение Усть-Каменогорского индустриального техникума по специальности «Электрические станции, сети и системы», которое окончила в 1964 г. с квалификацией «Техник-электрик». В этот период она трудилась на Иртышском химико-металлургическом заводе сначала дежурным электриком, а затем мастером по ремонту электрооборудования.

В 1965 г. И.Г. Успенская поступила на очное отделение электромеханического факультета Ленинградского политехнического института им. М.И.Калинина по специальности «Электрические сети и системы», которое окончила в 1971 г. и была направлена на работу в Коми филиал АН СССР. С тех пор биография Иры Григорьевны неразрывно связана с академической наукой. 22 марта 1988 г. в Совете при Сибирском энергетическом институте СО АН СССР она защитила кандидатскую диссертацию по специальности «Общая энергетика». В октябре 1994 г. И.Г. Успенской присвоено учено звание старшего научного сотрудника по специальности 05.14.01 «Энергетические системы и комплексы».

В настоящее время И.Г.Успенская успешно трудится в качестве старшего научного сотрудника Лаборатории комплексных топливно-энергетических проблем ИСЭиЭПС КомиНЦ УрО РАН.

Ира Григорьевна – автор нескольких методик и моделей выбора рациональной структуры и оценки эффективности инвестиционных проектов в энергетике, развития территориальных систем энерго- и теплоснабжения административных районов. Среди важнейших научных результатов последнего времени следует упомянуть исследование взаимосвязей уровня потребления электроэнергии, тепла и топлива и объемов производства продукции отдельных отраслей народного хозяйства и районов Республики Коми, а также создание информационно-модельного комплекса для прогноза электро-, тепло- и топливно-потребления по видам продукции, балансов электрической и тепловой мощности, электро- и теплоэнергии и топлива. Разработанные ею методика и программный инструментарий для оценки эффективности генерирующих мощностей при различных стратегиях развития региональной экономики позволяют сравнивать сценарии максимальной и минимальной модернизации энергосистемы, основываясь на критериях максимума приведенного дохода производителей энергии и минимума интегральных затрат энергоснабжения.

И.Г. Успенской опубликовано свыше 40 научных работ, в т.ч. шесть монографий. Результаты работ по прогнозированию развития Коми энергосистемы успешно используются в практической деятельности предприятий и учреждений г. Сыктывкара. Являясь членом комиссии Государственной экологической экспертизы, И.Г. Успенская участвовала в оценке ряда крупных энергетических проектов Республики Коми.

Ира Григорьевна – замечательный и обаятельный человек, общение с которым доставляет большое удовольствие. Профессиональные заслуги И.Г.Успенской признаны коллегами в республике и за ее пределами.

редколлегия

АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ ТИХОМИРОВ



10 августа 2011 г. исполнилось 60 лет известному специалисту в области теории вероятностей и математической статистики, ведущему научному сотруднику Отдела математики Коми научного центра УрО РАН, доктору физико-математических наук, профессору **Александру Николаевичу Тихомирову**.

А.Н. Тихомиров родился в маленьком поселке лесозаготовителей под Петрозаводском. Его путь в большую науку был типичным для своего времени: занятия в юношеской математической школе при Карельском педагогическом институте, призер Карельской республиканской олимпиады по математике, учеба в знаменитой физико-математической школе-интернате №45 при Ленинградском государственном университете, поступление на математико-механический факультет ЛГУ, который Александр Николаевич с отличием окончил в 1972 г. Затем была аспирантура по кафедре теории вероятностей и мате-

математической статистики под руководством академика РАН, профессора И.А. Ибрагимова. В январе 1977 г. Александр Николаевич по распределению приехал в Сыктывкар и был принят на работу в Сыктывкарский государственный университет, где прошел все ступени преподавательской карьеры от ассистента до профессора (1997), одновременно занимаясь научными исследованиями.

Обучаясь в аспирантуре, Александр Николаевич создал новый, изящный и эффективный метод исследования асимптотики распределения сумм слабо зависимых величин, положенный в основу его кандидатской диссертации (1977). Развивая предложенный метод, расширяя область его применимости, он получил целый ряд важнейших результатов в области суммирования слабо зависимых величин, в частности, получил оптимальные с точностью до логарифмического множителя оценки скорости сходимости в центральной предельной теореме для случайных величин и векторов, удовлетворяющих условию перемешивания, которые составили содержание его докторской диссертации (1996). После защиты докторской началось его плодотворное научное сотрудничество с выдающимся немецким математиком Ф. Гетце. Совместно они исследовали асимптотику распределения квадратичных форм от независимых случайных величин и получили блестящие результаты в этом направлении, включая оптимальные оценки скорости сходимости. Эти результаты опубликованы в ведущих мировых журналах по теории вероятностей – *Annals of Probability*, *Bernoulli*, *Journal of Theoretical Probability*.

На рубеже веков, в 1999-2000 гг., начался новый этап в научной работе ученого – исследования в теории случайных матриц. И опять в сотрудничестве с Ф. Гетце получена серия замечательных результатов, таких как исследование сходимости эмпирической спектральной функции распределения эрмитовых матриц к полукруговому закону, выборочных ковариационных матриц к распределению Марченко-Пастура, с указанием скорости сходимости, доказательство кругового закона для случайных матриц при минимальных

предположениях и его обобщение на случай произведения независимых матриц.

Почти 18 лет А.Н. Тихомиров руководил кафедрами в Сыктывкарском университете: в 1983-1989 гг. – кафедрой высшей математики, с 1991 г. по 2002 г. заведовал кафедрой геометрии, алгебры, математической статистики и теории управления. Пожалуй, самый трудный период для российской науки и образования – 90-е гг. прошлого века – был самым ярким в деятельности Александра Николаевича на посту заведующего кафедрой. Именно в этот период в Сыктывкарский университет поступали сильные студенты, поскольку боялись или не имели экономической возможности уезжать в центральные города России. В 2006 г. ученый был избран по конкурсу на должность профессора кафедры теории вероятностей и математической статистики Санкт-Петербургского государственного университета. В этой должности Александр Николаевич проработал два с половиной года, а потом принял решение вернуться в Сыктывкар, где был принят по конкурсу на должность ведущего научного сотрудника Отдела математики Коми НЦ УрО РАН.

А.Н. Тихомиров щедро передает свой научный опыт молодому поколению математиков. Под его научным руководством защищены три кандидатские диссертации и не один десяток дипломных работ. Александр Николаевич избран членом Ученого совета Отдела математики.

За свою многолетнюю плодотворную научно-педагогическую деятельность А.Н. Тихомиров был награжден Почетной грамотой Министерства образования и науки Российской Федерации, Почетной грамотой Республики Коми, имеет дипломы, грамоты и другие поощрения.

Александр Николаевич пользуется уважением и любовью в коллективе. Коллеги ценят его за чуткость, жизнерадостность, огромное личное обаяние. Пожелаем Александру Николаевичу доброго здоровья, неиссякаемой энергии, успехов в работе и семейного благополучия.

редколлегия

**ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ
журнала «Известия Коми НЦ УрО РАН»***

Журнал публикует научно-аналитические обзоры (объем до 25 м.с.), оригинальные статьи (до 15 м.с.) и краткие сообщения (до 6 м.с.) теоретического и экспериментального характера по проблемам естественных, технических, общественных и гуманитарных наук, в том числе региональной направленности. К публикации также принимаются комментарии к ранее опубликованным работам, информация о научных конференциях, рецензии на книги, хроника событий научной жизни. Статьи должны отражать результаты законченных и методически правильно выполненных работ.

Решение о публикации принимается редакционной коллегией журнала после рецензирования, учитывая новизну, научную значимость и актуальность представленных материалов. Статьи, отклоненные редакционной коллегией, повторно не рассматриваются.

Общие требования к оформлению рукописей

Статьи должны сопровождаться направлением научного учреждения, где была выполнена работа. В необходимых случаях должно быть приложено экспертное заключение. Организация, направляющая статью, как и автор(ы), несет ответственность за её научное содержание, достоверность и оригинальность приводимых данных. Изложение материала статьи должно быть ясным, лаконичным и последовательным. Статья должна быть хорошо отредактирована, тщательно проверена и подписана всеми авторами (автором) с указанием (полностью) фамилии, имени, отчества, домашнего адреса, места работы, служебного и сотового телефонов и e-mail.

В редакцию подается рукопись статьи в двух экземплярах – на бумаге и на диске в редакторе WinWord под Windows. Математические статьи могут подаваться в редакторе TEX. Электронная и бумажная версии статьи должны быть идентичны. Электронный вариант рукописи может быть прислан по электронной почте на адрес редакционной коллегии: journal@presidium.komisc.ru. Текст должен быть набран на компьютере (шрифт Times New Roman, кегль 14) в одну колонку через 1,5 интервала на бумаге форматом А4. По всей статье шрифт должен быть одинаковым. Поля страниц оригинала должны быть не менее: левое – 25 мм, верхнее – 20 мм, правое – 10 мм, нижнее – 25 мм. Объем иллюстраций (таблицы, рисунки, фото) в статье не должен превышать 8-10, а список литературы – 15 наименований. Количество иллюстраций в кратких сообщениях не должно превышать, соответственно, 5.

Первая страница рукописи оформляется следующим образом: в начале статьи указывается индекс Универсальной десятичной классификации (УДК); затем прописными буквами печатается название статьи, которое должно быть максимально кратким (информированным) и не содержать сокращений; далее следуют инициалы и фамилии авторов. Отдельной строкой дается название учреждения и города (для иностранных авторов – также страны). Ниже печатается электронный адрес для переписки. При наличии авторов из нескольких организаций необходимо арабскими цифрами указать их принадлежность. Через один полуторный интервал следует краткая аннотация (8-10 строк), в которой сжато и ясно описываются основные результаты работы. После аннотации через полуторный интервал приводятся ключевые слова (не более 6-8). Далее идут название статьи, аннотация и ключевые слова на английском языке.

Текст статьи состоит, как правило, из введения, основного текста, заключения (резюме) и списка литературы. В статье, описывающей результаты экспериментальных исследований, рекомендуется выделить разделы: «Материал и методы», «Результаты и обсуждение». Отдельно прилагаются подрисовочные подписи.

Во введении (заголовком не выделяется) в максимально лаконичной форме должны быть изложены цель, существо и новизна рассматриваемой задачи с обязательным кратким анализом данных наиболее важных и близких по смыслу работ других авторов. Однако введение не должно быть обзором литературы. В разделе «Материал и методы» должны быть четко и кратко описаны методы и объекты исследования. Единицы измерения следует приводить в Международной системе СИ. Подробно описываются только оригинальные методы исследования, в других случаях указывают только суть метода и дают обязательно ссылку на источник заимствования, а в случае модификации – указывают, в чем конкретно она заключается.

При первом упоминании терминов, неоднократно используемых в статье (однако не в заголовке статьи и не в аннотации), необходимо давать их полное наименование, и сокращение в скобках, в последующем применяя только сокращение. Сокращение проводить по ключевым буквам слов в русском написании. Все используемые, включая общепринятые, аббревиатуры должны быть расшифрованы при первом упоминании. Все названия видов флоры и фауны при первом упоминании в тексте обязательно даются на латыни с указанием авторов.

В разделе «Результаты и обсуждение» полученные данные приводят либо в табличной форме, либо на рисунках, без дублирования одной формы другой, и краткого описания результатов с обсуждением в сопоставлении с данными литературы.

* Включен в перечень ведущих периодических изданий ВАК.

Таблицы должны быть составлены в соответствии с принятым стандартом, без включения в них легко вычисляемых величин. Все результаты измерений должны быть обработаны и оценены с применением методов вариационной статистики. Таблицы нумеруются по мере упоминания в статье, каждой дается тематический заголовок, и размещаются на отдельной странице. Таблицы призваны иллюстрировать текстовый материал, поэтому описывать их содержание в тексте не следует. Ширина таблицы должна быть либо 90 мм (на одну колонку), либо 185 мм (на две колонки). Текст в таблице набирается шрифтом Times New Roman, кегль 9-10, через два интервала. Сокращение слов в шапке таблиц не допускается. Пустые графы в таблицах не допускаются. Они должны быть заменены условными знаками, которые объясняются в примечании. Единицы измерения даются через запятую, а не в скобках: масса, г. Если таблица в статье одна, то ее порядковый номер не ставится и слово «Таблица» не пишется.

Рисунки представляются пригодными для непосредственного воспроизведения, пояснения к ним выносятся в подрисующие подписи (за исключением кратких цифровых или буквенных обозначений), отдельные фрагменты обозначаются арабскими цифрами или буквами русского алфавита, которые расшифровываются в подрисующих подписях. На рисунках, выполненных на компьютере, линии должны быть яркими (4-5 рix).

Ширина рисунков должна быть либо 90 мм, либо 185 мм, а высота – не более 240 мм. Шрифт буквенных и цифровых обозначений на рисунках – Times New Roman, кегль – 9-10. На рисунках следует использовать разные типы штриховок с размером шага, допускающим уменьшение, а не оттеночные заливки серого и черного цветов. Каждый рисунок должен быть выполнен на отдельной странице. На обратной стороне рисунка простым карандашом или ручкой указывается фамилия первого автора статьи и номер рисунка.

Карты должны быть выполнены на географической основе ГУГК (контурные или бланковые карты). Транскрипция географических названий должна соответствовать атласу последнего года издания.

Фотографии представляют нескрепленными на белой глянцева́й бумаге в двух экземплярах (один из них чистый, без каких-либо надписей) в конверте. Желательно обрезать их до необходимого размера репродукции, чтобы они попадали в размеры страницы. На обратной стороне (на полях) фотографий простым карандашом указываются фамилии первого автора, название статьи, порядковый номер рисунка, его верх или низ. Подрисующие подписи оформляются на отдельной странице. В подписях к микрофотографиям указываются увеличение объектива и окуляра, метод окраски.

Местоположение каждой таблицы, рисунка, карты, фотографии при первом упоминании их в тексте отмечается на полях рукописи в квадратных рамках простым карандашом.

Математические и химические обозначения и формулы печатаются или вписываются с соблюдением размеров прописных и строчных букв. Во избежание неясности прописные и строчные буквы, имеющие одинаковое начертание (с, k, j, p, u, v, w, x, y, ψ), следует подчеркнуть двумя черточками: прописные – снизу (S), а строчные – сверху (p). Необходимо тщательно вписывать такие буквы, как j («йот») и l («эль»). Греческие буквы обводятся кружком красного цвета. Знак суммы (Σ) красным не обводится. Название неясных букв желательно написать карандашом на полях (например, «эль», «кси», «дзета», «не эль», «и», «йот»).

Математические символы, которые набираются прямым, а не курсивным шрифтом, типа log, lim, max, min, sin, tg, Ri, Im, числа Релея (Re), Россби (Ro), Кибеля (Ki) и другие, а также химические символы, отмечаются снизу квадратной скобкой. Необходимо также дать расшифровку всех используемых в статье параметров, включая подстрочные и надстрочные индексы, а также всех аббревиатур (условные сокращения слов). Следует соблюдать единообразие терминов. Нумерация формул (только тех, на которые есть ссылка в тексте) дается в круглых скобках с правой стороны арабскими цифрами.

В тексте цитируемую литературу приводить только цифрами в квадратных скобках. Список литературы должен быть представлен на отдельной странице и составлен в порядке упоминания источников в тексте в соответствии со следующими правилами описания. Журнальные публикации: фамилии и инициалы всех авторов, полное название статьи журнала, название журнала (в соответствии с рекомендованным ВИНТИ списком сокращений), год, том, выпуск (номер), страницы (первая и последняя). Книги: фамилии и инициалы всех авторов, полное название книги, инициалы и фамилии редакторов, город, год, страницы (если ссылка не на всю книгу) или число страниц в книге. Сборники: фамилия и инициалы авторов, полные названия статьи и сборника, первая и последние страницы. Если сборник содержит материалы конференций, необходимо указать их форму (труды, доклады, материалы) и название конференции. Диссертации: фамилия и инициалы автора, полное название диссертации, на соискание какой степени, каких наук, город, институт, в котором выполнена работа, год. Ссылки на авторефераты допускаются в исключительных случаях с указанием фамилии и инициалов автора, полного названия работы, места и года защиты, общего количества страниц. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Список литературы оформляется по нижеприведенным примерам (следует обратить особое внимание на знаки препинания):

1. Иванов И.И. Название статьи // Название журнала. 2005. Т.41. № 4. С. 18-26.

2. *Петров П.П.* Название книги. М.: Наука, 2007. Общее число страниц в книге (например, 180 с.) или конкретная страница (например, С. 75.).

3. *Казаков К.К.* Название диссертации: Дис. «...». канд. биол. наук. М.: Название института, 2002. 164 с.

4. *Мартынюк З. П.* Патент RU № 92963 на полезную модель "Фотограмметрическое средство измерений объемов круглых лесоматериалов при проведении погрузо-разгрузочных работ". Патенто-обладатель(и): Учреждение Российской академии наук Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН.

При наличии четырех авторов в списке литературы указываются все, а более четырех – только первые три, а далее пишется «и др.».

Для статей журналов, имеющих русскую и английскую версию, необходимо давать в списке литературы двойную ссылку (под одним номером), например:

1. *Иванов И.И., Петров П.П.* Название статьи // Название журнала. 2008. Т. 47. № 1. (8-18). *Ivanov I., Petrov P.* Article name // Magazine name. 2008. Т. 47. № 1. (4-15).

При несоблюдении этих перечисленных правил статья не рассматривается редакционной коллегией, а возвращается авторам на доработку.

Все статьи проходят рецензирование и в случае необходимости возвращаются авторам на доработку. Рецензирование статьи закрытое. Возможно повторное и параллельное рецензирование. Редакционная коллегия оставляет за собой право редактирования статьи. Статьи публикуются в порядке очередности, но при этом учитывается их тематика и актуальность. Редакционная коллегия сохраняет первоначальную дату поступления статьи, а, следовательно, и очередность публикации, при условии возвращения ее в редакционную коллегия не позднее, чем через 1 месяц. Корректуру принятой в печать статьи редакционная коллегия иногородним авторам рассылает по e-mail. Автор в течение 7-10 дней должен вернуть ее в редакционную коллегия или передать правку по указанному телефону или электронному адресу (e-mail) редакционной коллегии. В случае отклонения материала рукописи, приложения и дискета не возвращаются.

Требования к электронной версии статьи

При подготовке материалов для журнала с использованием компьютера рекомендуются следующие программы и форматы файлов.

Текстовые редакторы: Microsoft Word for Windows. Текст статьи набирается с соблюдением следующих правил:

- набирать текст без принудительных переносов;
- разрядки слов не допускаются;

- уравнения, схемы, таблицы, рисунки и ссылки на литературу нумеруются **в порядке их упоминания в тексте**; нумеровать следует лишь те формулы и уравнения, на которые даются ссылки в тексте;

- в числовых значениях десятичные разряды отделяются запятой;
- вставка символов **Symbol**.

Графические материалы: *Растровые рисунки* должны сохраняться только в формате TIFF с разрешением 300 dpi (точек на дюйм) для фотографий и не менее 600 dpi (точек на дюйм) для остальных рисунков (черно-белый). Использование других форматов нежелательно.

Векторные рисунки (не диаграммы) должны предоставляться в формате программы, в которой они созданы: CorelDraw. Adobe Illustrator. Если использованная программа не является распространенной, необходимо сохранить файлы рисунков в формате Enhanced Windows Metafile (EMF) или Windows Metafile (WMF).

Диаграммы: Рекомендуется использовать Microsoft Excel, Origin для Windows (до версии 6.0).

Не рекомендуется пользоваться при работе программой Microsoft Graph и программами Paint из Windows 95, Microsoft Draw.

Рукописи статей **только простым письмом** направлять по адресу:

Ответственному секретарю редакционной коллегии

журнала «Известия Коми НЦ УрО РАН»

Надежде Валериановне Ладановой

167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 24,

Президиум Коми НЦ УрО РАН, каб. 209

Тел. (8212) 24-47-79; тел, факс (8212) 24-17-46

E-mail: journal@presidium.komisc.ru.

www.izvestia.komisc.ru

Научный журнал

ИЗВЕСТИЯ

Коми научного центра
Уральского отделения РАН

Вып.3(7)

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 6.10.2011.
Формат бумаги 60x84¹/₈. Печать офсетная.
Усл.-печ.л. 14,75. Уч.-изд.л. 14,5. Тираж 300. Заказ № 44.

Редакционно-издательский отдел
Коми научного центра УрО РАН.
167982, ГСП, г.Сыктывкар, ул.Первомайская, 48.