

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

2010

Главный редактор:

член-корреспондент РАН *А.М. Асхабов*

Редакционная коллегия:

д.т.н. И.Н. Андронов, д.м.н. Е.Р. Бойко, д.э.н. Н.М. Большаков,
к.г.-м.н. И.Н. Бурцев, д.б.н. М.В. Гецен (зам. главного редактора),
д.ф.-м.н. Н.А. Громов, д.б.н. С.В. Дегтева, к.геогр.н. Т.Е. Дмитриева,
к.ф.-м.н. И.А. Зудов, д.и.н. И.Л. Жеребцов, чл.-корр. РАН А.В. Кучин,
д.г.-м.н. О.Б. Котова, д.б.н. Н.В. Ладанова (отв. секретарь),
чл.-корр. РАН В.Н. Лаженцев (зам. главного редактора),
д.б.н. И.М. Роцевская, к.х.н. С.А. Рубцова,
к.и.н. А.В. Самарин, к.и.н. А.Ф. Сметанин,
к.б.н. А.И. Таскаев (зам. главного редактора), *д.филол.н. Г.В. Федюнева, д.т.н. Ю.Я.*
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,
акад. А.Г. Гранберг, д.э.н. В.Н. Задорожный, д.э.н. В.А. Ильин,
акад. В.Т. Калинин, акад. В.А. Коротеев, к.т.н. Н.А. Манов,
акад. В.П. 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,
чл.-корр. РАН Ф.Н. Юдахин

Адрес редакции:

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

ISSN 1994-5655

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

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

А.Н.Тихомиров. Предельные теоремы для случайных матриц	4
Р.Е.Афонин, А.Б.Певный. Точное решение экстремальной задачи дельсарта для неотрицательных полиномов	14

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

С.А.Рубцова, К.С.Родыгин, А.В.Кучин. Полезная сераорганическая химия	18
---	----

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Е.В.Гармаш. Альтернативный путь дыхания в растениях: регуляция и функции	26
О.Н.Кононова. Трофическая структура зоопланктона малых пойменных озер бассейна р.Вычегда.....	32
Р.Г.Оводова, В.В.Головченко, С.В.Попов, Ю.С.Оводов. Новейшие сведения о пектиновых полисахаридах	37

ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Н.В.Сокерина, С.Н.Шанина, Н.Н.Зыкин. Геохимические условия образования кварцевых жил на золоторудных проявлениях Манитаньрдского района	46
В.С.Цыганко, Т.М.Безносова, В.Ю.Лукин, Д.Б.Соболев. Палеозойская стратисфера северо-востока Европы: стратиграфическая корреляция, биогеособытийная история, эволюция морских палеоэкосистем	55
О.С.Кочетков, О.В.Соловьева. Проблема технологии разработки тонкодисперсных медных руд среднего Тимана	62

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Б.А.Голдин, Ю.И.Рябков, Н.А.Секушин, Л.Ю.Назарова. Проблемы радиопрозрачности и радиопоглощения керамических и композиционных материалов со структурой корунда (сравнительный анализ)	66
М.В.Хохлов. Оценивание состояния электроэнергетических систем по неквадратичным критериям при ограничениях в форме равенств	69

ИСТОРИКО-ФИЛОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Ю.П.Шабаетв. «Русский Север» в этнокультурном и этнодемографическом измерении	75
Ф.Н.Иванов. Раскладка рекрутской повинности в России: законодательство и представления населения о «справедливости»	82

ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

А.М.Васильев, О.Н.Заболотский. Экономические аспекты развития рыбного хозяйства в зоне Арктики	88
Г.В.Данилов. Анализ возрастной структуры профессорско-преподавательского состава регионального ВУЗа95	
В.Н.Лаженцев. Взаимосвязь теории и практики (пример методологии экономико-географического исследования).....	99

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТДЕЛ (ЮБИЛЕИ).....	106
--	-----

CONTENTS

PHYSICAL And MATHEMATICAL SCIENCES

A.N.Tikhomirov. Limit theorems for random matrices.....	4
R.Afonin, A.Pevny. Exact solution of delarte extremal problem for nonnegative polynomials	14

CHEMICAL SCIENCES

S.A.Rubtsova, K.S.Rodygin, A.V.Kutchin. Useful sulfurorganic chemistry	18
---	----

BIOLOGICAL SCIENCES

E.V.Garmash. The alternative respiration pathway in plants: regulation and functions	26
O.N.Kononova. Trophic structure of the zooplankton of the small floodplain lakes of the Vychegda river basin	32
R.G.Ovodova, V.V.Golovchenko, S.V.Popov, Yu.S.Ovodov. The modern information concerning pectic polysaccharides.....	37

GEOLOGICAL-MINERALOGICAL SCIENCES

N.V.Sokerina, S.N.Shanina, N.N.Zykin. Geochemical conditions of vein quartz formation of gold deposits of Manitanyrd region.....	46
V.S.Tsyganko, T.M.Beznosova, V.Yu.Lukin, D.B.Sobolev. Paleozoic stratosphere of North-Eastern Europe: stratigraphic correlation, biogeoevent history, evolution of marine paleoecosystems	55
O.S.Kochetkov, O.V.Solovyeva. Technological development problem of thin dispersion copper ores of Middle Timan.....	62

TECHNICAL SCIENCES

B.A.Goldin, Yu.I.Ryabkov, N.A.Sekushin, L.Yu.Nazarova. Problems of radiolucent and radio absorption of ceramic and compositional materials with corundum structure (comparative analysis)	66
M.V.Khokhlov. Nonquadratic criteria based power system state estimation with equality constraints	69

HISTORICAL-PHILOLOGICAL SCIENCES

Yu.P.Shabaev. “Russian North” in ethnocultural and ethnodemographic dimension	75
F.N.Ivanov. The redistribution of recruiting duty in Russia: legislation and population conception of “justice”	82

SOCIAL SCIENCES

A.M.Vasilyev, O.N.Zabolotsky. Social and economic aspects of the fisheries development in the Arctic zone.....	88
G.V.Danilov. Analysis of teaching staff age structure at regional institutions	95
V.N.Lazhentsev. The relationship of theory and practice (an example of the methodology of economic-geographical research)	99

OFFICIAL (ANNIVERSARIES)	106
---------------------------------------	-----

УДК 519.2

ПРЕДЕЛЬНЫЕ ТЕОРЕМЫ ДЛЯ СЛУЧАЙНЫХ МАТРИЦ

А.Н. ТИХОМИРОВ

*Отдел математики Коми НЦ УрО РАН, г.Сыктывкар
sasha-tikh@yandex.ru*

Приводится обзор результатов по предельным теоремам для случайных матриц, полученных за последние 10 лет в совместных исследованиях А.Н. Тихомирова и немецкого математика профессора Ф. Гётце. Рассматриваются скорость сходимости к полукруговому закону, скорость сходимости к распределению Марченко-Пастура, метод Стейна для случайных матриц, доказательство кругового закона и предельные теоремы для степеней и произведений случайных матриц.

Ключевые слова: случайные матрицы, полукруговой закон, вигнеровские матрицы, круговой закон

A.N. TIKHOMIROV. LIMIT THEOREMS FOR RANDOM MATRICES

The review of some results on limit theorems for random matrices that have been obtained during the last 10 years in the joint research of A. N. Tikhomirov and F. Götze, with participation of PhD students D. Timushev and N. Alexeev is given. The author considers the rate of convergence in semi-circle law and in the Marchenko-Pastur law. Stein's method for random matrices, the proof of circular law, and some limit theorems for powers and products of random matrices are described.

Key words: random matrices, semi-circle law, Wigner matrices, circular law

Введение

Теория случайных матриц – активно развивающаяся в последние десятилетия область математики. В начале 50-х гг. прошлого столетия Вигнер предложил использовать матрицы большой размерности, элементы которых суть гауссовские случайные величины, для описания дискретной части спектра гамильтониана взаимодействия элементарных частиц тяжелых атомов. Это дало толчок к развитию теории случайных матриц, нашедшей широкое применение в различных областях знаний. Значительный прогресс в изучении асимптотики поведения спектра случайных матриц был достигнут буквально в последние годы. В настоящей статье мы попытаемся отразить некоторые результаты, полученные автором совместно с Ф. Гётце (F. Götze, Германия), С. Г. Бобковым (Миннесота, США) и учениками Н. Алексеевым и Д. Тимушевым, рассмотрим вигнеровские ансамбли, т.е. совокупность эрмитовых матриц с независимыми (с точностью до симметрии) элементами, и ансамбли выборочных ковариационных матриц. Будут приведены также результаты о поведении спектра неэрмитовых матриц с независимыми элементами. Нас будет интересовать асимптотическое поведение прореженных матриц, возникающих, например, в задачах описания цензурированных статистических данных большой размерности. Также мы рассмотрим одно из новых направлений в теории случайных матриц – изучение сингулярного спектра

степеней и произведений случайных матриц с независимыми элементами (без предположений симметрии) и собственного спектра произведения случайных матриц.

1. Вигнеровские случайные матрицы

В 1955 г. Вигнер в работе [1] доказал, что математическое ожидание эмпирического распределения, определенного на множестве собственных чисел симметричной случайной матрицы, элементы которой независимы (с точностью до симметрии) случайные величины, принимающие значения $+1$ или -1 с вероятностью $1/2$, сходится при неограниченном росте размерности матрицы к распределению с плотностью, график которого представляет полуокружность радиуса 2. Этот результат получил в дальнейшем название полукругового закона, а соответствующее распределение называют полукруговым распределением. Полукруговой закон был распространен на очень широкие классы случайных матриц. Так, уже в 1958 г. Вигнер в работе [2] доказал полукруговой закон для симметричных случайных матриц с субгауссовскими элементами (случайная величина ξ называется субгауссовской, если существует такая положительная постоянная $\beta > 0$, что для любого $x > 0$ $\Pr\{|\xi| > x\} \leq \exp\{-\beta x^2\}$). Гренандер (см., например, Гирко [3]) показал, что эмпирическое спектральное распределение случайной матрицы (равномерное распределение на множестве собствен-

ных чисел матрицы) сходится по вероятности с ростом размерности матрицы к полукруговому распределению. Арнольд в работе [4] доказал сходимость почти наверное эмпирической спектральной функции распределения симметричной случайной матрицы к полукруговому распределению. Окончательно было показано, что слабый полукруговой закон (сходимость по вероятности эмпирической спектральной функции распределения к полукруговому распределению) имеет место, если элементы матрицы независимы, имеют одинаковые математические ожидания и дисперсии и удовлетворяют условию Линдеберга (см., например, Гирко [3]).

Приведем формальное описание упомянутых выше результатов. Пусть ξ_{jk} , $1 \leq j \leq k$ треугольный массив независимых случайных величин (вещественных при $j = k$ и, возможно, комплексных при $j < k$) с $\mathbb{E} \xi_{jk} = a$ и дисперсией $\mathbb{E} |\xi_{jk} - a|^2 = \sigma^2$, где a – произвольное комплексное число, а σ – произвольное положительное число. Рассмотрим последовательность матриц

$$\mathbf{X}^{(n)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{n}} \begin{pmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1n-1} & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2n-1} & X_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{nn-1} & X_{nn} \end{pmatrix},$$

где $X_{jk} = \xi_{jk}$ и $X_{kj} = \bar{\xi}_{jk}$ для $1 \leq j \leq k$. Заметим, что матрицы $\mathbf{X}^{(n)}$ обладают свойством эрмитовости (они симметричны, если все элементы вещественны или эрмитово сопряжены, если элементы комплексные, т. е. $\mathbf{X}^{(n)*} = \mathbf{X}^{(n)}$, где $\mathbf{X}^{(n)*}$ означает транспонированную и комплексно сопряженную матрицу $\mathbf{X}^{(n)}$). Собственные числа таких матриц вещественны и мы обозначим их в порядке возрастания: $\lambda_1^{(n)} \leq \cdots \leq \lambda_n^{(n)}$. Определим эмпирическую спектральную меру матрицы $\mathbf{X}^{(n)}$, приписав каждому значению $\lambda_j^{(n)}$ вероятность $1/n$ и соответствующую этой мере эмпирическую спектральную функцию распределения

$$\mathcal{F}_n(x) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \mathbb{I}\{\lambda_j^{(n)} < x\},$$

где $\mathbb{I}\{A\}$ означает индикатор события A . Символом $F_n(x)$ обозначим математическое ожидание функции $\mathcal{F}_n(x)$, $F_n(x) = \mathbb{E} \mathcal{F}_n(x)$. Пусть $G(x)$ – функция распределения полукругового закона с параметром $\sigma = 1$, т.е. функция распределения с плотностью

$$g(x) = G'(x) = \frac{1}{2\pi} \sqrt{4 - x^2} \mathbb{I}\{|x| \leq 2\}.$$

Определение 1. Будем говорить, что к последовательности случайных матриц $\mathbf{X}^{(n)}$ применим

- *полукруговой закон Вигнера*, если

$$\lim_{n \rightarrow \infty} F_n(x) = G(x),$$

- *слабый полукруговой закон*, если

$$\text{plim}_{n \rightarrow \infty} \mathcal{F}_n(x) = G(x) \quad (\text{сходится по вероятности}),$$

- *усиленный полукруговой закон*, если

$$\text{Plim}_{n \rightarrow \infty} \mathcal{F}_n(x) = G(x) \quad (\text{сходится почти наверное}).$$

Заметим, что усиленный полукруговой закон влечет за собой слабый полукруговой закон, а из

слабого полукругового закона следует, в свою очередь, полукруговой закон Вигнера. Мы приведем основной результат о применимости полукругового закона к случайным матрицам.

Теорема 1. Пусть случайные величины ξ_{jk} , $1 \leq j \leq k$ независимы, имеют одинаковые математические ожидания $\mathbb{E} \xi_{jk} = a$ и одинаковые дисперсии $\mathbb{E} |\xi_{jk} - a|^2 = \sigma^2$ для некоторого $\sigma > 0$. Предположим, что случайные величины ξ_{jk} удовлетворяют условию Линдеберга

$$L_n(\tau) := \frac{2}{n(n+1)} \sum_{j=1}^n \sum_{k=j}^n \int_{\{x \geq \tau\sqrt{n}\}} x^2 dF_{jk}(x) \rightarrow 0, \quad \text{когда } n \rightarrow \infty,$$

где $F_{jk}(x) = \Pr\{|\xi_{jk}| < x\}$. Тогда последовательность матриц $\mathbf{X}^{(n)}$ удовлетворяет слабому полукруговому закону.

Этот результат был впервые получен Пастуром в работе [5]. Гирко (см. [3]) при близких предположениях доказал усиленный полукруговой закон.

Теорема 2. Пусть случайные величины ξ_{jk} , $1 \leq j \leq k$ независимы, имеют одинаковые математические ожидания $\mathbb{E} \xi_{jk} = a$ и одинаковые дисперсии $\mathbb{E} |\xi_{jk} - a|^2 = \sigma^2$ для некоторого $\sigma > 0$. Предположим, что случайные величины ξ_{jk} удовлетворяют модифицированному условию Линдеберга

$$\hat{L}_n(\tau) := \frac{1}{n} \max_{1 \leq j \leq n} \sum_{k=j}^n \int_{\{x \geq \tau\sqrt{n}\}} x^2 dF_{jk}(x) \rightarrow 0, \quad \text{когда } n \rightarrow \infty,$$

где $F_{jk}(x) = \Pr\{|\xi_{jk}| < x\}$. Тогда последовательность матриц $\mathbf{X}^{(n)}$ удовлетворяет усиленному полукруговому закону.

Не умаляя общности, мы будем считать в дальнейшем, что $\sigma^2 = 1$. Скорость сходимости в полукруговом законе одним из первых начал изучать Гирко (см. [3]). Основным методом исследования скорости сходимости в полукруговом законе, предложенный им, – это использование преобразования Стильтеса. Надо заметить, что данное преобразование в теории случайных матриц впервые использовали Марченко и Пастур в 1967 г. [6] для доказательства сходимости эмпирической спектральной функции распределения некоторых случайных операторов. Гирко была найдена одна из первых оценок расстояния по Колмогорову между функциями распределения через их преобразование Стильтеса. В 1993 г. Бай [7] улучшил результат Гирко, получив более точную оценку расстояния по Колмогорову между функциями распределения через преобразования Стильтеса и, благодаря этому, более точную оценку скорости сходимости. В качестве меры скорости сходимости в полукруговом законе Вигнера мы введем расстояние по Колмогорову между математическим ожиданием эмпирической функции распределения и функцией распределения полукругового закона

$$\Delta_n := \sup_x |F_n(x) - G(x)|.$$

В 2002 г. независимо были получены оценки вида $\Delta_n = O(n^{-1/2})$ одновременно в трех работах: Гирко [8], Бай и соавторы [9], Гётце и Тихомиров [10]. Во

всех работах использовались разные подходы. Следует отметить, что оценка, полученная в работе Гётце и Тихомирова [10], давала более точную зависимость от моментов распределения случайных матриц. Кроме того, Гётце и Тихомировым была получена оценка скорости сходимости в слабом полукруговом законе лучше по порядку зависимости от n , чем в работе Бая и соавторов. Гирко не рассматривал скорость сходимости в слабом полукруговом законе. Также в работе [10] было получено более точное неравенство для оценки расстояния по Колмогорову между функциями распределения через их преобразования Стильтеса. Ниже мы приведем эти результаты более детально. В качестве меры скорости сходимости в слабом полукруговом законе рассмотрим величину

$$\Delta_n^* := \mathbf{E} \sup_x |\mathcal{F}_n(x) - G(x)|.$$

Очевидно, что $\Delta_n \leq \Delta_n^*$. Мы приведем сначала неравенство, позволяющее оценивать близость между функциями распределения через их преобразования Стильтеса. Дадим определение преобразования Стильтеса.

Определение 2. Для любой случайной величины ξ с функцией распределения $G(x)$ определим преобразование Стильтеса равенством

$$S_G(z) = \mathbf{E} \frac{1}{\xi - z} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{x - z} dG(x),$$

где $z = u + \sqrt{-1}v$, $v > 0$.

Определим для любых функций распределения F и G расстояние Леви как

$$L(F, G) = \inf\{\delta > 0 : F(x - \delta) - \delta \leq G(x) \leq F(x + \delta) + \delta, \forall x \in \mathbb{R}\}. \quad (1)$$

В работе Бобкова, Гётце и Тихомирова [11] доказано следующее неравенство.

Теорема 3. Пусть F и G произвольные функции распределения. Существует такая универсальная постоянная $c > 0$, что для любых $0 < v_0 < v_1$ выполнено

$$\begin{aligned} cL(F, G) &\leq v_0 + v_0 \sup_x \operatorname{Im}(S_G(x + \sqrt{-1}v_0)) \\ &+ \int_{-\infty}^{\infty} |S_F(u + \sqrt{-1}v) - S_G(u + \sqrt{-1}v)| du \\ &+ \sup_{x \in [\alpha + 2v_0, \beta - 2v_0]} \left| \int_{v_0}^{v_1} (S_F(u + \sqrt{-1}v) - S_G(u + \sqrt{-1}v)) dv \right|, \end{aligned}$$

где $\alpha < \beta$ выбраны так, чтобы $G(\alpha) \leq v_0$ и $G(\beta) \geq 1 - v_0$.

В частности, в случае, если G распределение полукругового закона, то теорема 3 влечет следующий результат.

Теорема 4. Если G функция распределения стандартного полукругового закона, F – функция распределения, то существует такая универсальная постоянная $c > 0$, что для любых $v_1 > v_0 > 0$ выпол-

нено

$$\begin{aligned} &c \sup_x |F(x) - G(x)| \\ &\leq \sup_{x \in [-2, 2]} \left| \int_{v_0}^{v_1} (S_F(x + \sqrt{-1}v) - S_G(x + \sqrt{-1}v)) dv \right| \\ &+ \int_{-\infty}^{\infty} |S_F(u + \sqrt{-1}v_1) - S_G(u + \sqrt{-1}v_1)| du + v_0. \end{aligned}$$

Последнее неравенство было доказано в работе Гётце и Тихомирова [10]. С применением теоремы 4 получен целый ряд оценок скорости сходимости в полукруговом законе Вигнера и слабом полукруговом законе.

Теорема 5. Пусть случайные величины ξ_{jk} , $1 \leq j \leq k$ независимы и имеют нулевые математические ожидания и единичные дисперсии

$$\mathbf{E} \xi_{jk} = 0 \quad \text{и} \quad \mathbf{E} |\xi_{jk}|^2 = 1.$$

Кроме того, предположим, что выполнено условие

$$\sup_{1 \leq j \leq k} \mathbf{E} |\xi_{jk}|^4 =: M_4 < \infty.$$

Тогда найдется такая универсальная постоянная $C > 0$, что

$$\Delta_n \leq CM_4^{\frac{1}{2}} n^{-\frac{1}{2}}. \quad (2)$$

Если дополнительно предположить, что

$$\sup_{1 \leq j \leq k} \mathbf{E} |\xi_{jk}|^{12} =: M_{12} < \infty,$$

то найдется такая универсальная постоянная $C > 0$, что

$$\Delta_n^* \leq CM_{12}^{\frac{1}{6}} n^{-\frac{1}{2}}.$$

Преимущество оценки (2) состоит в том, например, что из нее непосредственно вытекает оценка скорости сходимости в полукруговом законе Вигнера для прореженных (sparse) матриц. В частности, мы имеем следующий результат. Пусть $\varepsilon_{jk}^{(n)}$, $1 \leq j \leq k \leq n$ последовательность треугольных массивов, независимых при каждом фиксированном n , бернуллиевских случайных величин (принимających значения либо 0, либо 1) с $\mathbf{E} \varepsilon_{jk}^{(n)} = p_n$ с некоторым параметром $0 < p_n \leq 1$. Относительно случайных величин $\varepsilon_{jk}^{(n)}$, $1 \leq j \leq k \leq n$ предположим также, что они не зависят от совокупности случайных величин ξ_{jk} , $1 \leq j \leq k$. Определим прореженные матрицы как эрмитовы матрицы

$$\mathbf{X}^{(\varepsilon)} = \frac{1}{\sqrt{np_n}} \begin{pmatrix} X_{11}^{(\varepsilon)} & X_{12}^{(\varepsilon)} & \dots & X_{1n-1}^{(\varepsilon)} & X_{1n}^{(\varepsilon)} \\ X_{21}^{(\varepsilon)} & X_{22}^{(\varepsilon)} & \dots & X_{2n-1}^{(\varepsilon)} & X_{2n}^{(\varepsilon)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{n1}^{(\varepsilon)} & X_{n2}^{(\varepsilon)} & \dots & X_{nn-1}^{(\varepsilon)} & X_{nn}^{(\varepsilon)} \end{pmatrix},$$

где $X_{jk}^{(\varepsilon)} = \varepsilon_{jk}^{(n)} \xi_{jk}$ и $X_{kj}^{(\varepsilon)} = \overline{X_{jk}^{(\varepsilon)}}$ для $1 \leq j \leq k$. Чтобы не загромождать обозначения, мы не отразили зависимость от n в обозначениях случайной величины $X_{jk}^{(\varepsilon)}$. Обозначим $\lambda_1^{(\varepsilon)} \leq \dots \leq \lambda_n^{(\varepsilon)}$ собственные числа матрицы $\mathbf{X}^{(\varepsilon)}$ и определим эмпирическую спектральную функцию распределения матрицы $\mathbf{X}^{(\varepsilon)}$

$$\mathcal{F}_n^{(\varepsilon)}(x) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \mathbb{I}\{\lambda_j^{(\varepsilon)} < x\}.$$

Математическое ожидание эмпирической спектральной функции распределения прореженной матрицы обозначим $F_n^{(\varepsilon)}(x) = \mathbb{E} \mathcal{F}_n^{(\varepsilon)}(x)$. Положим $\Delta_n^{(\varepsilon)} := \sup_x |F_n^{(\varepsilon)}(x) - G(x)|$. Оценки скорости сходимости в полукруговом законе Вигнера для таких матриц дает следующая теорема.

Теорема 6. Пусть случайные величины ξ_{jk} , $1 \leq j \leq k$ независимы и имеют нулевые математические ожидания и единичные дисперсии

$$\mathbb{E} \xi_{jk} = 0 \quad \text{и} \quad \mathbb{E} |\xi_{jk}|^2 = 1.$$

Предположим, что

$$np_n \rightarrow \infty, \quad \text{когда} \quad n \rightarrow \infty.$$

Кроме того, предположим, что выполнено условие

$$\sup_{1 \leq j \leq k} \mathbb{E} |\xi_{jk}|^4 =: M_4 < \infty.$$

Тогда найдется такая универсальная постоянная $C > 0$, что

$$\Delta_n^{(\varepsilon)} \leq CM_4^{\frac{1}{2}} (np_n)^{-\frac{1}{2}}.$$

Доказательство теорем 5 и 6 приведено в работе [10], а оценки скорости сходимости при более слабых ограничениях на моменты элементов матрицы получены в статье [12].

Теорема 7. Пусть случайные величины ξ_{jk} , $1 \leq j \leq k$ независимы и имеют нулевые математические ожидания и единичные дисперсии

$$\mathbb{E} \xi_{jk} = 0 \quad \text{и} \quad \mathbb{E} |\xi_{jk}|^2 = 1.$$

Кроме того, предположим, что выполнено условие

$$\sup_{j,k} \mathbb{E} |\xi_{jk}|^{2+\delta} \leq M_{2+\delta} < \infty$$

для некоторого $\delta \in (0, 2]$. Тогда

$$\Delta_n \leq CM_{2+\delta}^{\frac{2}{2+\delta}} n^{-\frac{\delta}{2+\delta}}.$$

Оценки, приведенные в теоремах 5–7, являются наилучшими из известных, но вопрос об их оптимальности остается открытым. Для некоторых классов распределений элементов матрицы X удастся получить лучшие по порядку зависимости от n оценки скорости сходимости в полукруговом законе Вигнера, а также в слабом полукруговом законе.

Приведем следующие определения для гауссовских ансамблей.

Определение 3. Пусть элементы эрмитовой (или вещественной симметричной) матрицы независимы (с точностью до симметрии) и имеют гауссовское распределение с нулевым средним, при этом диагональные элементы имеют дисперсию $2\sigma^2$, а внедиагональные – σ^2 . Тогда говорят, что матрица принадлежит гауссовскому унитарному (ортогональному) ансамблю GUE (GOE) с $\sigma^2 = 1$.

Для случайных матриц из гауссовских ансамблей удастся получить оптимальные оценки скорости сходимости в полукруговом законе Вигнера.

Теорема 8. Пусть случайная матрица X принадлежит GUE (GOE). Тогда существует такая постоянная $C > 0$, что

$$\Delta_n \leq \frac{C}{n}.$$

Случай гауссовского унитарного ансамбля был рассмотрен в работе Гётце и Тихомирова [13], а случай гауссовского ортогонального ансамбля – в работе Тимушева, Тихомирова, Холопова [14].

Оценку скорости сходимости в полукруговом законе Вигнера лучше по порядку зависимости от размерности матрицы, чем $O(n^{-\frac{1}{2}})$ удастся получить не только для случайных матриц из гауссовских ансамблей. Так, например, оценку удастся улучшить для матриц, распределение элементов которой имеет невырожденную гауссовскую компоненту.

Теорема 9. Пусть $\xi_{jk} = \eta_{jk} + a\zeta_{jk}$, где $a > 0$, а случайные величины η_{jk} , $1 \leq j \leq k$ независимы в совокупности и не зависят от случайных величин ζ_{jk} . Случайные величины ζ_{jk} , $1 \leq j \leq k$ – независимые в совокупности гауссовские величины с нулевым средним, причем, если $j < k$, то ζ_{jk} – комплексные с независимыми вещественной и мнимой частью с дисперсией равной 1, если $j = k$, то ζ_{jk} суть вещественные гауссовские величины с нулевым средним и дисперсией равной 2. Пусть

$$\sup_{j,k} \mathbb{E} |\xi_{jk}|^p \leq M_p < \infty \quad \text{для любого} \quad p \geq 1.$$

Тогда для любого $\nu > 0$ найдется такая постоянная $C(a, \nu)$, зависящая лишь от a и ν , что

$$\Delta_n \leq C(a, \nu) n^{-\frac{2}{3} + \nu}.$$

Этот результат был получен в совместной работе Гётце, Тимушева и Тихомирова [15]. Улучшить оценку скорости сходимости в полукруговом законе Вигнера и слабом полукруговом законе удастся еще для одного класса распределений.

Определение 4. Говорят, что вероятностная мера μ на $\mathbb{R}^d$ удовлетворяет неравенству типа Пуанкаре с константой σ^2 , если для любой ограниченной гладкой функции на $\mathbb{R}^d$ с градиентом ∇g , выполнено неравенство

$$\text{Var}(g) \leq \sigma^2 \int |\nabla g|^2 d\mu.$$

Теорема 10. Пусть случайные величины ξ_{jk} одинаково распределены и их распределение удовлетворяет неравенству типа Пуанкаре на вещественной прямой. Тогда найдется такая постоянная C , что

$$\Delta_n \leq C n^{-\frac{2}{3}}$$

и

$$\Delta_n^* \leq C n^{-\frac{2}{3}} \log^2(n+1).$$

Последний результат был получен в совместной работе Бобкова, Гётце и Тихомирова [11].

2. Выборочные ковариационные матрицы

В этом параграфе мы будем предполагать, что задан двумерный массив независимых случайных величин ξ_{jk} , $1 \leq j, k$, с $\mathbb{E} \xi_{jk} = 0$ и $\mathbb{E} |\xi_{jk}|^2 = \sigma^2$. Величины ξ_{jk} могут быть комплексными. Пусть $n, p \geq 1$. Рассмотрим прямоугольную матрицу $n \times p$

$$X = \frac{1}{\sqrt{n}} \begin{pmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1p-1} & X_{1p} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2p-1} & X_{2p} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{np-1} & X_{np} \end{pmatrix},$$

где $X_{jk} = \xi_{jk}$ для всех $1 \leq j \leq n$ и для всех $1 \leq k \leq p$. Определим выборочную ковариационную $p \times p$ матрицу равенством

$$\mathbf{W} = \mathbf{X}^* \mathbf{X}.$$

Впервые такие матрицы рассмотрел для гауссовских величин Уишарт (Wishart) в 1928 г. в работе [16]. Он нашел совместное распределение элементов матрицы $\mathbf{W}$ в случае, когда случайные величины ξ_{jk} гауссовские. Это распределение впоследствии стало называться распределением Уишарта, а матрицы иногда тоже называют матрицами Уишарта. Поскольку матрица $\mathbf{W}$ неотрицательно определена, ее собственные числа неотрицательны. Обозначим их в порядке убывания $0 \leq s_p^2 \leq \dots \leq s_1^2$ и определим эмпирическую спектральную меру, приписав каждому собственному значению вероятность $1/n$. Определим также эмпирическую спектральную функцию распределения матрицы $\mathbf{W}$ равенством

$$\mathcal{F}_{n,p}(x) = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^p \mathbb{I}\{s_j^2 < x\}.$$

Математическое ожидание эмпирической спектральной функции распределения обозначим $F_{n,p}(x) = \mathbb{E} \mathcal{F}_{n,p}(x)$. При изучении асимптотики спектральных функций распределения матрицы $\mathbf{W}$ представляет особый интерес случай, когда p меняется в зависимости от n , причем так, что, например, существует предел $y = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{p}{n}$. В 1967 г. Марченко и Пастур в работе [6] в предположении, что случайные величины ξ_{jk} имеют 4-й момент, показали, что распределение $F_{n,p}(x)$ сходится к распределению $G_y(x)$, которое имеет плотность

$$\frac{d}{dx} G_y(x) = \delta(x)(1-y)_+ + \frac{1}{2\pi yx} \sqrt{(x-a)(b-x)},$$

где $\delta(x)$ – дельта-функция Дирака, $a = (1 - \sqrt{y})^2$, $b = (1 + \sqrt{y})^2$. Здесь мы использовали обозначение $a_+ = \max\{a, 0\}$. Распределение $G_y(x)$ называют распределением Марченко-Пастура с параметром y . Заметим, что распределение Марченко-Пастура имеет скачок в 0 величиной $1 - y$ при $0 \leq y \leq 1$. Поскольку ненулевые собственные числа матриц $\mathbf{X}^* \mathbf{X}$ и $\mathbf{X} \mathbf{X}^*$ совпадают, не умаляя общности, мы можем считать, что $y \geq 1$. Имеет место следующая теорема.

Теорема 11. Пусть семейства случайных величин ξ_{jk} , $1 \leq j \leq n$, $1 \leq k \leq p$ ($\xi_{jk} = \xi_{jk}^{(n)}$) независимы при каждом фиксированном n , имеют нулевое математическое ожидание и единичную дисперсию. Предположим далее, что $p = p(n)$ меняется с ростом n так, что $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{p}{n} = y$ и случайные величины удовлетворяют условию Линдеберга, т. е. для любого $\tau > 0$ выполнено следующее:

$$L_n(\tau) = \frac{1}{n^2} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p \mathbb{E} |\xi_{jk}|^2 \mathbb{I}\{|\xi_{jk}| \geq \tau \sqrt{n}\} \rightarrow 0.$$

Тогда

$$\sup_x |F_{np}(x) - G_y(x)| \rightarrow 0, \text{ когда } n \rightarrow \infty.$$

Более того, функция распределения $F_{np}(x)$ сходится к распределению Марченко-Пастура $G_y(x)$ по вероятности.

Доказательство этого результата можно найти, например, в работе Бая [17]. Скорость сходимости спектральной функции распределения к распределению Марченко-Пастура изучалась несколькими авторами. Так, один из первых результатов получен Баем в 1993 г. [18] и позднее уточнялся им же с соавторами. В 2003 г. независимо Баем и соавторами [19] и Гётце и Тихомировым [20] была получена оценка скорости сходимости вида $\Delta_{np} = \sup_x |F_{np}(x) - G_y(x)| = O(n^{-\frac{1}{2}})$ в предположении конечности восьмого момента у элементов матрицы $\mathbf{X}$. Скорость сходимости по вероятности $\Delta_{np}^* = \mathbb{E} \sup_x |F_{np}(x) - G_y(x)| = O(n^{-\frac{1}{2}})$ в упомянутой работе Гётце и Тихомирова [20] доказана в предположении конечности 12 моментов у элементов матрицы $\mathbf{X}$. Эти оценки улучшены и дополнены в работе Гётце и Тихомирова [21] и работе Тихомирова [22]. Окончательно можно сформулировать следующий результат.

Теорема 12. Пусть семейства случайных величин ξ_{jk} , $1 \leq j \leq n$, $1 \leq k \leq p$ ($\xi_{jk} = \xi_{jk}^{(n)}$) независимы при каждом фиксированном n , имеют нулевое математическое ожидание и единичную дисперсию. Предположим далее, что $p = p(n)$ меняется с ростом n так, что $\frac{p}{n} = y \geq 1$. Пусть для некоторого $0 < \delta \leq 2$

$$M_{2+\delta} := \sup_{j,k,n} \mathbb{E} |\xi_{jk}|^{2+\delta} < \infty.$$

Тогда найдется такая постоянная $C = C(\delta)$, зависящая от δ , что

$$\Delta_{np} \leq C M_{2+\delta}^{\frac{\delta}{2+\delta}} n^{-\frac{\delta}{2+\delta}}.$$

Результат для $\delta = 2$ получен в работе Гётце и Тихомирова [21], общий случай ($0 < \delta < 2$) рассмотрен в работе Тихомирова [22]. Приведенные оценки являются наилучшими из известных, но вопрос об их оптимальности, также как и в случае полукругового закона, остается открытым. Лишь для гауссовских матриц удается получить оптимальные оценки скорости сходимости вида $\Delta_{np} = O(n^{-1})$ и то, пока известна эта оценка лишь для матриц из так называемого унитарного ансамбля Лагерра, т.е. для таких матриц, элементы которых комплексные нормально распределенные случайные величины с независимыми и одинаково распределенными вещественной и мнимой частью, см. работу Гётце и Тихомирова [13].

3. Метод Стейна для случайных матриц

В этом параграфе мы приведем дифференциальные уравнения, характеризующие полукруговой закон распределения и распределение Марченко-Пастура. На основе этих уравнений разработан метод, позволяющий доказывать сходимость к соответствующему распределению не только для матриц с независимыми элементами, но и с элементами, удовлетворяющими некоторым условиям зависимости.

Пусть $\mathbb{C}(\mathbb{R})$ (соответственно $\mathbb{C}^1(B)$, $B \subset \mathbb{R}$) означает класс непрерывных функций на вещественной прямой $\mathbb{R}$ (соответственно, класс дифференцируемых функций на B , с ограниченной первой производной на любом компактном подмножестве B). Вве-

дем в рассмотрение класс функций

$$\mathbb{C}_{\{-2,2\}}^1 := \{f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R} : f \in \mathbb{C} \setminus \{-2,2\}; \\ \limsup_{|y| \rightarrow \infty} |yf(y)| < \infty; \quad \limsup_{y \rightarrow \pm 2} |4 - y^2| |f'(y)| < C\}.$$

Теперь мы можем сформулировать одно из основных утверждений данного параграфа.

Утверждение 1. *Случайная величина ξ имеет функцию распределения полукругового закона $G(x)$ с плотностью $g(x) = G'(x) = \frac{1}{2\pi} \sqrt{4 - x^2} \mathbb{I}\{|x| \leq 2\}$ тогда и только тогда, когда для любой функции $f \in \mathbb{C}_{\{-2,2\}}^1$ выполнено равенство*

$$\mathbb{E}(4 - \xi^2)f'(\xi) - 3\mathbb{E}\xi f(\xi) = 0.$$

3.1. Уравнение Стейна для случайных матриц

Пусть $\mathbf{W}$ означает симметричную случайную матрицу с собственными значениями $\lambda_1 \leq \dots \leq \lambda_n$. Если $\mathbf{W} = \mathbf{U}^{-1}\mathbf{\Lambda}\mathbf{U}$, где $\mathbf{U}$ – ортогональная матрица и $\mathbf{\Lambda}$ – диагональная матрица, то по определению $f(\mathbf{W}) = \mathbf{U}^{-1}f(\mathbf{\Lambda})\mathbf{U}$, где $f(\mathbf{\Lambda}) = \text{diag}(f(\lambda_1), \dots, f(\lambda_n))$.

Теорема 13. *Пусть дана последовательность случайных матриц $\mathbf{W}_n$ размерности $n \times n$ таких, что для любой функции $f \in \mathbb{C}_{\{-2,2\}}^1$*

$$n^{-1}\mathbb{E}(4\mathbf{I}_n - \mathbf{W}_n^2)f'(\mathbf{W}_n) - 3n^{-1}\mathbb{E} \text{Tr} \mathbf{W}_n f(\mathbf{W}_n) \rightarrow 0, \\ \text{когда } n \rightarrow \infty.$$

Тогда выполнен полукруговой закон Вигнера, т. е.

$$\Delta_n := \sup_x |F_n(x) - G(x)| \rightarrow 0, \quad \text{когда } n \rightarrow \infty.$$

Полукруговой закон Вигнера для случайных матриц с мартингальной структурой зависимости элементов. Пусть дан треугольный массив случайных величин ξ_{jk} , $1 \leq j \leq k$, имеющих нулевые средние $\mathbb{E}\xi_{jk} = 0$ и конечные дисперсии $\mathbb{E}|\xi_{jk}|^2 = \sigma_{jk}^2$. Для любых $1 \leq j \leq k \leq n$ введем σ -алгебры $\mathbb{F}^{(jk)} = \sigma\{\xi_{lq}, 1 \leq l \leq q \leq n, (lq) \neq (jk)\}$, и $\mathbb{F}^{(j)} = \sigma\{\xi_{lq}, 1 \leq l \leq q \leq n, (l) \neq (j)\}$. Введем также в рассмотрение дробь Линдберга для случайных матриц, определив ее равенством

$$L_n(\tau) = \frac{1}{n^2} \sum_{j=1}^n \sum_{k=j}^n \mathbb{E}|\xi_{jk}|^2 \mathbb{I}\{|\xi_{jk}| \geq \tau\sqrt{n}\}, \quad \tau > 0.$$

Определим усеченные случайные величины

$$\xi_{jk}^{(\tau)} = \xi_{jk} \mathbb{I}\{|\xi_{jk}| \geq \tau\sqrt{n}\} - \mathbb{E}\xi_{jk} \mathbb{I}\{|\xi_{jk}| \geq \tau\sqrt{n}\}, \\ (\sigma_{jk}^{(\tau)})^2 = \mathbb{E}(\xi_{jk}^{(\tau)})^2. \quad (3)$$

Мы сформулируем основную теорему этого параграфа.

Теорема 14. *Предположим, что случайные величины ξ_{jk} , $1 \leq j \leq k$ удовлетворяют следующим условиям:*

- для любого $\tau > 0$

$$\mathbb{E}\left\{\xi_{jk}^{(\tau)} \mathbb{I}\{\mathbb{F}^{(jk)}\}\right\} = 0;$$

- существует $C < \infty$, такая что

$$\max_{1 \leq n < \infty} \max_{1 \leq j \leq n} \frac{1}{n} \sum_{l=1}^n \sigma_{jl}^2 \leq C;$$

- для любого $\tau > 0$

$$\varepsilon_n^{(1)} := \frac{1}{n^2} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \mathbb{E} \left| \mathbb{E}\{(\xi_{jk}^{(\tau)})^2 | \mathbb{F}^{(j)}\} - (\sigma_{jk}^{(\tau)})^2 \right| \rightarrow 0, \\ \text{при } n \rightarrow \infty; \quad (4)$$

- для любого $\tau > 0$

$$\varepsilon_n^{(2)} := \frac{1}{n^3} \sum_{j=1}^n \sum_{1 \leq k \neq l \leq n} \mathbb{E} \left| \mathbb{E} \left\{ ((\xi_{jk}^{(\tau)})^2 - \mathbb{E}(\xi_{jk}^{(\tau)})^2) \right. \right. \\ \left. \left. \times ((\xi_{jl}^{(\tau)})^2 - \mathbb{E}(\xi_{jl}^{(\tau)})^2) | \mathbb{F}^{(j)} \right\} \right| \rightarrow 0, \quad \text{при } n \rightarrow \infty; \quad (5)$$

- существует $\sigma > 0$ такое, что

$$\varepsilon_n^{(3)} := \frac{1}{n^2} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \left| \sigma_{jk}^2 - \sigma^2 \right| \rightarrow 0, \quad \text{при } n \rightarrow \infty;$$

- для любого фиксированного $\tau > 0$

$$L_n(\tau) \rightarrow 0, \quad \text{при } n \rightarrow \infty.$$

Тогда

$$\Delta_n = \sup_x |F_n(x\sigma) - G(x)| \rightarrow 0.$$

Доказательство утверждений, приведенных в этом параграфе, можно найти в статье Гётце и Тихомирова [23].

3.2. Метод Стейна для выборочных ковариационных матриц

В настоящем параграфе мы приведем уравнения, аналогичные изложенным в предыдущем параграфе, характеризующие распределение Марченко-Пастура. Пусть $g_y(x)$ и $G_y(x)$ обозначают соответственно плотность и функцию распределения Марченко-Пастура с параметром y . Введем в рассмотрение, как и ранее, класс функций

$$\mathbb{C}_{\{a,b\}}^1 = \{f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, f \in \mathbb{C}^1(\mathbb{R} \setminus \{a,b\}); \\ \limsup_{|x| \rightarrow \infty} |xf(x)| < \infty, \\ \limsup_{x \rightarrow \frac{b+a}{2} \pm \frac{b-a}{2}} |(x-a)(b-x)|^{\frac{3}{2}} |f'(x)| < \infty\}. \quad (6)$$

Следующее утверждение содержит характеристику распределения Марченко-Пастура с помощью дифференциального уравнения типа Стейна.

Утверждение 2. *Случайная величина ξ имеет распределение Марченко-Пастура с параметром y тогда и только тогда, когда для любой функции $f \in \mathbb{C}_{\{a,b\}}^1$ выполнено следующее равенство:*

$$\mathbb{E}(\xi - a)(b - \xi)\xi f'(\xi) - 3\mathbb{E}\xi(\xi - \frac{a+b}{2})f(\xi) = 0.$$

Рассмотрим теперь выборочную ковариационную матрицу $\mathbf{W} = \mathbf{X}^* \mathbf{X}$ с собственными числами $s_1^2 \geq \dots \geq s_n^2$. Критерий сходимости математического ожидания спектральной функции распределения матрицы $\mathbf{W}$ к распределению Марченко-Пастура дает следующая теорема.

Теорема 15. *Пусть последовательность случайных матриц $\mathbf{W}$ такова, что для любой функции $f \in$*

$\mathbb{C}_{\{a,b\}}^1$ выполнено следующее:

$$\begin{aligned} n^{-1} \mathbf{E} \operatorname{Tr} (\mathbf{W}_n - a \mathbf{I}_n) (b \mathbf{I}_n - \mathbf{W}_n) \mathbf{W}_n f'(\mathbf{W}_n) \\ - 3n^{-1} \mathbf{E} \operatorname{Tr} \mathbf{W}_n (\mathbf{W}_n - \frac{a+b}{2} \mathbf{I}_n) f(\mathbf{W}_n) \rightarrow 0, \\ \text{когда } n \rightarrow \infty. \end{aligned} \quad (7)$$

Тогда

$$\Delta_n = \sup_x |F_n(x) - G_y(x)| \rightarrow 0,$$

где $y = \frac{a+b}{2} - 1$.

Опираясь на этот критерий можно доказать следующую теорему.

Теорема 16. Пусть $p = p(n)$ зависит от n так, что $y = \frac{p}{n} \in (0, 1]$. Предположим, что случайные величины ξ_{jk} , $1 \leq j \leq n$, $1 \leq k \leq p$ удовлетворяют следующим условиям:

- для любого $\tau > 0$

$$\mathbf{E} \left\{ \xi_{jk}^{(\tau)} | \mathbb{F}^{(jk)} \right\} = 0;$$

- существует такая $C < \infty$, что

$$\max_{1 \leq n < \infty} \max_{1 \leq j \leq n} \frac{1}{n} \sum_{l=1}^n \sigma_{jl}^2 \leq C;$$

- для любого $\tau > 0$

$$\varepsilon_n^{(1)} := \frac{1}{n^2} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p \mathbf{E} \left| \mathbf{E} \left\{ (\xi_{jk}^{(\tau)})^2 | \mathbb{F}^{(j)} \right\} - (\sigma_{jk}^{(\tau)})^2 \right| \rightarrow 0,$$

при $n \rightarrow \infty$;

- для любого $\tau > 0$

$$\begin{aligned} \varepsilon_n^{(2)} := \frac{1}{n^3} \sum_{j=1}^n \sum_{1 \leq k \neq l \leq p} \mathbf{E} \left| \mathbf{E} \left\{ ((\xi_{jk}^{(\tau)})^2 \right. \right. \\ \left. \left. - \mathbf{E} ((\xi_{jk}^{(\tau)})^2) ((\xi_{jl}^{(\tau)})^2 - \mathbf{E} ((\xi_{jk}^{(\tau)})^2) | \mathbb{F}^{(j)}) \right\} \right| \rightarrow 0, \\ \text{при } n \rightarrow \infty; \end{aligned}$$

и

$$\begin{aligned} \varepsilon_n^{(3)} := \frac{1}{n^3} \sum_{j=1}^n \sum_{1 \leq k \neq l \leq p} \mathbf{E} \left| \mathbf{E} \left\{ ((\eta_{jk}^{(\tau)})^2 \right. \right. \\ \left. \left. - \mathbf{E} ((\eta_{jk}^{(\tau)})^2) ((\eta_{jl}^{(\tau)})^2 - \mathbf{E} ((\eta_{jk}^{(\tau)})^2) | \mathbb{F}^{(j)}) \right\} \right| \rightarrow 0, \\ \text{при } n \rightarrow \infty, \end{aligned}$$

где $4\eta_{jk}^{(\tau)} := \mathbf{E} (\xi_{jk}^{(\tau)} | \mathbb{F}^{(jk)})$;

- существует такое $\sigma > 0$, что

$$\varepsilon_n^{(4)} := \frac{1}{n^2} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \left| \sigma_{jk}^2 - \sigma^2 \right| \rightarrow 0, \quad \text{при } n \rightarrow \infty;$$

- для любого фиксированного $\tau > 0$

$$L_n(\tau) \rightarrow 0, \quad \text{при } n \rightarrow \infty.$$

Тогда

$$\Delta_n = \sup_x |F_n(x\sigma) - G_y(x\sigma^{-1})| \rightarrow 0.$$

Доказательство всех приведенных в данном параграфе утверждений можно найти в работе Гётце и Тихомирова [24].

4. Круговой закон

Пусть X_{ij} , $1 \leq i \leq n$, $1 \leq j \leq n$, совокупность таких независимых случайных величин, что $\mathbf{E} X_{ij} = 0$ и $\mathbf{E} X_{ij}^2 = 1$. Определим матрицу

$$\mathbf{X} = \frac{1}{\sqrt{n}} \begin{pmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{nn} \end{pmatrix}.$$

Обозначим $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ собственные числа матрицы $\mathbf{X}$ и определим ее эмпирическую спектральную функцию распределения $F_n(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \mathbb{I}\{\operatorname{Re} \lambda_k \leq x, \operatorname{Im} \lambda_k \leq y\}$. Будем говорить, что для матрицы $\mathbf{X}$ выполнен круговой закон, если ожидаемая спектральная функция распределения $\mathbf{E} F_n(x, y)$ сходится при $n \rightarrow \infty$ к функции равномерного распределения в единичном круге $F(x, y)$, т.е. к функции распределения с плотностью $f(x, y) = \frac{1}{\pi} \mathbb{I}\{x^2 + y^2 \leq 1\}(x, y)$. Описанные ансамбли случайных матриц впервые были введены в работе Жинибра (Ginibre) [38]. Им получены совместные распределения для собственных чисел $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ в случае когда X_{jk} независимые гауссовские величины. Впоследствии соответствующие матрицы получили название ансамблей Жинибра. Мета (Mehta) в 1967 г. [25], опираясь на работу Жинибра показал, что для матриц из ансамбля Жинибра, элементы которых комплексные гауссовские величины с независимыми вещественной и мнимой частью, выполнен круговой закон. Пастур в работе 1973 г. [26] выдвинул гипотезу, что круговой закон должен быть выполнен для матриц, элементы которых независимы, имеют нулевые средние и конечную дисперсию. Гирко в работе 1984 г. [27] предложил метод исследования асимптотического поведения функции $\mathbf{E} F_n(x, y)$, опирающийся на подходы, развитые для исследования асимптотики спектра эрмитовых матриц. Им был доказан круговой закон для матриц, элементы которых имеют конечные моменты восьмого порядка и ограниченную плотность распределения. Многие авторы утверждали, что доказательство Гирко некорректно (точнее, оно было неполным). В 1997 г. Бай [28], опираясь на работу Гирко, привел полное доказательство кругового закона, но все при том же весьма ограниченном предположении существования плотности у элементов матрицы. А это значит, исключались даже такие простые матрицы, как матрицы, элементы которых принимают с равными вероятностями значения ± 1 . Основной результат, полученный в работе Гётце и Тихомирова, можно сформулировать следующим образом. Пусть $0 < p_n \leq 1$. Введем в рассмотрение бернуллиевские случайные величины ε_{jk} , принимающие значения 0 и 1 с вероятностью $p_n = \Pr\{\varepsilon_{jk} = 1\}$. Определим матрицу

$$\mathbf{X}^{(\varepsilon)} = \frac{1}{\sqrt{np_n}} \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} X_{11} & \varepsilon_{12} X_{12} & \cdots & \varepsilon_{1n} X_{1n} \\ \varepsilon_{21} X_{21} & \varepsilon_{22} X_{22} & \cdots & \varepsilon_{2n} X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \varepsilon_{n1} X_{n1} & \varepsilon_{n2} X_{n2} & \cdots & \varepsilon_{nn} X_{nn} \end{pmatrix}.$$

Обозначим $\lambda_1^{(\varepsilon)}, \dots, \lambda_n^{(\varepsilon)}$ собственные числа матрицы $\mathbf{X}^{(\varepsilon)}$. Пусть $F_n^{(\varepsilon)}(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \mathbb{I}\{\operatorname{Re} \lambda_j < x, \operatorname{Im} \lambda_j < y\}$ и $\mathcal{F}_n^{(\varepsilon)}(x, y) = \mathbf{E} F_n^{(\varepsilon)}(x, y)$ означают соответственно

выборочную и ожидаемую спектральную функцию распределения матрицы $\mathbf{X}^{(\varepsilon)}$.

Теорема 17. Пусть X_{jk} , $j, k = 1, \dots, n$, независимые случайные величины, такие что $\mathbb{E} X_{jk} = 0$, $\mathbb{E} |X_{jk}|^2 = 1$ и существует такая неубывающая функция $\varphi(x)$, что $\frac{\varphi(x)}{x}$ невозрастающая неотрицательная функция и $\varphi(x) = O(\ln^8 x)$, и $\mathbb{E} |X_{jk}|^2 \varphi(X_{jk}) \leq C < \infty$. Пусть также $\frac{1}{np_n} = O(\ln^2 n)$. Тогда

$$\mathcal{F}_n^{(\varepsilon)}(x, y) \rightarrow F(x, y) \quad \text{при} \quad n \rightarrow \infty. \quad (8)$$

Заметим, что при $p_n = 1$ мы получим обычный круговой закон. Наш результат показывает, что этот закон сохраняется и для прореженных матриц с вероятностью прореживания не меньше чем $cn^{-1} \ln^2 n$. Заметим также, что если вероятность прореживания меньше, чем $(1 - \gamma)n^{-1} \ln n$ для любого положительного $\gamma > 0$, то матрица $\mathbf{X}^{(\varepsilon)}$ необратима с положительной вероятностью. Приведенные результаты опубликованы в статье Гётце и Тихомирова [30]. Усиленный круговой закон при аналогичных моментных предположениях был доказан также в работах Тао и Ву [31].

5. Произведения и степени случайных матриц

В настоящем параграфе мы сформулируем некоторые обобщения теоремы Марченко-Пастура на случай произведений и степеней случайных матриц. Также приведем формулировку теоремы о предельном поведении эмпирической функции распределения произведения случайных матриц. Оказывается, спектр произведения независимых случайных матриц с независимыми элементами асимптотически ведет себя так же, как и спектр степени матрицы с независимыми элементами, или как степень величины, равномерно распределенной в единичном круге комплексной плоскости. В этом случае мы можем говорить об «обобщенном» круговом законе. Итак, пусть $X_{jk}^{(\nu)}$, $\nu = 1, \dots, m$, $j, k = 1, \dots$, массив независимых в совокупности комплексных случайных величин с $\mathbb{E} X_{jk}^{(\nu)} = 0$ и $\mathbb{E} |X_{jk}^{(\nu)}|^2 = 1$. Пусть $n = p_0$, и пусть $p_1, \dots, p_m$ натуральные числа такие, что $p_\nu \geq p_0$ для всех $\nu = 1, \dots, m$. Определим матрицы $\mathbf{X}^{(\nu)}$ размерности $p_{\nu-1} \times p_\nu$ для $\nu = 1, \dots, m$

$$\mathbf{X}^{(\nu)} = \frac{1}{\sqrt{p_\nu}} \begin{pmatrix} X_{11}^{(\nu)} & X_{12}^{(\nu)} & \cdots & X_{1p_\nu}^{(\nu)} \\ X_{21}^{(\nu)} & X_{22}^{(\nu)} & \cdots & X_{2p_\nu}^{(\nu)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{p_{\nu-1}1}^{(\nu)} & X_{p_{\nu-1}2}^{(\nu)} & \cdots & X_{p_{\nu-1}p_\nu}^{(\nu)} \end{pmatrix}.$$

Введем в рассмотрение $n \times p_m$ матрицу

$$\mathbf{W} := \prod_{\nu=1}^m \mathbf{X}^{(\nu)}.$$

Обозначим через $s_1^2 \geq s_2^2 \geq \dots \geq s_n^2$ собственные числа матрицы $\mathbf{V} = \mathbf{W}\mathbf{W}^*$ (s_i , $i = 1, \dots, n$, – сингулярные числа матрицы $\mathbf{W}$). Здесь и далее $\mathbf{A}^*$ обозначает комплексно сопряженную матрицу $\mathbf{A}$. Функцию равномерного распределения на множестве квадратов сингулярных чисел матрицы $\mathbf{W}$ обозначим $\mathcal{F}_n(x)$

и будем называть ее эмпирической спектральной функцией распределения матрицы $\mathbf{W}$,

$$\mathcal{F}_n(x) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \mathbb{I}\{s_j^2 < x\}.$$

Нас будет интересовать асимптотическое поведение математического ожидания эмпирической спектральной функции распределения $F_n(x) = \mathbb{E} \mathcal{F}_n(x)$. Чтобы описать предельную функцию распределения для функций $F_n(x)$ мы определим преобразование Стильтеса на множестве функций распределения.

Пусть $\mathbf{y}_m = (y_1, \dots, y_m)$, где $y_i \in (0, 1]$ некоторый параметрический вектор. Введем в рассмотрение функцию распределения $G_{\mathbf{y}}(x)$, преобразование Стильтеса которой $s_{\mathbf{y}}(z)$ удовлетворяет уравнению

$$1 + z s_{\mathbf{y}}(z) + (-1)^m \prod_{j=1}^m (y_j - 1 - z s_{\mathbf{y}}(z)) = 0. \quad (1)$$

Уравнение (1) имеет единственное решение с неотрицательной мнимой частью, удовлетворяющее условию $-\lim_{v \rightarrow \infty} v \sqrt{-1} s(v \sqrt{-1}) = 1$, и тем самым однозначно определяет преобразование Стильтеса $s_{\mathbf{y}}(z)$ и функцию распределения $G_{\mathbf{y}}(x)$. Заметим, что при $m = 1$ функция распределения $G_{\mathbf{y}}(x)$ – это просто функция распределения Марченко-Пастура с плотностью

$$g_{\mathbf{y}}(x) = \frac{1}{2\pi xy} \sqrt{(x-a)(b-x)} \mathbb{I}\{x \in [a, b]\}$$

с $a = (1 - \sqrt{y})^2$ и $b = (1 + \sqrt{y})^2$. Один из основных результатов нашей статьи представляет следующая теорема.

Теорема 18. Предположим, что для всех $\nu = 1, \dots, m$ выполнены условия

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n}{p_\nu} = y_\nu \in (0, 1].$$

Далее, пусть для случайных величин $X_{jk}^{(\nu)}$, $\nu = 1, \dots, m$, $j, k = 1, \dots$ выполнено условие Линдберга, т.е. для любого $\tau > 0$ дробь Линдберга

$$L_n(\tau) :=$$

$$\max_{1 \leq \nu \leq m} \frac{1}{n p_\nu} \sum_{j=1}^{p_{\nu-1}} \sum_{k=1}^{p_\nu} \mathbb{E} |X_{jk}^{(\nu)}|^2 \mathbb{I}\{|X_{jk}^{(\nu)}| \geq \tau \sqrt{n}\} \rightarrow 0,$$

при $n \rightarrow \infty$.

Тогда функции распределения $F_n(x)$ слабо сходятся к функции распределения $G_{\mathbf{y}}(x)$ с $\mathbf{y} = (y_1, \dots, y_m)$. Более того, поскольку $G_{\mathbf{y}}(x)$ непрерывная функция распределения, имеет место предельное соотношение

$$\Delta_n = \sup_x |F_n(x) - G_{\mathbf{y}}(x)| \rightarrow 0 \quad \text{при} \quad n \rightarrow \infty.$$

Замечание 1. При $m = 1$, как следствие теоремы 18, мы получим теорему Марченко-Пастура о сходимости спектральной функции распределения выборочной ковариационной матрицы.

Замечание 2. Особый интерес представляет случай $y_i = 1$ для всех $i = 1, \dots, m$. При таком предположении предельным распределением сингулярного спектра произведения матриц будет так называемое распределение Фусса-Каталана, т.е. распреде-

ление, моменты которого суть числа Фусса-Каталана $\frac{1}{mk+1}C_{mk+k}^k$.

Оказывается, предельным распределением сингулярного спектра степени случайной матрицы с независимыми элементами будет также распределение Фусса-Каталана. Именно, рассмотрим квадратную матрицу $X = \frac{1}{\sqrt{n}}(X_{jk})$ порядка n , где X_{jk} , $j, k = 1, \dots, n$ независимые случайные величины, и ее m -ю степень $W = X^m$. Пусть $\mathcal{H}_n(x)$ – эмпирическая спектральная функция распределения матрицы WW^* и $H_n(x) = \mathbb{E} \mathcal{H}_n(x)$ – математическое ожидание эмпирической спектральной функции распределения. Пусть $G(x) = G_{y_0}(x)$, где $y_0 = (1, 1, \dots, 1)$. Имеет место следующий результат.

Теорема 19. Пусть элементы матрицы X суть независимые случайные величины с нулевым средним и единичной дисперсией. Предположим, что существует такая постоянная C , что $\sup_{j,k} \mathbb{E} |X_{jk}|^4 \leq C$ и

$$\hat{L}_n(\tau) := \frac{1}{n^2} \sum_{j,k=1}^n \mathbb{E} |X_{jk}|^4 I\{|X_{jk}| \geq \tau \sqrt{n}\} \rightarrow 0,$$

при $n \rightarrow \infty$.

Тогда

$$\Delta_n := \sup_x |H_n(x) - G(x)| \rightarrow 0 \quad \text{при } n \rightarrow \infty.$$

Распределения Фусса-Каталана возникали ранее в работах по свободной вероятности. В частности, Оравец [32] показал, что степени и произведения так называемых свободных $\mathcal{R}$ -диагональных элементов имеют распределение Фусса-Каталана. Таким образом, результаты замечания 2 и теоремы 18 дают соответствующую матричную модель. Случай квадратных гауссовских матриц ($y_1 = \dots = y_m = 1$) был рассмотрен Баника (Banica) и др. [33] (см. Теорему 6.1 в [33]), а также в работе Шпайхера (Speicher) и Минго (Mingo) [34]. В заключение мы обсудим собственный спектр произведения неэрмитовых случайных квадратных матриц. Будем считать, что $n = p_0 = p_1 = \dots = p_m$. Пусть матрица $W = \prod_{\nu=1}^m X^{(\nu)}$. Обозначим $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ собственные числа матрицы W . Рассмотрим эмпирическую спектральную меру $\mu_n^{(m)}$ матрицы W , определенную как равномерное распределение на множестве собственных чисел $\lambda_1, \dots, \lambda_n$. Пусть $\nu_n^{(m)}$ означает математическое ожидание эмпирической спектральной меры матрицы W . Для любого борелевского множества $B \subset \mathbb{R}^2$ определим меру $\nu_n^{(m)}(B) = \mathbb{E} \mu_n^{(m)}(B)$. Введем в рассмотрение случайную величину ξ на комплексной плоскости, равномерно распределенную в единичном круге. Обозначим $G^{(m)}(x, y)$ функцию совместного распределения вещественной и мнимой части случайной величины ξ^m , а символом $G_n^{(m)}(x, y)$ обозначим функцию распределения, соответствующую мере $\nu_n^{(m)}$ на плоскости. Тогда имеет место следующая теорема.

Теорема 20. Пусть для независимых в совокупности случайных величин $X_{jk}^{(\nu)}$, $\nu = 1, \dots, m$, $j, k = 1, \dots$ существуют такие постоянные $C > 0$ и $\delta > 0$, что $\mathbb{E} |X_{jk}|^{2+\delta} \leq C$ для всех $j, k \geq 1$. Тогда

$$\Delta_n := \sup_{x,y} |G_n^{(m)}(x, y) - G^{(m)}(x, y)| \rightarrow 0 \quad \text{при } n \rightarrow \infty.$$

Замечание 3. При $m = 1$, как следствие теоремы 20, мы получим известный круговой закон для случайных матриц.

Приведенные в этом параграфе результаты частично опубликованы в работах [35] и [36].

Работа частично поддержана грантами РФФИ № 09-01-12180-офи_м и РФФИ-ННАО № 09-01-91331-ННАО_а, а также грантом поддержки ведущих научных школ РФ № НШ-4472.2010.1.

Литература

1. Wigner, E. Characteristic vectors of bordered matrices with infinite dimensions // Ann. Math., 1955. Vol. 62. P. 548-564.
2. Wigner E. On the distribution of the roots of certain symmetric matrices // Ann. Math., 1958. Vol. 67. P. 325-327.
3. Гурко В.Л. Спектральная теория случайных матриц // Успехи матем. наук, 1985. Т. 40. № 1. С. 67-106.
4. Arnold L. On the asymptotiv distribution of the eigenvalues of random matrices // J. Math. Anal. Appl., 1960. Vol. 20. P. 262-268.
5. Пастур Л.А. О спектре случайных матриц // ТМФ, 1972. Т. 10. № 1. С. 102-112.
6. Марченко В.А. Пастур Л.А. Распределение собственных чисел в некоторых ансамблях случайных матриц // Мат. сборник, 1967. Т. 1. С. 457-483.
7. Bai Z.D. Convergence rate of expected spectral distributions of large random matrices. Part 1. Wigner matrices // Ann. Probab., 1993. Vol. 21. No. 2. P. 625-648.
8. Girko V.L. Extended proof of the statement: Convergence rate of the expected spectral functions of symmetric random matrices Ξ_n is equal to $O(n^{-1/2})$ and the method of critical steepest descent // random Operator and Stoch. Equations, 2002. Vol. 10. P. 252-300.
9. Bai Z.D., Miao B., Tsay J. Convergence rates of spectral distributions of large Wigner matrices // Intern. Math. J., 2003. Vol. 1. P. 65-90.
10. Götze F. and Tikhomirov A.N. Rate of convergence to the semi-circular law // Probab. Theory Relat. Fields, 2003. Vol. 127. P. 228-276.
11. Bobkov S.G., Götze F., Tikhomirov, A.N. On concentration of empirical measures and convergence to the semi-circle law // Journal of Theoretical Probability, 2010. Vol. 23. No. 3. P. 792-823.
12. Tikhomirov A.N. On the rate of convergence to the expected spectral distribution function of a Wigner matrix to the semi-circular law // SIBAM, 2009. Vol. 19. No 3. P. 211-223.
13. Götze F.; Tikhomirov A.N. The rate of convergence for spectra of GUE and LUE matrix ensembles // Cent. Eur. J. Math., 2005. Vol. 3. No. 4. P. 666-704.
14. Тимушев Д.А., Тихомиров А.Н., Холопов А.А. О точности приближения спектра ГОЕ полукру-

- говым законом // Теория вероятн. и примен., 2007. Т. 52. № 1. С. 180-185.
15. *Götze F., Tikhomirov A., Timushev D.* Rate of convergence to the semi-circle law for the deformed Gaussian unitary ensemble // *Cent. Eur. J. Math.*, 2007. Vol. 5. No. 2. P. 305-334.
 16. *Wishart J.* The generalised product moment distribution in samples from a normal multivariate population // *Biometrika*, 1928. Vol. 20A. P. 32-52.
 17. *Bai Z.D.* Methodologies in spectral analysis of large dimensional random matrices, a review // *Statistica Sinica*, 1999. Vol. 9. P. 611-677.
 18. *Bai Z.D.* Convergence rate of expected spectral distributions of large random matrices. Part II. Sample covariance matrices // *Ann. Probab.*, 1993. Vol. 21. No. 2. P. 649-672.
 19. *Bai Z.D., Miao B., Yao J.* Convergence rates of spectral distributions of large sample covariance matrices // *SIAM J. Matrix Anal. Appl.*, 2003. Vol. 25. No. 1. P. 105-127.
 20. *Götze F., Tikhomirov A.N.* Rate of convergence in probability to the Marchenko-Pastur law // *Bernoulli*, 2004. Vol. 10. No. 3. P. 503-548.
 21. *Götze F., Tikhomirov A.N.* The rate of convergence of spectra of sample covariance matrices // *Теория вероятн. и примен.*, 2009. Т. 54. № 1. С. 1-15.
 22. *Tikhomirov A.N.* On the rate of convergence to the expected spectral distribution function of sample covariance matrices to the Marchenko-Pastur distribution // *SIBAM*, 2009. Vol. 19. No. 4. P. 277-286.
 23. *Götze F., Tikhomirov A.N.* Limit theorems for spectra of random matrices with martingale structure // *Теория вероятн. и примен.*, 2007. Т. 51. № 1. С. 42-64.
 24. *Götze F., Tikhomirov A.N.* Limit theorems for spectra of positive random matrices under dependence // *Зап. науч. сем. ПОМИ*, 2004. Т. 311. С. 92-123.
 25. *Mehta M.L.* *Random Matrices*. 2nd ed., San Diego: Academic Press, 1991.
 26. *Pastur L.A.* Спектры случайных самосопряженных операторов // *Усп. матем. наук*, 1973. Т. 28. № 1. С. 1-67.
 27. *Гурко В.Л.* Круговой закон // *Теория вероятн. и примен.*, 1989. Т. 29. С. 694-706.
 28. *Bai Z.D.* Circular law // *Ann. Probab.*, 1997. Vol. 25. P. 494-529.
 29. *Götze F., Tikhomirov A.N.* On the circular law // <http://arxiv.org/abs/math/0702386>.
 30. *Götze F., Tikhomirov A.N.* The Circular Law for Random Matrices // *Ann. Probab.*, 2010. Vol. 38. No. 4. P. 1444-1491.
 31. *Tao T., Vu V.* Random Matrices: The circular Law // *Commun. Contemp. Math.*, 2008. Vol. 10. No. 2. P. 261-307.
 32. *Oravecz F.* On the powers of Voiculescus circular element // *Studia Math.*, 2001. No. 1. P.85-95.
 33. *Banica, T. Belinschi, S. Capitaine, M., Collins, B.* Free Bessel laws // Preprint arXiv:0710.5931.
 34. *Mingo J.A., Speicher R.* Sharp Bounds for Sums Associated to Graphs of Matrices // Preprint arXiv:0909.4277.
 35. *Алексеев Н.В., Гётце Ф., Тихомиров А.Н.* О сингулярном спектре степеней и произведений случайных матриц // *Докл. АН*, 2010. Т. 433. № 1. С. 7-9.
 36. *Alexeev N., Götze F., Tikhomirov A.* Asymptotic distribution of singular values of powers of random matrices // *Lithuanian Math. J.*, 2010. Vol. 50. No 2. P. 121-132.
 37. *Bai Z.D., Silverstein J.* Spectral analysis of large dimensional random matrices. Mathematics Monograph Series 2. Beijing: Sciences Press, 2006.
 38. *Ginibre J.* Statistical ensembles of complex, quaternion, and real matrices // *J. Math. Phys.*, 1965. Vol. 6. P. 440-449.

ТОЧНОЕ РЕШЕНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ ДЕЛЬСАРТА ДЛЯ НЕОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ПОЛИНОМОВ

Р. Е. АФОНИН, А. Б. ПЕВНЫЙ

Сыктывкарский государственный университет, г.Сыктывкар
pevnyi@syktsu.ru

Максимум целевой функции в задаче Дельсарта является оценкой снизу для количества элементов сферического дизайна порядка t . В статье находится точное решение экстремальной задачи Дельсарта в случае, когда степень полиномов равна t .

Ключевые слова: сферические дизайны, неотрицательные полиномы

R. AFONIN, A. PEVNYI. EXACT SOLUTION OF DELSARTE EXTREMAL PROBLEM FOR NONNEGATIVE POLYNOMIALS

Maximum in Delsarte extremal problem is a lower bound for the number of elements of spherical design. The exact solution of the extremal problem is found.

Key words: spherical designs, nonnegative polynomials

Введение

Экстремальная задача Дельсарта заключается в нахождении величины $b_D(n, t)$, определяемой далее формулой (5). Эта величина является оценкой снизу для количества элементов сферических дизайнов порядка t на сфере S^{n-1} .

Начало изучению сферических дизайнов положили статьи [1, 2]. Множество $\Phi = \{\varphi_1, \dots, \varphi_m\}$ на единичной сфере S^{n-1} называется сферическим дизайном порядка t , если выполняется условие

$$\frac{1}{\sigma_n} \int_{S^{n-1}} P(x) dS = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P(\varphi_i)$$

для любого полинома $P(x)$ степени не выше t . Здесь σ_n – площадь сферы S^{n-1} .

Установлено [1, 2], что количество элементов m такого дизайна удовлетворяет неравенству $m \geq b_D(n, t)$. Упрощенное доказательство этого неравенства приводится в [3]. Авторы работ [1, 2] не занимались решением экстремальной задачи Дельсарта, но указали полиномы (разные при t четном и нечетном), которые, в конечном счете, оказались экстремальными полиномами. Наша работа посвящена доказательству экстремальности полиномов, указанных в работе [2].

1. Полиномы Гегенбауэра

Зафиксируем натуральные числа n и t , $n \geq 3$, $t \geq 2$.

Пусть $\{Q_k(x)\}_{k=0}^{\infty}$ – система ортогональных полиномов степени k для веса

$$w_n(x) = (1 - x^2)^{(n-3)/2}.$$

Запишем условие ортогональности:

$$\int_{-1}^1 Q_k(x) Q_l(x) w_n(x) dx = 0 \text{ при } k \neq l. \quad (1)$$

Это частный случай полиномов Якоби $P_k^{(\alpha, \beta)}$ при $\alpha = \beta = (n-3)/2$.

При $\alpha = \beta$ эти полиномы называются полиномами Гегенбауэра или ультрасферическими многочленами [4]. Следуя [5], будем использовать нормировку

$$Q_k(1) = \|Q_k\|^2 := \int_{-1}^1 [Q_k(x)]^2 w_n(x) dx, \quad k = 0, 1, \dots \quad (2)$$

Полином $Q_0(x)$ равен константе, которую также обозначаем Q_0 и в силу (2) $Q_0 = \|Q_0\|^2$.

Пусть $\mathcal{P}_t^+$ – множество алгебраических полиномов $F(x)$ степени не выше t , удовлетворяющих условиям

$$F(x) \geq 0 \text{ для всех } x \in [-1, 1] \text{ и } F(1) > 0. \quad (3)$$

Каждый полином $F(x)$ разложим по полиномам Гегенбауэра

$$F(x) = \sum_{k=0}^t F_k Q_k(x),$$

где, в частности,

$$F_0 = \frac{1}{\|Q_0\|^2} \int_{-1}^1 F(x) Q_0 w_n(x) dx = \int_{-1}^1 F(x) w_n(x) dx > 0. \quad (4)$$

2. Экстремальная задача Дельсарта

Сформулируем задачу Дельсарта [1, 2]. Требуется найти максимум

$$b_D(n, t) = \max_{F \in \mathcal{P}_t^+} \frac{F(1)}{Q_0 F_0}. \quad (5)$$

Величина $b_D(n, t)$ является оценкой снизу количества элементов сферического дизайна порядка t в $\mathbb{R}^n$ и называется *границей Дельсарта* (Delsarte bound).

Для задачи (5) можно явно указать экстремальный полином и точно найти $b_D(n, t)$. Основным результатом статьи является следующая теорема.

Теорема. При t четном, $t = 2s$, полином

$$F(x) = \left[\sum_{k=0}^s Q_k(x) \right]^2$$

является экстремальным и

$$b_D(n, 2s) = C_{n+s-1}^{n-1} + C_{n+s-2}^{n-1}. \quad (6)$$

При t нечетном, $t = 2s + 1$, полином

$$F(x) = (1+x) \left[\sum_{j=0}^{[s/2]} Q_{s-2j}(x) \right]^2$$

является экстремальным и

$$b_D(n, 2s+1) = 2C_{n+s-1}^{n-1}. \quad (7)$$

3. Доказательство теоремы для t четного

Пусть $t = 2s$, s – натуральное число. Общий вид отрицательного на $[-1, 1]$ полинома приведен в книге Поля и Сегё ([6], раздел VI). При $t = 2s$ полином $F \in \mathcal{P}_t^+$ представляется в виде

$$F(x) = [A(x)]^2 + (1-x^2)[B(x)]^2 =: F_1(x) + F_2(x),$$

где $A(x)$ – полином степени $\leq s$, а $B(x)$ – полином степени $\leq s-1$.

Нулевые коэффициенты Фурье $F_{1,0}$ и $F_{2,0}$ неотрицательных на $[-1, 1]$ функций $F_1(x)$ и $F_2(x)$ неотрицательны. Поскольку $F_2(1) = 0$, то

$$\frac{F_1(1) + F_2(1)}{Q_0 F_{1,0} + Q_0 F_{2,0}} \leq \frac{F_1(1)}{Q_0 F_{1,0}}. \quad (8)$$

Поэтому в задаче (5) достаточно максимизировать по ненулевым полиномам $F_1(x)$ вида $F_1(x) = [A(x)]^2$.

Разложим полином $A(x)$ по полиномам Гегенбауэра

$$A(x) = \sum_{k=0}^s a_k Q_k(x).$$

Предыдущее рассуждение показывает, что

$$\sup_{F \in \mathcal{P}_t^+} \frac{F(1)}{F_0} = \sup_{(a_0, \dots, a_s)} \frac{F_1(1)}{F_{1,0}}, \quad (9)$$

где $F_1(x) = [A(x)]^2$. В докладе [3] доказана следующая лемма.

Лемма 1. Супремум в (9) достигается тогда и только тогда, когда

$$a_0 = a_1 = \dots = a_s \neq 0,$$

т. е. когда все числа $\{a_k\}$ равны между собой и отличны от нуля.

В силу однородности целевой функции в задаче (9) в качестве точки максимума можно взять точку

$(1, 1, \dots, 1)$. Тогда $F_1(x) = \left[\sum_{k=0}^s Q_k(x) \right]^2$ будет экстремальным полиномом, при этом

$$F_1(1) = \left[\sum_{k=0}^s Q_k(1) \right]^2 = \left[\sum_{k=0}^s \|Q_k\|^2 \right]^2,$$

$$F_{1,0} = \int_{-1}^1 \left[\sum_{k=0}^s Q_k(x) \right]^2 w_n(x) dx = \sum_{k=0}^s \|Q_k\|^2.$$

В результате получим

$$b_D(n, 2s) = \frac{F_1(1)}{Q_0 F_{1,0}} = \frac{1}{Q_0} \sum_{k=0}^s \|Q_k\|^2. \quad (10)$$

Величина (10) довольно громоздкими вычислениями найдена в [3] и она равна числу $C_{n+s-1}^{n-1} + C_{n+s-2}^{n-1}$, что завершает доказательство теоремы при $t = 2s$.

4. Доказательство теоремы для t нечетного

Пусть теперь t нечетное, $t = 2s + 1$. Полином $F \in \mathcal{P}_t^+$ можно представить в форме

$$F(x) = (1+x)[A(x)]^2 + [B(x)]^2 +$$

$$+ (1-x)[C(x)]^2 + (1-x^2)[D(x)]^2 =:$$

$$=: F_1(x) + F_2(x) + F_3(x) + F_4(x),$$

и притом так, что все четыре слагаемых были самое большее степени t (см. [6], раздел VI). Два последних слагаемых можно откинуть, пользуясь тем же рассуждением, что и при $t = 2s$. Допустим, что хоть один из полиномов $C(x)$ и $D(x)$ отличен от тождественного нуля. Тогда

$$F_{3,0} + F_{4,0} > 0, \quad F_3(1) + F_4(1) = 0$$

и, следовательно,

$$\frac{F(1)}{F_0} = \frac{F_1(1) + F_2(1)}{F_{1,0} + F_{2,0} + F_3(1) + F_4(1)} < \frac{F_1(1) + F_2(1)}{F_{1,0} + F_{2,0}},$$

поэтому экстремальный полином не может содержать слагаемых $F_3(x)$ и $F_4(x)$.

Более тонко доказывается, что слагаемое $F_2(x) = [B(x)]^2$ также нужно откинуть. Разложим $A(x)$ и $B(x)$ по полиномам Гегенбауэра:

$$A(x) = \sum_{k=0}^s a_k Q_k(x), \quad B(x) = \sum_{k=0}^s b_k Q_k(x),$$

и будем рассматривать ненулевые векторы $a = (a_0, \dots, a_s)$ и $b = (b_0, \dots, b_s)$. Ранее показано, что

$$\max_{b \in \mathbb{R}^{s+1}} \frac{F_2(1)}{Q_0 F_{2,0}} = b_D(n, 2s) =$$

$$= C_{n+s-1}^{n-1} + C_{n+s-2}^{n-1} =: M_2. \quad (11)$$

Введем подпространство

$$L = \{a \in \mathbb{R}^{s+1} \mid a_{s-1} = 0, a_{s-3} = 0, a_{s-5} = 0, \dots\}.$$

Для $a \in L$ полином $A(x)$ имеет вид

$$A(x) = \sum_{j=0}^{[s/2]} a_{s-2j} Q_{s-2j}(x).$$

Такие полиномы рассматривались в работе [3], лемма 2. Было показано, что

$$\max_{a \in L} \frac{F_1(1)}{Q_0 F_{1,0}} = 2 C_{n+s-1}^{n-1} =: M_1. \quad (12)$$

Здесь $F_1(x) = (1+x)[A(x)]^2$. Очевидно, что $M_1 > M_2$, так как $C_{n+s-1}^{n-1} > C_{n+s-2}^{n-1}$. Если в (12) взять максимум по всему пространству $\mathbb{R}^{s+1}$, то максимум не уменьшится:

$$M_1^* := \sup_{a \in \mathbb{R}^{s+1}} \frac{F_1(1)}{Q_0 F_{1,0}} \geq M_1. \quad (13)$$

Возьмем произвольные $a, b \in \mathbb{R}^{s+1}$, $b \neq 0$. В силу (11) и (13)

$$F_1(1) \leq M_1^* Q_0 F_{1,0}, \quad F_2(1) \leq M_2 Q_0 F_{2,0} < M_1^* Q_0 F_{2,0}$$

и поэтому

$$\frac{F(1)}{Q_0 F_0} < \frac{M_1^* Q_0 F_{1,0} + M_1^* Q_0 F_{2,0}}{Q_0 F_{1,0} + Q_0 F_{2,0}} = M_1^*,$$

и, значит, слагаемое $F_2(x) = [B(x)]^2$ не может входить в экстремальный полином.

Перейдем к нахождению величины

$$M_1^* = \sup_{a \in \mathbb{R}^{s+1}} \frac{F(1)}{Q_0 F_0}, \quad (14)$$

где $F(x) = (1+x)[A(x)]^2$, $A(x) = \sum_{k=0}^s a_k Q_k(x)$ – произвольный ненулевой полином степени $\leq s$.

Вычислим $F(1)$ и F_0 . Имеем

$$\begin{aligned} F(1) &= 2 \left[\sum_{k=0}^s a_k \|Q_k\|^2 \right]^2, \\ F_0 &= \int_{-1}^1 [A(x)]^2 w_n(x) dx + \int_{-1}^1 x [A(x)]^2 w_n(x) dx = \\ &= \sum_{k=0}^s a_k^2 \|Q_k\|^2 + \sum_{k,l=0}^s I_{kl} a_k a_l, \end{aligned}$$

где

$$I_{kl} = \int_{-1}^1 x Q_k(x) Q_l(x) w_n(x) dx. \quad (15)$$

Отметим сразу, что $I_{kl} = I_{lk}$ и $I_{kk} = 0$, так как при $k = l$ получается интеграл от нечётной функции.

При решении задачи (14) можно фиксировать числитель и минимизировать знаменатель. Можно считать, что вектор $a \in \mathbb{R}^{s+1}$ удовлетворяет ограничению $F(1) = 2$. Приходим к задаче квадратичного программирования

$$F_0(a) = \sum_{k=0}^s a_k^2 \|Q_k\|^2 + 2 \sum_{k < l} I_{kl} a_k a_l \rightarrow \min, \quad (16)$$

$$\sum_{k=0}^s a_k \|Q_k\|^2 = \pm 1. \quad (17)$$

Собственно здесь две задачи – для $+1$ и -1 . Целевая функция $F_0(a)$ является положительно определенной квадратичной формой:

$$F_0(a) = \int_{-1}^1 F(x) w_n(x) dx > 0 \text{ при } a \neq 0.$$

Поэтому решение задач (16) и (17) существует и единственно. Когда в (17) стоит $+1$, решение обозначим a^* , а для -1 решением будет $-a^*$.

В дальнейшем нам удастся явно решить задачу (16)–(17), но предварительно необходимо вычислить интегралы I_{kl} .

4.1. Вычисление интегралов I_{kl}

Нам потребуется рекуррентное соотношение для полиномов Гегенбауэра. Особенно просто оно выглядит для полиномов $G_k(x)$ с нормировкой $G_k(1) = 1$, $k \geq 0$:

$$(k+n-2) G_{k+1}(x) = (2k+n-2) x G_k(x) - k G_{k-1}(x), \quad k \geq 1, \quad (18)$$

где $G_0(x) \equiv 1$, $G_1(x) = x$. Перепишем (18) в виде

$$\begin{aligned} x G_k(x) &= \frac{k+n-2}{2k+n-2} G_{k+1}(x) + \\ &+ \frac{k}{2k+n-2} G_{k-1}(x). \end{aligned} \quad (19)$$

Полиномы $G_k(x)$ с постоянным множителем отличаются от $Q_k(x)$: $G_k(x) = c_k Q_k(x)$. При $x = 1$ получаем $1 = c_k Q_k(1) = c_k \|Q_k\|^2$. Отсюда

$$c_k = \frac{1}{\|Q_k\|^2}, \quad G_k(x) = \frac{Q_k(x)}{\|Q_k\|^2}.$$

Подставив последнее выражение в (19), получим

$$x Q_k(x) = \alpha_k Q_{k+1}(x) + \beta_k Q_{k-1}(x), \quad k \geq 1, \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \alpha_k &= \frac{k+n-2}{2k+n-2} \cdot \frac{\|Q_k\|^2}{\|Q_{k+1}\|^2}, \\ \beta_k &= \frac{k}{2k+n-2} \cdot \frac{\|Q_k\|^2}{\|Q_{k-1}\|^2}. \end{aligned} \quad (21)$$

По формуле (7) доклада [3]

$$\|Q_k\|^2 = \frac{2k+n-2}{2^{n-2}} \cdot \frac{\Gamma(k+n-2)}{k! \Gamma^2(\frac{n-1}{2})}.$$

Если подставить в (21), то получим

$$\alpha_k = \frac{k+1}{2k+n}, \quad \beta_k = \frac{k+n-3}{2k+n-4}. \quad (22)$$

Теперь можно вычислить интеграл (15) при $l > k$:

$$I_{kl} = \int_{-1}^1 a_k(x) \left[\alpha_l Q_{l+1}(x) + \beta_l Q_{l-1}(x) \right] w_n(x) dx.$$

В силу ортогональности системы $\{Q_k\}$ справедливы равенства $I_{kl} = 0$ при $l = k+2, k+3, \dots, s$, а при $l = k+1$ получаем (в силу (21))

$$I_{k,k+1} = \beta_{k+1} \|Q_k\|^2.$$

4.2. Явное решение задачи (16)–(17)

Подставив вычисленные интегралы I_{kl} в (16) придем к задаче

$$F_0(a) = \sum_{k=0}^s a_k^2 \|Q_k\|^2 + 2 \sum_{k=0}^{s-1} a_k a_{k+1} \beta_{k+1} \|Q_k\|^2 \rightarrow \min, \quad (23)$$

$$\sum_{k=0}^s a_k \|Q_k\|^2 = \pm 1.$$

Решение a^* задачи с $+1$ существует и единственно, $a^* \neq 0$.

Необходимое и достаточное условие максимума имеет вид

$$\frac{\partial F_0(a)}{\partial a_k} = \lambda \|Q_k\|^2, \quad k \in 0 : s,$$

где λ – множитель Лагранжа. Придем к системе уравнений

$$2a_0 \|Q_0\|^2 + 2a_1 \beta_1 \|Q_0\|^2 = \lambda \|Q_0\|^2,$$

$$2a_k \|Q_k\|^2 + 2a_{k-1} \beta_k \|Q_{k-1}\|^2 + 2a_{k+1} \beta_{k+1} \|Q_k\|^2 = \lambda \|Q_k\|^2, \quad k \in 1 : s-1,$$

$$2a_s \|Q_s\|^2 + 2a_{s-1} \beta_s \|Q_{s-1}\|^2 = \lambda \|Q_s\|^2.$$

Поскольку $a^* \neq 0$, то $\lambda \neq 0$.

Поделим k -е уравнение на $2 \|Q_k\|^2$ и обозначим $\mu = \frac{\lambda}{2}$. Основное уравнение (при $k \in 1 : s-1$) примет вид

$$a_k + a_{k-1} \beta_k \frac{\|Q_{k-1}\|^2}{\|Q_k\|^2} + a_{k+1} \beta_{k+1} = \mu.$$

Вычислим коэффициенты этого уравнения. В силу (21) и (22)

$$\gamma_k := \beta_k \frac{\|Q_{k-1}\|^2}{\|Q_k\|^2} = \frac{k}{2k+n-2}, \quad (24)$$

$$\delta_k := \beta_{k+1} = \frac{k+n-2}{2k+n-2}.$$

Окончательно систему уравнений для определения a^* можно записать в виде

$$\begin{cases} \gamma_k a_{k-1} + a_k + \delta_k a_{k+1} = \mu, & k \in 0 : s, \\ a_{-1} = 0, & a_{s+1} = 0. \end{cases} \quad (25)$$

Здесь $\mu = \lambda/2 \neq 0$ и в силу (24) справедливы соотношения

$$\delta_0 = 1; \gamma_k > 0, \delta_k > 0, \gamma_k + \delta_k = 1, k \in 1 : s. \quad (26)$$

Лемма 2. Единственное решение a^* системы (25) при условиях (26) состоит из чисел μ и 0 в чередующемся порядке:

$$a_s^* = \mu, a_{s-1}^* = 0, a_{s-2}^* = \mu, a_{s-3}^* = 0, \dots \quad (27)$$

Доказательство. Допустим, что $\{a_k\}_{k=0}^s$ – решение системы (25). Последовательно будем выражать все неизвестные a_k через a_0 .

При $k=0$: $a_0 + a_1 = \mu$, отсюда $a_1 = \mu - a_0$.

При $k=1$: $\gamma_1 a_0 + \mu - a_0 + \delta_1 a_2 = \mu$, отсюда $a_2 = a_0$.

При $k=2$: $\gamma_2 a_1 + a_0 + \delta_2 a_3 = \mu$, отсюда $a_3 = \mu - a_0$.

При $k=3$: $\gamma_3 a_2 + \mu - a_0 + \delta_3 a_4 = \mu$, отсюда $a_4 = a_0$.

По индукции можно доказать, что

$a_i = \mu - a_0$ при i нечётном, $a_i = a_0$ при i чётном.

Если s чётно, то из уравнения $\gamma_s a_{s-1} + a_s = \mu$ получим $\gamma_s (\mu - a_0) + a_0 = \mu$, откуда $a_0 = \mu$ и получаем решение (27). Если же s нечётно, то $\gamma_s a_0 + \mu - a_0 = \mu$, значит, $a_0 = 0$ и снова получим решение (27).

Лемма доказана. $\square$

Вектор a^* , определенный равенствами (27), является точкой максимума в задаче (16)–(17) (неизвестный параметр μ определяется из ограничения $\sum_{k=0}^s a_k^* \|Q_k\|^2 = 1$).

Этот же вектор a^* будет являться точкой максимума в задаче (14). Экстремальный полином имеет вид

$$F^*(x) = (1+x) \left[\mu \sum_{j=0}^{[s/2]} Q_{s-2j}(x) \right]^2,$$

а максимальное значение целевой функции равно

$$b_D(n, 2s+1) = \frac{F^*(1)}{Q_0 F_0(a^*)}.$$

Здесь (с учетом формулы (23))

$$F^*(1) = 2 \left[\mu \sum_{j=0}^{[s/2]} \|Q_{s-2j}\|^2 \right]^2, \quad (28)$$

$$F_0(a^*) = \mu^2 \sum_{j=0}^{[s/2]} \|Q_{s-2j}\|^2. \quad (29)$$

Поделив (28) на (29), придем к окончательной формуле

$$b_D(n, 2s+1) = \frac{2}{Q_0} \sum_{j=0}^{[s/2]} \|Q_{s-2j}\|^2. \quad (30)$$

В докладе [3] доказано, что величина (30) равна $2C_{n+s-1}^{n-1}$, что завершает доказательство теоремы.

Литература

1. Delsarte Ph. An algebraic approach to the association schemes of coding theory // Philips Res. Reports (Suppl.), 1973. No. 10. P. 1-97.
2. Delsarte Ph., Goethals J.M., Seidel J.J. Spherical codes and designs // Geometriae Dedicata, 1977. Vol. 6. No. 3. P. 363-388.
3. Афонин Р.Е., Малозёмов В.Н., Певный А.Б. Оценка Дельсарта для количества элементов сферического дизайна // Семинар «DHA & CAGD». Избранные доклады. 20 марта 2010 г. (<http://dha.spb.ru/rep10.shtml#0313>)
4. Сегё Г. Ортогональные многочлены. М.: ГИФМЛ, 1962. 500 с.
5. Bannai E., Munemasa A., Venkov B. The non-existence of certain tight spherical designs // Алгебра и анализ, 2004. Т. 10. Вып. 4. С. 1-23.
6. Полюа Г., Сегё Г. Задачи и теоремы из анализа. Ч. 2. М.: ГИТТЛ, 1956. 432 с.

УДК 547.333.1:544.122.2:661.8051

ПОЛЕЗНАЯ СЕРАОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

С.А. РУБЦОВА, К.С. РОДЫГИН, А.В. КУЧИН

Институт химии Коми НЦ УрО РАН, г.Сыктывкар
rubtsova-sa@chemi.komisc.ru

Серосодержащие соединения широко распространены в природе и являются объектами многочисленных исследований синтетической химии. Области применения как природных, так и синтетических сераорганических соединений являются фармакология и медицина, органический синтез, техника, сельское хозяйство. В лаборатории химии окислительных процессов Института химии Коми НЦ УрО РАН проведены многочисленные работы по химии сераорганических соединений: разработаны эффективные методы синтеза сульфидов, сульфоксидов, сульфонов, тиоланов. Подобраны оптимальные условия хемо- и энантиоселективного окисления сульфидов в соответствующие сульфоксиды. Показано, что диоксид хлора является селективным и универсальным окислителем сераорганических соединений. Обнаружена фармакологическая активность у впервые синтезированных сераорганических соединений с терпеновыми фрагментами. Предложена технология переработки сульфатного скипидара.

Ключевые слова: сераорганические соединения, сульфиды, сульфоксиды, сульфоны, тиолы, асимметрическое окисление, сульфатный скипидар, диоксид хлора

S.A.RUBTSOVA, K.S.RODYGIN, A.V.KUTCHIN. USEFUL SULFURORGANIC CHEMISTRY

Sulfur-containing compounds are widespread in nature and are objects of numerous researches of synthetic chemistry. Fields of application of both natural and synthetic sulfur-containing compounds are pharmacology and medicine, organic synthesis, technical equipment, agriculture. Numerous works have been conducted in the Laboratory of Chemistry of Oxidizing Processes of the Institute of Chemistry (Komi Science Centre, Ural Branch, RAS) on chemistry of sulfur-containing compounds: effective methods of synthesis of sulfides, sulfoxides, sulfones, thiolanes are developed. Optimum conditions for hemo- and enantioselective oxidation of sulfides into corresponding sulfoxides are selected. It is shown that chlorine dioxide is a selective and universal oxidizer of sulfur-containing compounds. Pharmacological activity in for the first time synthesized sulfur-containing compounds with therpens fragments is found out. The technology of processing of sulphatic turpentine is suggested.

Key words: sulfurorganic compounds, sulfides, sulfoxides, sulfones, thiols, asymmetric oxidation, sulphatic turpentine, chlorine dioxide.

Серосодержащие соединения содержатся практически во всех организмах: растениях, животных, микроорганизмах. В органических соединениях атом серы может быть в нескольких валентных состояниях: сульфидном, сульфоксидном, сульфоновом, сульфониювом. Сульфидная сера в живой природе образует три основные группы соединений: меркаптаны, сульфиды и полисульфиды. Меркаптаны немногочисленны, однако занимают главенствующее положение во всех живых организмах: например, аминокислота цистеин (рис.1а), кофермент А, кофермент М. 8-меркаптоментан содержится в грейпфруте (рис.1б). 2-фурфурилтиол, содержащийся в кофе, придает ему запах (рис.1в). Сульфиды – наиболее распространенные природ-

ные соединения. Во всех живых организмах находится аминокислота метионин. S-метилметионин (рис. 1г) содержится во многих овощах: в листьях кочанной капусты, в кольраби, сельдерее, томатах. В настоящее время в Японии и России он исследуется в связи с широким спектром его медицинских свойств [1]. S-аденозил-L-метионин – кофермент, участвующий в реакциях биосинтеза, связанных с переносом метильной группы. Следует отметить, что природный изомер представлен только (-)-изомером. Второй изомер, полученный синтетически, не обладает ферментативной активностью.

В чесноке содержится диаллилсульфид (рис.2а) с антиканцерогенной активностью (показана его способность к понижению уровня каталазы в

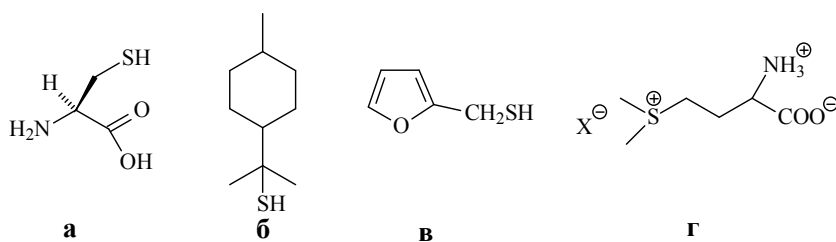


Рис. 1.

тканях печени). Циклические сульфиды в природе представлены как насыщенными, так и ароматическими системами, например витамин-коферменты биотин (рис.2б) и тиамин (рис.2в) и др.

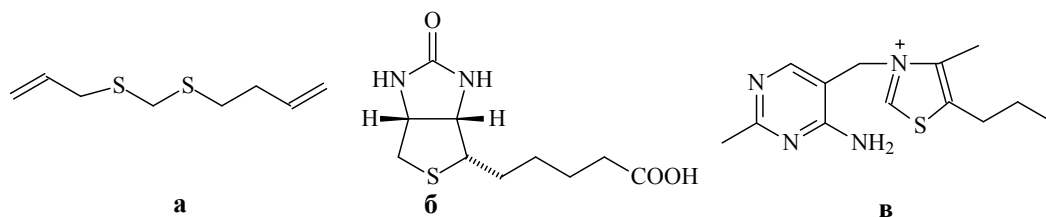


Рис. 2.

Сульфоксиды содержатся в таких растениях, как лук, чеснок, горчица, редис. В частности, из репчатого лука выделены (+)-S-метил-L-цистеинсульфоксид (рис. 3а), (+)-S-пропил-L-цистеинсульфоксид (рис. 3б), из чеснока – S-аллил-L-цистеинсульфоксид (рис. 3в) [2]. По-видимому, они образуются в результате окисления содержащихся в растениях сульфидов. Показано, что при действии ферментов типа аллилазы (содержащихся в природных препаратах), 2-пропенилсульфоксид (производное (+)-S-цистеин-сульфоксида) превращается в айон, ответственный за антитромбозное действие чесночных экстрактов [3]. Полагают, что выделенные из лука цибелины образуются в его соке из 1-пропенилцистеинсульфоксида по сходному механизму [4].

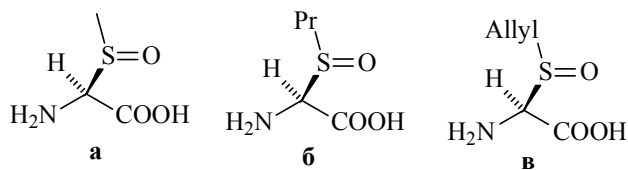


Рис. 3.

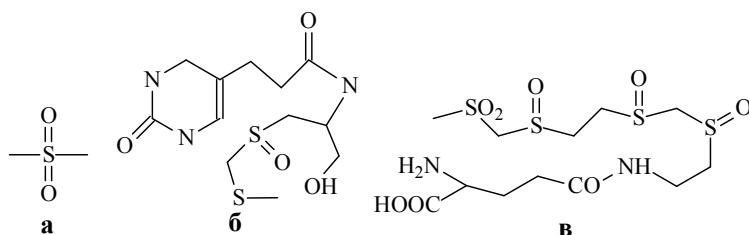


Рис. 4.

Диметилсульфон (рис. 4а) и другие сульфоны были выделены из морских организмов. В различных грибковых штаммах содержатся более слож-

ные функциональные серосодержащие соединения, такие как антибиотик спарсомин (рис. 4б) или ядовитая лентиловая кислота (рис. 4в) [5].

Природные сульфоксиды участвуют в биологически важных трансформациях, поэтому изучение этих процессов может привести к новым интересным результатам. Так, на основании легкости протекания 1,7-миграции сульфонильных групп по полиеновой системе высказано предположение о роли такого процесса в биологической дезактивации (SR- и SS)-лейкотриенов (схема 1) [6].

Приводятся данные о легком окислении метиониновых звеньев пептидов и белков с образованием сульфонильных группировок как *in vitro*, так и *in vivo*, а также о сравни-

тельно медленной регенерации неокисленной серы [4,7]. Накопление сульфонильных группировок блокирует ряд биологически важных процессов. Это наблюдается при старении организма или развитии некоторых заболеваний.

Сульфоксиды в оптически активной форме выделены из некоторых природных источников. Так, редко встречающееся растение *Diphthychicarpus strictus* (двойкоплодный прямой) продуцирует 10 алкалоидов с хиральным атомом серы в метилсульфинильном фрагменте [8,9]. Аналогичную хиральную сульфоксидную группу содержит полифункциональный антибиотик спарсомин – продукт жизнедеятельности стрептомицетов *Streptomyces sparsogenes* [10].

Многообразны по своей структуре и распространению в природе и биологической активности ди- и полисульфиды: аминокислота цистин (рис. 5а), липоевая кислота (кофермент) (рис.5б), антибиотик эсперацин А (рис.5в), диаллилдисульфид (рис.5г), выделенный из чеснока, лентионин – главный одорант съедобных грибов *Shiitake Lentinus edodes*, издавна культивируемый в Японии (рис.5д) [1]. Варацины из дальневосточной асцидии *Polycitor sp.*

тормозят деление опухолевых клеток, причем наиболее перспективным в этом отношении является варацин С (рис. 5д), превосходящий в 100 раз по своему цитотоксическому эффекту применяемые в медицине противоопухолевые препараты [11].

Одним из основных источников сераорганических соединений является нефть. Сера является важнейшим из гетероэлементов, присутствующих в нефтях, концентрация ее изменяется от сотых долей до 6-8%, в редких случаях достигая 9,6%, а иногда даже 14% [12, 13]. Основная часть серы в

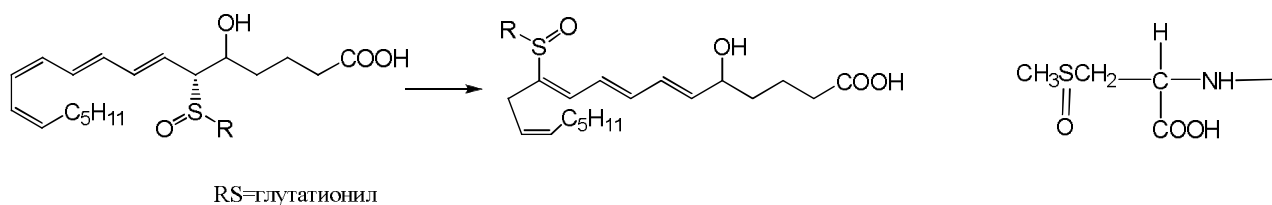


Схема 1.

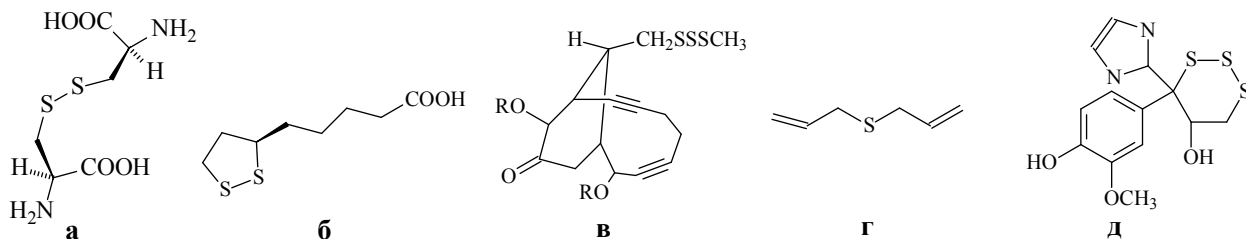


Рис. 5.

нефти представлена в виде ее сераорганических соединений: меркаптанов (RSH), сульфидов (RSR'), дисульфидов (RSSR'), циклических сульфидов ($C_nH_{2n}S$). Доля сернистых и высокосернистых нефтей России в общем балансе добычи составляет две трети. Кроме того, сернистые соединения, присутствующие в нефтепродуктах, резко ухудшают эксплуатационные качества топлив и масел, вызывают коррозию аппаратуры, снижают активность антидетонаторов и антиокислительную стабильность топлива, повышают склонность к смолообразованию крекинг-бензинов. Между тем органические соединения серы можно извлечь из нефтепродуктов в виде концентратов, а также нефтяных сульфоксидов и сульфонов и использовать в различных отраслях народного хозяйства. Сульфоксиды являются высокоэффективными экстрагентами солей металлов, органических и неорганических кислот, фенолов, флотореагентами полиметаллических руд, пластификаторами полимерных материалов [12,14]. Технические смеси, главным образом циклоалифатические сульфоксиды, получаемые окислением высокосернистых нефтей, могут быть использованы в качестве дешевого экстрагента в гидрометаллургии для выделения солей благородных металлов [15]. Сульфоны являются препаратами для лечения грибковых заболеваний животных, а также используются как высокоэффективные репелленты. Среди сульфонов наиболее широкое применение находит сульфолан, получаемый в промышленном масштабе каталитическим дегидрированием 2,5-дигидротиофендиоксида (сульфолена-3). Сульфолан – прекрасный избирательный растворитель и экстрагент, позволяющий извлекать ароматические соединения из нефтяных фракций, производить очистку промышленных газов и др. Смеси нефтяных сульфонов предложено использовать в качестве гербицида ряда культур, репеллентов для защиты крупного рогатого скота от сосущих насекомых [4].

Широкое развитие получают исследования, посвященные серосодержащим модификациям для разработки лекарственных препаратов. При наличии биологически активного сульфида (например,

цефалоспорины) или сульфона (различные сульфонамиды) предпринимаются попытки получения соединений с сульфоксидной функцией. При этом отмечается существенное изменение активности веществ в лучшую сторону. Например, при сравнении биологической активности сульфидов, сульфонов и сульфоксидов, цефалоспоринов третьего поколения установлено, что биоактивность сульфоксидов выше прочих в несколько раз [17]. Синтезированные или выделенные из природного сырья сульфоксиды обладают ценными практическими свойствами. Они способны выступать в роли антиоксидантов и антидепрессантов [18], являются эффективными препаратами при лечении язвенной болезни [19], ингибиторами индуцированного тромбином биосинтеза [20]. Исследователи связывают повышение биологической активности в сульфоксидов с увеличением мембранотропных свойств молекулы. Кроме того, во многих случаях подчеркивается чрезвычайно большая гидрофильность молекулы сульфоксидов при сохранении высокой липофильности [21]. Это качество крайне ценно, так как решает проблему поиска нетоксичного растворителя при биоиспытаниях и внедрении в медицинскую практику.

Успешно осуществлено селективное окисление сульфида (схема 2) с помощью штамма *C. echinulata* MK40 в присутствии глюкозы в соответствующий (S)-сульфоксид с высоким химическим выходом (92%) и ее >99 %, без образования побочных продуктов. Полученная в препаративных количествах натриевая соль 2-[[4-(3-метоксипропилокси)-3-метилпиридил-2-ил]метилсульфинил]-1Н-бензимидазола составляет активное начало фармакологического противоязвенного препарата рабепразола [22] (схема 2).

Препаративный интерес представляет реакция окисления сульфидов (рис. 6) культурой *Fusarium oxysporum* CBS 24801 с целью получения хиральных винильных сульфоксидов, проявляющих антигипоксическую активность [23].

Холландом с соавторами [24] установлено, что такие штаммы, как *B. Bassiana* ATCC 7159 и *B. Caldonica* ATCC 64970 осуществляют селективное прев-

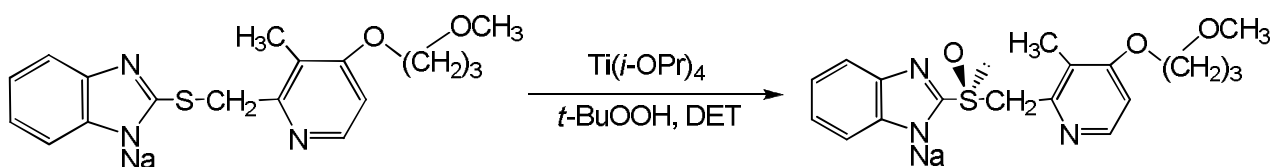


Схема 2.

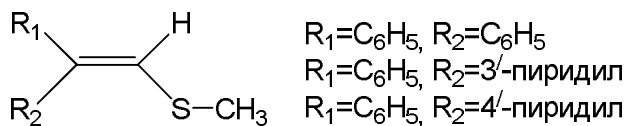


Рис. 6.

ращение сульфида 7а (рис. 7) в соответствующий (*S*_S)-сульфоксид 7б (химический выход >90%, >95% ee). В результате химического гидролиза хирального сульфоксида 7б был синтезирован хондрин 7в – практически значимое соединение, являющееся предшественником душистых веществ лука и продуцируемое красной водорослью *Chondria crassicaulis* [24].

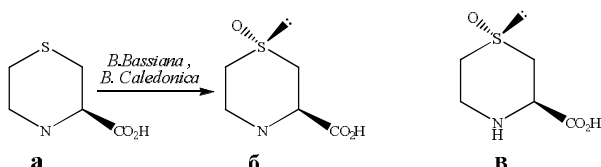


Рис. 7.

Одной из ключевых стадий в синтезе нестероидного жаропонижающего препарата сулиндак 8в (рис. 8) стало асимметрическое окисление сульфида 8а в сульфоксид 8б [25]. Сулиндак 8в – эффективный препарат, главным образом, используемый в лечении ревматического артрита, артрозов, острого подагрического артрита. За прошлые десять лет применение сулиндака 8в в лечении рака стала областью большого интереса. До настоящего времени сулиндак 8в использовался терапевтически как рацемическая смесь. Первый асимметрический синтез энантиоистого сулиндака 8в был описан Р. Магьюре [26].

Сульфоксид 9а (рис. 9), апробированный в качестве лекарственного средства против шизофрении, был синтезирован асимметрическим окислением соответствующего сульфида с 93% ee и образованием менее чем 1% сульфона [25]. Позднее он был назван как препарат ZD3638 – энантиомерно чистый сульфоксид 9а *S* конфигурации, антипсихотический агент [26].

Соединение 9б, получившее название «омепразол» и обладающее выдающейся про-

тивоязвенной активностью, было получено с выходом 77% (95% ee) в промышленных масштабах окислением соответствующего сульфида гидроперекисью кумола в присутствии $\text{Ti}(i\text{-OPr})_4$, (-)-DET, молекулярных сит (4А) и *N,N*-диизопропилэтиламина [50,127]. Коммерциализирован как Losec™, он является всемирным препаратом в продаже с 1997 г., хотя препарат в течение долгого времени был продаваем как рацемат. В настоящее время доступен (*S*)-энантиомер омепразола – эзомепразол, в продаже под названием Nexium™. В 2003 г. Nexium™ был седьмым, наиболее востребованным по продаже препаратом [25, 28].

В лаборатории химии окислительных процессов Института химии Коми НЦ УрО РАН разработаны методы асимметрического окисления азотсодержащих полифункциональных сульфидов (рис. 10). Получены энантиомерно обогащенные сульфоксиды с энантиомерным избытком до 97%. Синтезированные соединения переданы для испытаний на противовоспалительную и противовирусную активность. Осуществлен синтез новых терпеновых тиолов и проведено их асимметрическое окисление [48-51] (рис. 11-12). Некоторые полученные впервые сульфинил- и сульфонилопроизводные терпеновых тиолов продемонстрировали противогрибковую активность.

В Институте химии Коми НЦ УрО РАН разработан новый метод селективного окисления сульфидов в сульфоксиды диоксидом хлора (рис. 13).

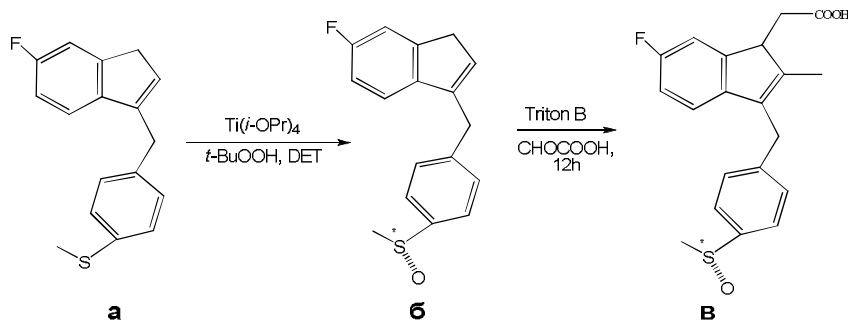


Рис. 8.

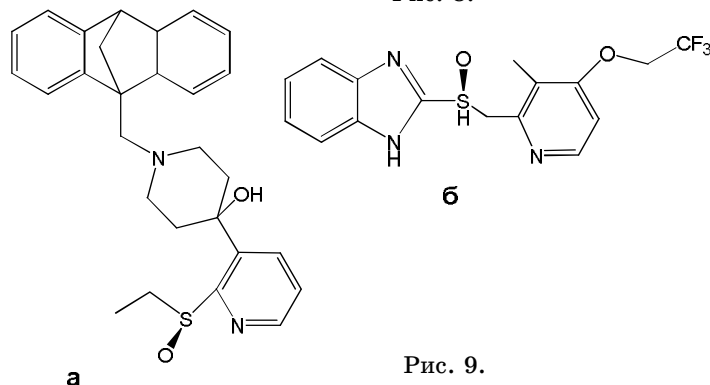


Рис. 9.

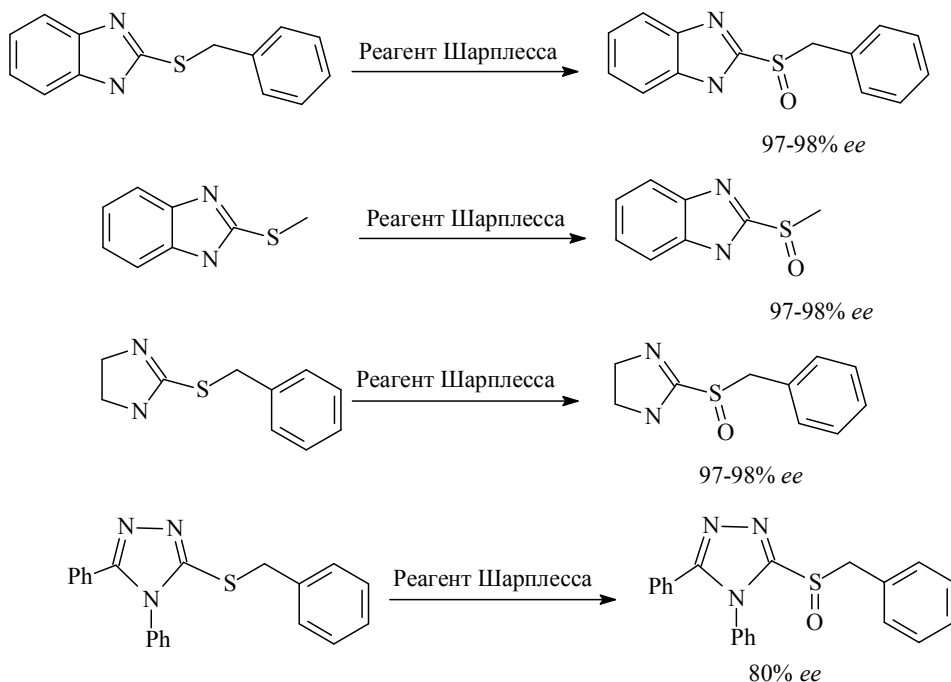


Рис. 10.

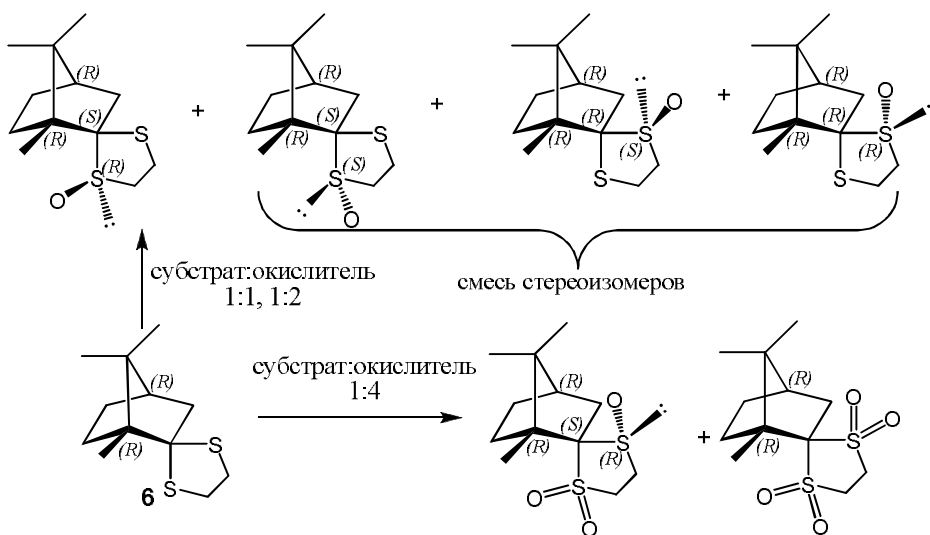


Рис. 11.

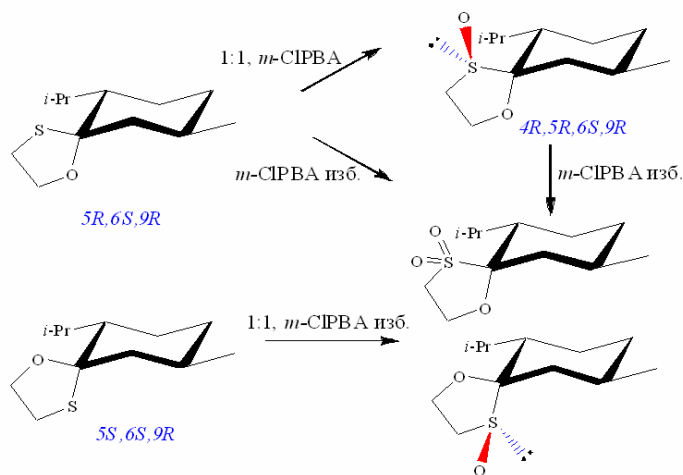


Рис. 12.

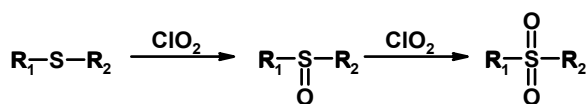
Для проведения реакции окисления сульфидов, меркаптанов, дисульфидов предлагается использовать диоксид хлора (ClO_2). Нами установлено, что ClO_2 является хемоселективным окислителем, позволяющий получить сульфоксиды с высоким выходом (95-99%) [35-36, 43-47].

Нами предложена новая реакция получения сульфониохлоридов взаимодействием меркаптанов и дисульфидов с диоксидом хлора (рис. 14) [41].

Одним из источников сероорганических соединений является сульфатный скипидар – побочный продукт сульфатно-целлюлозного производства. Сульфатный скипидар содержит легкокипящие имеющие неприятный запах сернистые соединения – метилмеркаптан, диметилсульфид и диметилдисульфид. Соединения серы придают скипидару неприятный запах, снижают его ценность; их присутствие является основной причиной того, что сульфатный скипидар в сыром виде не применяется в промышленности без дополнительной очистки [29,

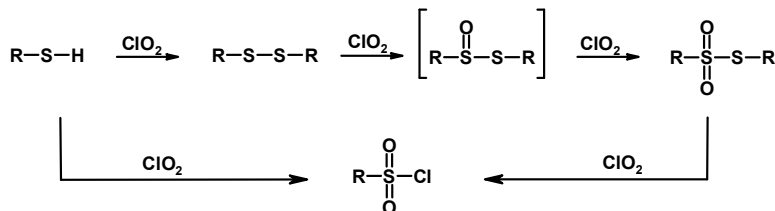
30]. В то же время, смесь сернистых соединений сульфатного скипидара применяется для получения одоранта сульфана – одоранта природного и сжиженного газа (добавляют в природный газ для придания ему характерного предупреждающего запаха). В результате окисления диметилсульфида получают диметилсульфоксид, являющийся универсальным растворителем, экстрагентом ароматических углеводородов из нефтепродуктов, лекарственного препарата «димексид» с широким спектром физиологического действия [31].

В Институте химии Коми НЦ УрО РАН разработана технология комплексной переработки сульфатного скипидара, включающая его очистку от сернистых соеди-



- | | | |
|-----------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| (1) $R_1 = R_2 = Pr$ | (7) $R_1 = R_2 = n-BrC_6H_4$ | (10) $R_1 = Me; R_2 = Bu$ |
| (2) $R_1 = R_2 = i-Bu$ | (8) $R_1 = R_2 = Me$ | (11) $R_1 = Me; R_2 = Et$ |
| (3) $R_1 = R_2 = Bu$ | (9) $R_1 = R_2 = Bn$ | (12) $R_1 = Me; R_2 = Ph$ |
| (4) $R_1 = R_2 = C_8H_{17}$ | | (13) $R_1 = Ph; R_2 = C_6H_{13}$ |
| (5) $R_1 = R_2 = p-Tol$ | | (14) $R_1 = C_6H_{13}; R_2 = Pr$ |

Рис. 13.



$R = n-CH_3C_6H_4, C_6H_5CH_2, C_6H_{13}, C_{16}H_{33}, C_2H_5OH, C_2H_5, C_4H_9, n-NO_2C_6H_4$

Рис. 14.

нений и получения на основе компонентов скипидара продуктов, применяемых в различных областях жизнедеятельности человека: репелленты, феромоны насекомых, полупродукты для синтеза ценных душистых и лекарственных веществ; экстрагенты металлов; моющие средства, ионообменные

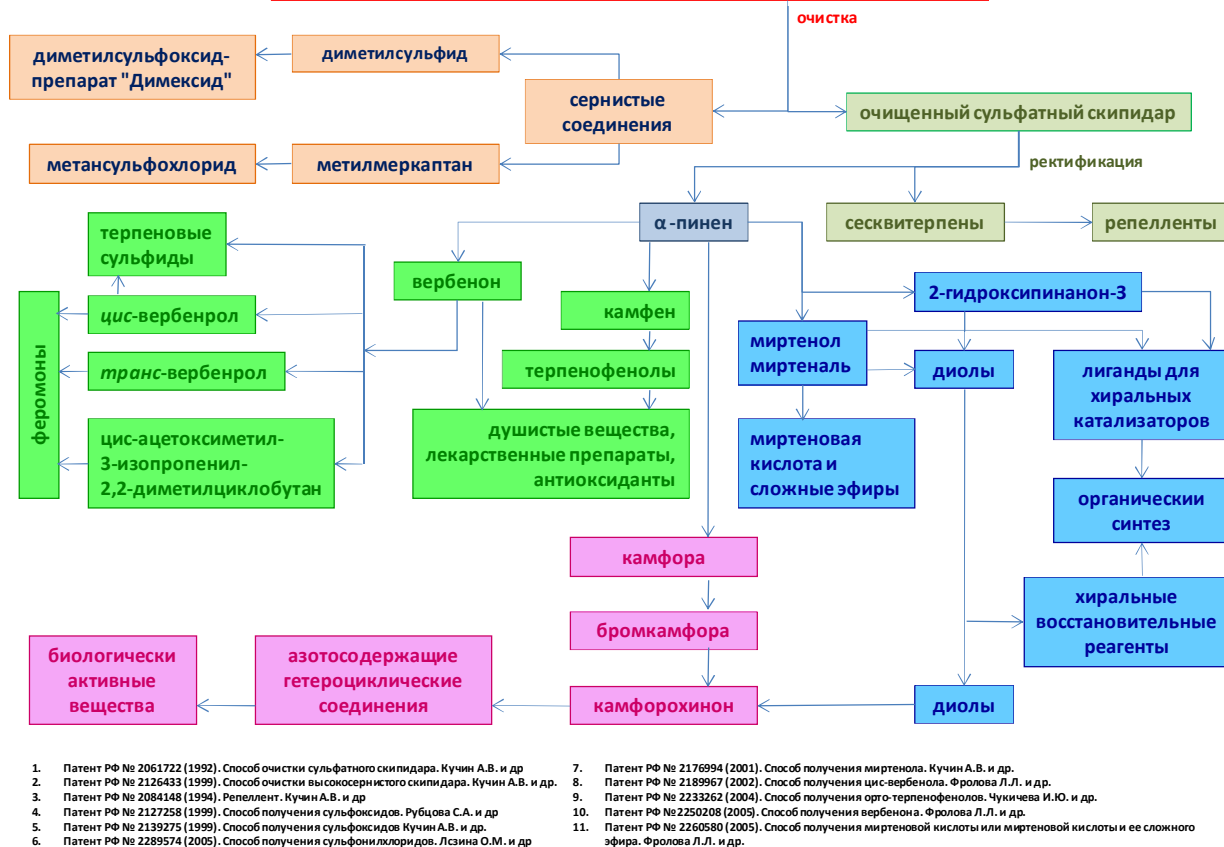
смолы, эластомеры, красители, гербициды [32-42]. Технология переработки сульфатного скипидара представлена на рис. 15.

Диметилсульфоксид – продукт селективного окисления диметилсульфида, полученного после отделения от метилмеркаптана и диметилдисульфида головной фракции ректификации сульфатного скипидара. Область применения диметилсульфоксида: селективный растворитель, компонент косметических и лекарственных средств, медицинский препарат "димексид".

Последнее десятилетие отмечается интенсивным развитием производства различных органических соединений серы. На мировом рынке химических товаров появились в больших количествах меркаптаны, сульфиды, тиофены, сульфоксиды и сульфоны. Они находят свое применение в качестве экстрагентов, растворителей, флотореагентов и исходных соединений для синтеза различных биологически активных веществ, в частности пестицидов, лекарственных препаратов, специфических пластификаторов.

Отдельно необходимо отметить, что окисление атома серы, в том числе асимметрическое, – наиболее распространенная реакция окисления в синтезе потенциальных лекарственных препаратов. Таким образом, исследования, проводимые в Институте химии Коми НЦ УрО РАН по разработке методов

Технология переработки сульфатного скипидара



1. Патент РФ № 2061722 (1992). Способ очистки сульфатного скипидара. Кучин А.В. и др.
2. Патент РФ № 2126433 (1999). Способ очистки высокосернистого скипидара. Кучин А.В. и др.
3. Патент РФ № 2084148 (1994). Репеллент. Кучин А.В. и др.
4. Патент РФ № 2127258 (1999). Способ получения сульфоксидов. Рубцова С.А. и др.
5. Патент РФ № 2139275 (1999). Способ получения сульфоксидов. Кучин А.В. и др.
6. Патент РФ № 2289574 (2005). Способ получения сульфонилов. Лазина О.М. и др.

7. Патент РФ № 2176994 (2001). Способ получения миртенала. Кучин А.В. и др.
8. Патент РФ № 2189967 (2002). Способ получения цис-вербенола. Фролова Л.Л. и др.
9. Патент РФ № 2233262 (2004). Способ получения орто-терпенофенолов. Чукичева И.Ю. и др.
10. Патент РФ № 2250208 (2005). Способ получения вербенона. Фролова Л.Л. и др.
11. Патент РФ № 2260580 (2005). Способ получения миртенной кислоты или миртенной кислоты и ее сложного эфира. Фролова Л.Л. и др.
12. Положительное решение на выдачу патента. Способ получения сульфидов из цис-вербенола. Никитина Л.Е. и др.

Рис. 15.

синтеза новых сераорганических соединений (меркаптанов, сульфидов) и их успешного хемо- и энантиоселективного окисления в соответствующие сульфоксиды и сульфоны, являются актуальными.

Литература

1. Племенков В.В. Введение в химию природных соединений. Казань, 2001. 376 с.
2. Оаэ С. Химия органических соединений серы. Пер. с яп./ Под ред. Е.Н.Прилежаевой. М.: Химия, 1975. 512 с.
3. *The chemistry of alkyl thiosulfinate esters*. 9. Antithrombotic organosulfur compounds from garlic: structural, mechanistic, and synthetic studies / E.Block, S.Ahmad, J.L.Catalfamo, M.K.Jain, R.Apitiz-Castro // J. Amer. Chem. Soc., 1986. Vol. 108. No.22. P. 7045-7055.
4. *Получение и свойства органических соединений* / Под ред. Бельского Л.И. М.: Химия, 1988. 560 с.
5. Jogia M.K., Andersen R.J., Mantus E.K., Clardy J. Dysoxysulfone, a sulfur rich metabolite from the Fijian medicinal plant *dysoxylum richii* // Tetrahedron Lett., 1989. Vol. 30. No 37. P. 4919-4920.
6. Corey E.J., Oh H., Barton A.E.. Pathways for migration and cleavage of the S-peptide unit of the leukotrienes // Tetrahedron Lett., 1982. Vol. 23. No 34. P. 3467-3470.
7. *Modulation of human 5-lipoxygenase activity by membrane lipids* / A.H.Pande, D.Moe, K.N.Nemec, S.Qin, S.Tan, S.A.Tatulian // Biochem., 2004. Vol.43. No. 46. P. 14653-14666.
8. Юнусов С.Ю. Алкалоиды / ФАН. Ташкент, 1981. 418 с.
9. *Полный синтез рацемического алкалоида диптокарпамина* / О.В.Толстикова, А.Г.Толстиков, В.С.Шмаков, В.Н.Одинокоев, С.Ф.Арипова // Химия природных соединений, 1989. №2. С. 232-236.
10. Jogia M.K., Andersen R.J., Mantus E.K., Clardy J. Dysoxysulfone, a sulfur rich metabolite from the Fijian medicinal plant *dysoxylum richii* // Tetrahedron Lett., 1989. Vol. 30. No 37. P. 4919-4920.
11. Еляков Г.Б., Стоник В.А. Морская биоорганическая химия – основа морской биотехнологии // Известия Академии наук. Серия химическая, 2003. №1. С.1-18.
12. Харлампиди Х.Э., Мустафин Х.В., Чиркунов Э.В. Интенсификация нефтедобычи. Очистка и переработка нефти // Вестник Казанского технологического университета, 1998. №1. С.76-86.
13. Большаков Г.Ф. Сераорганические соединения нефти. Новосибирск: Наука, 1986. 243 с.
14. Ляпина Н.К. Химия и физикохимия сераорганических соединений нефтяных дистиллятов. М.: Наука, 1984. 120 с.
15. Шарипов А.Х. Получение концентратов сульфоксидов и сульфонов из нефтяного сырья (обзор) // Нефтехимия, 1988. Т.28. №6. С. 723-725.
16. Беликов В.Г. Синтетические и природные лекарственные средства / Краткий справочник. М.: Высш. шк., 1993. 720 с.
17. Singh R., Singh M.P., Micetich R.G. Synthesis and in vitro antibacterial activity of sodium 6β-[2-(2-aminothiazol-4-yl)-(Z)-2-met // J. Antibiot., 1989. Vol.42. No. 4. P. 637-639.
18. Kee M.-L., Irwin B. The synthesis of sulfinyl chlorides // Organic preparations and procedures, 1970. Vol. 2. No. 3. P. 235-244.
19. Minoru U. Studies on proton pump inhibitors. II. Synthesis and antitumor activity of 8-[(2-benzimidazolyl)sulfinylmethyl-1,2,3,4]-tetrahydroquinolines // Chem. Farm. Bull., 1989. Vol.37. P. 210-212.
20. Bayer T., Wagner H., Blok E., Grisoni S. Zwiebelanes: novel biologically active 2,3-dimethyl-5,6-dithiabicyclo [2.1.1] hexane 5-oxides from onion // J. Amer. Chem. Soc., 1989. Vol.111. No. 8. P. 3085-3086.
21. Eugene L.W. A simple preparation of S-alkyl Homocysteine derivatives // Tetrahedron Lett., 1988. Vol. 29. No. 47. P. 6055-6058.
22. Yoshida T., Kito M., Tsujii M., Nagasavara T. Microbial synthesis of a proton pump inhibitor by enantioselective oxidation of a sulfide into its corresponding sulfoxide by *Cunninghamella echinulata* MK40 // Biotechnol. Lett., 2001. Vol. 23. P. 1217-1222.
23. *Microbiological and chemical methods in the asymmetric oxidation of sulfides: A comparative study for the preparation of (S)-vinyl sulfoxides* / C.Rossi, A.Fauve, M.Madesclaire, D.Roche, F.A.Davis, R.T.Reddy // Tetrahedron: Asymmetry, 1992. Vol.3. P. 629-639.
24. *Biocatalytic oxidation of S-alkylcysteine derivatives by chloroperoxidase and Beauveria species* / H.L.Holland, F.M.Brown, D.V.Johnson, A.Kerridge, B.Mayne, C.D.Turner, A.J. van Vliet // J. Mol. Catal. B: Enzym., 2002. Vol.17. No. 6. P. 249-256.
25. *Applications of catalytic asymmetric sulfide oxidations to the syntheses of biologically active sulfoxides* / J.Lergos, J.R.Dehtli, C.Bolm // Adv. Synth. Catal., 2005. Vol. 347. P. 19-31.
26. *Enantioselective Synthesis of Sulindac* / R.Maguire, S.Papot, A.Ford, S.Touhey, R.O'Connor, M.Clynes // Synlett, 2001. P. 41-44.
27. *Asymmetric Sulfoxidation of an Aryl Ethyl Sulfide: Modification of Kagan Procedure to Provide a Viable Manufacturing Process* / P.J.Hogan, P.A.Hopes, W.O.Moss, G.E.Robinson, I.Patel // Org. Process Res. Dev., 2002. Vol. 6. P. 225-229.
28. *Catalytic Asymmetric Oxidation of sulfide with titanium-mandelic acid complex: practical synthesis of (S)-3-[1-(2-methylphenyl)imidazol-2-ylsulfinyl]propan-1-ol, the key intermediate of OPC-29030* / M.Matsugi, N.Fukuda, Y.Muguruma, T.Yamaguchi, J.Minamikawa, S.Otsuka // Tetrahedron, 2001. Vol.57. P. 2739-2744.
29. Богомолов Б.Д., Соколова А.А. Побочные продукты сульфатноцеллюлозного производства. М.: Гослесбумиздат, 1962. С.341-350.
30. *Переработка сульфатного и сульфитного щелоков* / Б.Д.Богомолов, С.А.Сапотницкий, О.М.Соколов и др. М.: Лесная промышленность, 1989. 360 с.
31. *Технология органических соединений серы* / А.Х.Шарипов, В.Р.Нигматуллин, И.Р.Нигма-

- туллин, А.С.Меджибовский. М.: ООО «Издательский центр «Техинформ» МАИ», 2001. 76 с.
32. *Патент 2061722 Россия*. Способ очистки сульфатного скипидара/А.В.Кучин, Л.П.Карманова, С.А.Рубцова, Р.И.Дорошева; Заявл. 10.09.92; Оpubл. 10.06.96; Бюл. № 16.
 33. *Патент 2084148 Россия*. Репеллент/А.В.Кучин, Л.П.Карманова, С.А.Рубцова, Р.И.Дорошева, И.Н.Ишмуратов; Заявл. 04.10.94; Оpubл. 20.07.97; Бюл. № 20.
 34. *Патент 2126433 Россия*. Способ очистки высокосернистого сульфатного скипидара/А.В.Кучин, Л.П.Карманова, Г.Н.Попова, С.А.Рубцова, Г.А.Толстиков; Заявл. 28.04.98; Оpubл. 20.02.99; Бюл. № 5.
 35. *Патент 2127258 Россия*. Способ получения сульфоксидов / А.В.Кучин, Л.П.Карманова, С.А.Рубцова, И.В.Логинова; Заявл. 14.07.97; Оpubл. 10.03.99; Бюл. № 7.
 36. *Патент 2139275 Россия*. Способ получения сульфоксидов / А.В. Кучин, С.А. Рубцова, Л.П. Карманова, С.Н. Субботина, И.В. Логинова; Заявл. 29.06.98; Оpubл. 10.10.99; Бюл. № 28.
 37. *Патент 2176994 Россия*. Способ получения миртенола / А.В. Кучин, Л.Л. Фролова, И.В. Древаль, М.В. Пантелеева, И.Н. Алексеев; Заявл. 26.07.2000; Оpubл. 20.12.2001; Бюл. № 35.
 38. *Патент 2189967 Россия*. Способ получения цис-вербенола / Л.Л. Фролова, А.В. Кучин, И.В. Древаль, М.В. Пантелеева, И.Н. Алексеев; Заявл. 14.05.2001; Оpubл. 27.09.2002; Бюл. № 27.
 39. *Патент 2250208 Россия*. Способ получения вербенола / Л.Л.Фролова, А.В.Кучин, И.В.Древаль, М.В. Пантелеева, И.Н. Алексеев; Заявл.14.07.2003; Оpubл. 20.04.2005; Бюл. № 11.
 40. *Патент 2260580 Россия*. Способ получения миртеновой кислоты или миртеновой кислоты и ее сложного эфира / Л.Л.Фролова, А.В.Кучин; Заявл. 06.04.2004; Оpubл. 20.09.2005; Бюл. № 26.
 41. *Патент 2289574 Россия*. Способ получения сульфонилхлоридов / О.М. Лезина, С.А. Рубцова, А.В. Кучин; Заявл. 18.04.2005; Оpubл. 20.12.2006; Бюл. № 35.
 42. *Патент 2302407 Россия*. Способ получения тиолсульфонатов / О.М. Лезина, С.А. Рубцова, А.В. Кучин; Заявл. 05.04.2006; Оpubл. 10.07.2007; Бюл. № 19.
 43. *Селективное окисление диалкилсульфидов в диалкилсульфоксиды диоксидом хлора* / А.В.Кучин, С.А.Рубцова, Л.П.Карманова, С.Н.Субботина, И.В.Логинова // Изв. АН. Сер. хим., 1998. №10. С. 2110.
 44. *Кучин А.В., Рубцова С.А., Логинова И.В., Субботина С.Н.* Диоксид хлора – новый окислитель сульфидов и сульфоксидов // Ж. орг. химии, 2000. № 12. С. 1873-1874.
 45. *Кучин А.В., Рубцова С.А., Логинова И.В.* Реакции диоксида хлора с органическими соединениями. Хемоселективное окисление сульфидов в сульфоксиды диоксидом хлора // Изв. АН. Сер. хим., 2001. № 3. С. 813-816.
 46. *Окисление γ -кетосульфидов* диоксидом хлора/ И.В.Логинова, Е.В.Ашихмина, С.А.Рубцова, Ю.В.Крымская, А.В.Кучин // Ж. орг. химии, 2008. Т. 44. № 12. С. 1799-1801.
 47. *Логинова И.В., Рубцова С.А., Кучин А.В.* Окисление метионина и производных цистеина диоксидом хлора до сульфоксидов // Химия природных соединений, 2008. №6. С. 608-610.
 48. *Асимметрическое окисление дитиолана ментона* / А.В.Тимшина, С.А.Рубцова, М.И.Кодесс, Е.Г.Маточкина, П.А.Слепухин, А.В.Кучин // Ж. орг. химии, 2008. Т. 44. № 7. С. 1053-1058.
 49. *Окисление оксотиолана ментона* / А.В.Тимшина, С.А.Рубцова, И.Н.Алексеев, М.И.Кодесс, Е.Г.Маточкина, П.А.Слепухин, А.В.Кучин // Химия природных соединений, 2008. №6. С. 588-590.
 50. *Асимметрическое окисление дитиолана вербенона* / А.В.Тимшина С.А.Рубцова, Л.Л.Фролова, И.Н.Алексеев, П.А.Слепухин, А.В.Кучин // Ж. орг. химии, 2009. Т. 45. № 4. С. 595-600.
 51. *Окисление этилендитиоацеталя камфоры* / А.В.Тимшина, С.А.Рубцова, И.Н.Алексеев, П.А.Слепухин, А.В.Кучин // Ж. орг. химии, 2010. Т. 46. № 3. С. 370-374.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 581.12:576.311.347

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ПУТЬ ДЫХАНИЯ В РАСТЕНИЯХ: РЕГУЛЯЦИЯ И ФУНКЦИИ*

Е.В. ГАРМАШ

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

Представлены и обсуждены данные по функционированию электрон-транспортной цепи (ЭТЦ) растительных митохондрий. Сформулированы ключевые вопросы изучения энергетически малоэффективного альтернативного (цианидрезистентного) пути дыхания (АП) в поддержании дыхательного метаболизма углерода, окислительно-восстановительного баланса в ЭТЦ, контроле накопления активных форм кислорода в норме и при стрессе. На основе собственных экспериментальных данных показано, что дыхание и соотношение дыхательных путей в растениях варьирует в зависимости от объекта, его функционального состояния, силы и продолжительности действия факторов среды. Сделан вывод о том, что вовлечение АП расширяет адаптивные возможности растительного организма, способствует поддержанию роста и защите от стресса. Обсуждены механизмы регуляции дыхания и возможное участие АП в процессах апоптоза и поддержании взаимосвязи фотосинтеза и дыхания. Определены перспективы развития дальнейших исследований.

Ключевые слова: растительные митохондрии – дыхательная цепь – альтернативное дыхание – альтернативная оксидаза – регуляция – рост – стресс

E.V.GARMASH. THE ALTERNATIVE RESPIRATION PATHWAY IN PLANTS: REGULATION AND FUNCTIONS

Information on functioning of plant mitochondria electron-transport chain is presented and discussed. Crucial problems of studying a wasteful alternative (cyanide-resistant) respiratory pathways (AP) for maintenance a respiratory carbon metabolism, redox balance during mitochondrial electron transport, and alleviating formation of reactive oxygen species under normal growth conditions and stress are formulated. Our experimental data show that respiration and respiratory pathways ratio depends on plant material, its functional state, intensity and period of environmental factors impact. It is concluded that AP engagement expands adaptive possibilities of plant, contributes to growth maintenance and protection against stress. Mechanisms of a possible AP participation in apoptosis and in regulation of photosynthesis and respiration relationship are discussed. The outlook for the further investigation of alternative respiration is shown.

Key words: plant mitochondria – electron transport chain – alternative oxidase – regulation – growth – stress

Дыхание – универсальный процесс и фундаментальная основа жизни любой живой клетки. Ежедневно растения окисляют в дыхании от 30 до 70% ассимилированного при фотосинтезе углерода. Интермедиаты и энергия, извлекаемая в процессе дыхания, необходимы для синтеза *de novo* и поддержания целостности и функциональной активности клеточных структур, специализированных тканей и органов растительного организма. Дыхание – это показатель функциональной стойкости растений и равноправный фотосинтезу элемент про-

дукционного процесса. Дыхание выступает как механизм, ускоряющий эволюцию. Известно, что окисление ДНК образуемыми в процессе дыхания активными формами кислорода представляет собой важнейший инструмент природного мутагенеза [1]. Поэтому проблема дыхания с научных позиций привлекает исследователей уже около двух столетий.

В лаборатории экологической физиологии растений Института биологии Коми НЦ УрО РАН исследования дыхания растений ведутся более 30 лет. Сформулированы и разработаны фундаментальные вопросы физиологии дыхания растений [2]. В настоящее время в рамках исследования механизмов регуляции дыхания растений уделяется

* По материалам доклада на Общем собрании Коми НЦ УрО РАН 2010 г.

особое внимание изучению дыхательных путей в растительной клетке в норме и при стрессе.

Дыхание – это поэтапный компартиментированный процесс. Первые этапы дыхания протекают в цитоплазме, а основной продукт гликолиза – пировуат – диффундирует в специализированные дыхательные органеллы – митохондрии, где подвергается окислительному декарбоксилированию в цикле трикарбоновых кислот (ЦТК). В реакциях цикла образуются соединения с высоким восстановительным потенциалом – пиридиннуклеотиды НАДН и ФАДН₂. На заключительном этапе восстановительные эквиваленты окисляются с образованием энергии в ЭТЦ, локализованной во внутренней мембране митохондрий.

Основная ЭТЦ состоит из четырех трансмембранных белковых мультиферментных комплексов, двух небольших по молекулярной массе лабильных компонентов – убихинона и цитохрома с, выполняющих функцию переносчиков электронов между комплексами, и АТФ-синтазы. Перенос пары электронов по основному цитохромному пути (ЦП) от НАДН к кислороду с последующим синтезом трех молекул АТФ является универсальным для животных и растений.

Дыхательная цепь растений сложнее и пластичнее в функциональном плане, чем животных (рис. 1). Главной уникальной особенностью митохондрий высших растений, а также многих водорослей, мхов, папоротников и некоторых грибов является способность переноса электронов с пула убихинона на О₂ через альтернативную оксидазу [3]. Этот путь устойчив к действию цианида, поэтому он назван цианидустойчивым (альтернативным).

Альтернативная оксидаза (АОХ) – убихинол-кислород-оксидоредуктаза – это низкомолекулярный белок (32 кДа), представляет собой один полипептид. АОХ выделена и идентифицирована более 20 лет назад [4]. Синтез белка кодируется ядерны-

ми генами – Aox [5]. В мембране АОХ существует как мономер и димер. Активация фермента связана с восстановлением дисульфидной связи в сульфгидрильную [6].

Электронный транспорт по АП не связан с двумя участками генерации мембранного потенциала (комплексы III и IV). Лишь при окислении эндогенного НАДН градиент протонов может устанавливаться в комплексе I. Поэтому АП запасает мало энергии, большая часть рассеивается в виде тепла. Другими словами, альтернативный путь транспорта электронов снижает энергетическую эффективность дыхания, как минимум, на 60%. Тогда зачем растениям нужен этот путь?

Есть мнение, что альтернативное дыхание – это возникший в процессе эволюции растений способ поддержания дыхания в присутствии цианида. Многие растения (около 2500 видов) содержат цианогенные гликозиды, распад которых сопровождается образованием синильной кислоты и цианидов. Биологическая роль этих соединений может быть защитной, направленной против фитопатогенов или травоядных животных. Однако это не объясняет, почему АОХ есть у всех растений и какую роль она выполняет в клетке.

Хорошо известно, что АП участвует в термогенезе тканей цветка некоторых ароидных. Нагревание термогенных тканей облегчает испарение соединений, привлекающих насекомых-опылителей. Благодаря этому феномену, описанному еще Ламарком в XVIII в., в 30-х гг. XX в. было открыто цианидрезистентное дыхание (Okunuki, 1932, 1939; Van Herk, 1937, цит. по [7]). С тех пор минул почти век, но вопрос о механизмах регуляции и физиологической роли АП в нетермогенных тканях до сих пор остается открытым [3, 8, 9, 10].

Значительный вклад в развитие представлений об активации различных оксидаз и смены дыхательных путей в зависимости от интенсивности и

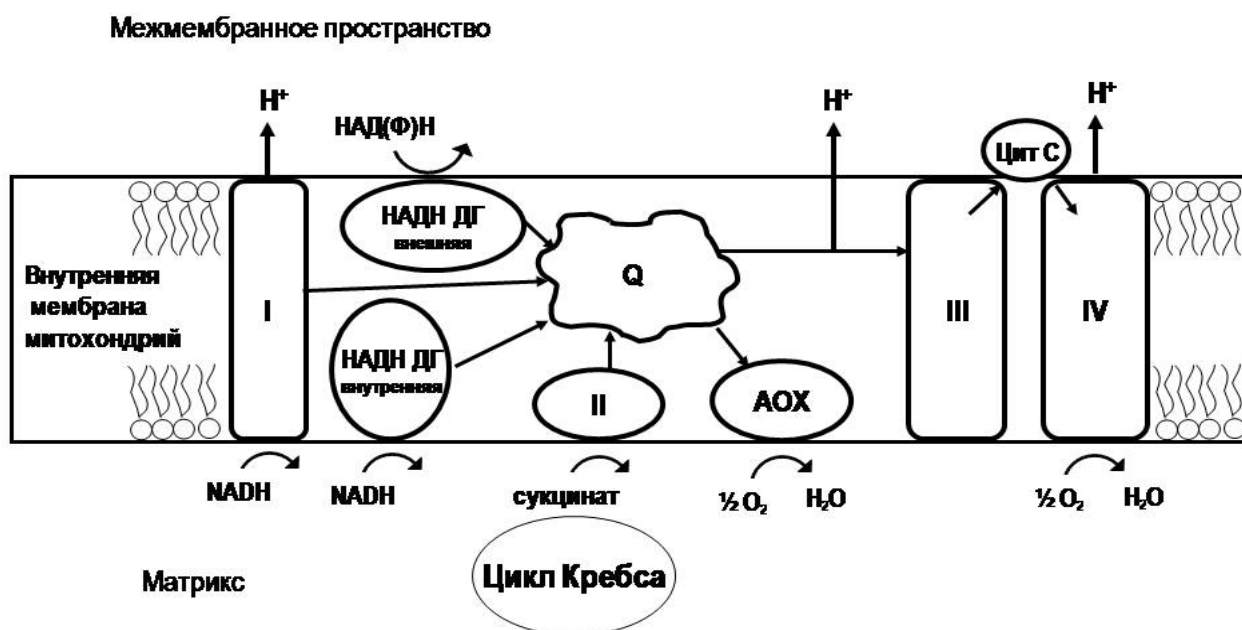


Рис. 1. Цепь переноса электронов во внутренней мембране растительных митохондрий. Объяснения см. в тексте.

направленности процессов метаболизма, а также биологического состояния растения, внесла О.А. Семихатова. Она впервые обратила внимание на то, что в листьях разного возраста функционируют разные дыхательные системы [11]. Основную роль в дыхании молодых листьев играет цитохромоксидаза, а в зрелых – цианидустойчивая система, природа которой в то время была неизвестна [11].

Объяснение роли АП в нетермогенных тканях предложено в 1982 г. голландским ученым Н. Lambers [12]. Согласно сформулированной им гипотезе «сверхпотока» («energy overflow») при насыщении цитохромного пути АП работает как «выхлопной клапан», через который «сжигается» избыток углеводов, который клетка не в состоянии эффективно использовать. Однако позже Lambers и его коллеги установили, что цитохромный и альтернативный пути дыхания конкурируют за электроны [13]. Поэтому гипотеза «сверхпотока» несколько трансформировалась. Считается, что АД участвует в поддержании баланса между углеводным метаболизмом и скоростью электронного транспорта, а именно в снижении высокого соотношения АТФ/АДФ за счет быстрого окисления НАДН без образования АТФ. При этом цикл Кребса продолжает функционировать. Такая ситуация может быть целесообразна для растений в период активного роста, когда они больше нуждаются в метаболитах для синтезов *de novo*, чем в АТФ. Нами показано, что скорость дыхания и подавление дыхания в присутствии специфического ингибитора АОХ были выше в корнях и листьях быстро растущих растений ячменя, чем у растений с низкой скоростью роста (рис. 2).

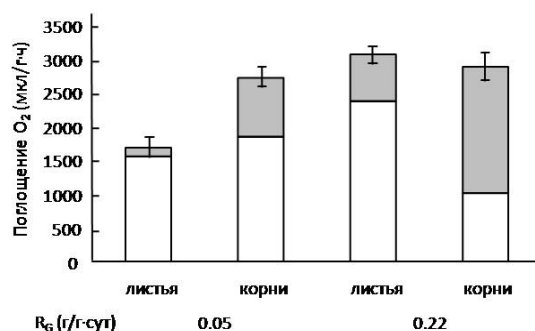


Рис. 2. Соотношение дыхательных путей в медленно- и быстрорастущих растениях ячменя (*Hordeum distichum* L., с. Андрей). R_G – относительная скорость роста, – SHAM-чувствительное (альтернативное) дыхание.

Другая функция АП связана с защитой клетки от окислительного стресса. Митохондрии являются местом образования активных форм кислорода (АФК), в частности супероксидрадикала и H_2O_2 , чему способствуют торможение электронного транспорта и «перевосстановление» цепи. Активация АОХ приводит к снижению степени восстановленности пула убихинонов за счет быстрого сброса электронов на кислород с образованием воды [14]. Прямым доказательством этой функции АП явились данные по накоплению АФК в тканях трансгенных растений табака с пониженным содержа-

ем АОХ, в присутствии ингибиторов ЭТЦ [14]. Показано, что АОХ участвует в стабилизации пула убихинонов (Q/Q_1) *in vivo* [10]. Убедительным также является тот факт, что H_2O_2 – вторичный мессенджер в сигнальном каскаде, приводящем к экспрессии гена *Aox1* [3].

Стимуляцию АП наблюдали при действии неблагоприятных факторов среды, которые могут вызывать окислительный стресс в клетке. Показано, что активность АП и количество белка АОХ возрастали при засухе, внедрении патогена [15], дефиците элементов минерального питания [16-18], низких положительных температурах [19-21]. В других работах не выявлено активации АОХ в ответ на действие факторов, в частности, низкой температуры [8, 21, 22]. Проанализировав литературу, мы предположили, что степень вовлечения АП и его физиологическая роль в ответ на изменение факторов зависят, в первую очередь, от силы и продолжительности действия фактора, устойчивости организма и его функционального состояния.

Нами проведены эксперименты с холодостойкими сортами ячменя (*Hordeum distichum* L., с. Андрей, Новичок), длительно адаптированными к двум температурным режимам выращивания – 13/8°C и 21/17°C (день/ночь). Эти температуры ограничивают зону температурного оптимума роста данных сортов [23]. При пониженной температуре дыхание органов растений не проявляло чувствительности к ингибитору АОХ (рис. 3). Следовательно, можно полагать, что дыхание осуществлялось в основном по ЦП, без заметного участия АП. Повидимому, отсутствие чувствительности к ингибитору АОХ у холодостойкого сорта ячменя, выращи-

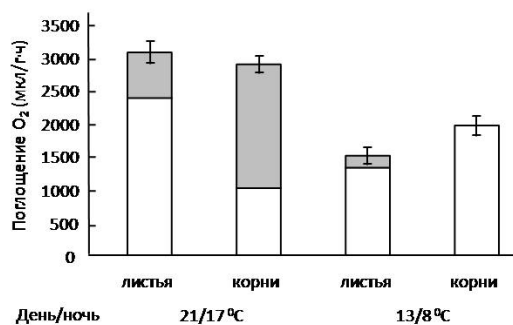


Рис. 3. Влияние температурного режима выращивания (день/ночь) на соотношение дыхательных путей в растениях ячменя (*Hordeum distichum* L., с. Андрей). Обозначения как на рис. 2.

ваемого при более низкой (но в пределах температурного оптимума роста) температуре, обусловлено необходимостью сохранения максимальной энергетической эффективности дыхания для поддержания процессов жизнедеятельности. Это согласуется с современными представлениями о том, что регуляция энергетического метаболизма клетки направлена на избежание вовлечения АП [24].

В другом эксперименте изучали влияние кадия на соотношение дыхательных путей в органах ячменя (*Hordeum distichum* L., сорт Новичок) при этих же температурных режимах [25]. Показано,

что корни обработанных кадмием растений проявляли чувствительность к ингибитору АОХ – SHAM (рис. 4). Увеличение доли АП происходило на фоне повышения концентрации малонового диальдегида – продукта перекисидации липидов – свидетельствующем об окислительном стрессе. Известно, что АОХ препятствует генерации АФК в ЭТЦ митохондрий за счет быстрого сброса электронов на кислород и снижения степени восстановленности пула убихинонов [3, 10, 19]. Значительное повышение доли АП (40% от общего дыхания) при низкой концентрации Cd (30 мкмоль/л) в корнях растений в условиях температурного режима 21/17° С, когда скорость общего дыхания еще достаточно высока, по-видимому, обусловлено необходимостью поддержания интенсивной работы ЦТК. Органические кислоты ЦТК способны связывать ТМ с последующей изоляцией в вакуоли [26]. Этот механизм мог активироваться и при сильном кадмиевом стрессе (100 мкмоль/л) в условиях более низкой температуры. Таким образом, активация АП является одним из механизмов поддержания гомеостаза подверженных стрессу кадмием клеток корней.

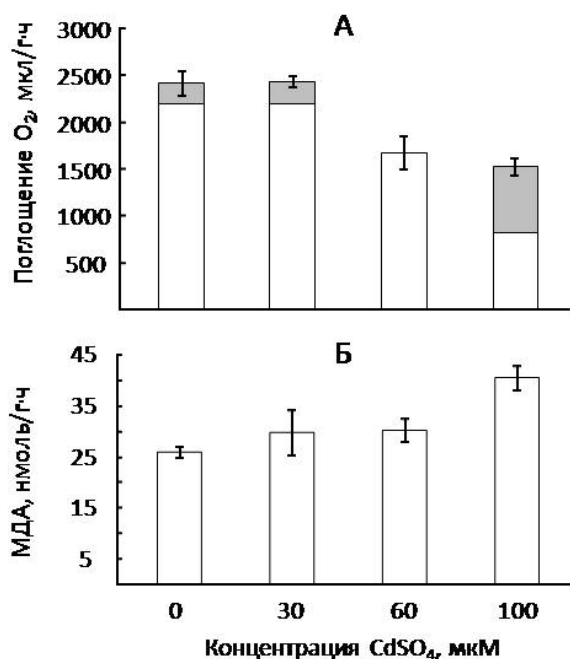


Рис. 4. Влияние кадмия на соотношение дыхательных путей (А) и активность ПОЛ (Б) в корнях ячменя (*Hordeum distichum* L., с. Новичок) при пониженной температуре выращивания (день/ночь – 13/8 °С). Обозначения как на рис. 2.

Необходимо также назвать еще одну возможную причину усиления дыхания по АП в варианте с высокой концентрацией кадмия и пониженной температурой. На фоне остановки роста и частичной гибели растений вовлечение АОХ могло быть вызвано процессом вынужденной гибели клеток. Согласно современным данным митохондрии – главные участники апоптоза, сигнальными молекулами которого являются АФК [27]. Повышение АФК в клетке ведет к формированию специальных пор в мембране митохондрий и выходу цит с. Возможно, что на начальном этапе, когда цитохромный путь ограничен, АОХ поддерживает митохондриальное

дыхание, снижая уровень АФК и препятствуя активации программируемой смерти клетки [27, 28]. Поэтому АОХ называют антиапоптотическим белком (antiapoptotic protein) [27, 29].

В зеленых тканях растений фотосинтез и дыхание протекают в одной клетке. Однако долгое время эти процессы изучались автономно, и вопрос об их взаимодействии в фотосинтезирующей клетке остается до сих пор наименее изученным. Согласно современным данным на свету между хлоропластами и митохондриями идет активный обмен метаболитами. Дыхательные ферменты, в том числе альтернативные дегидрогеназы и АОХ в митохондриальной ЭТЦ, участвуют в окислении восстановительных эквивалентов, поступающих из цитозоля или хлоропластов в митохондрии при их близком контакте [30]. Это один из способов защиты клетки от фотоокисления.

Нами исследовано вовлечение АП в дыхание листа пшеницы в процессе его зеленения [31]. Зеленение – процесс образования хлорофилла. В этилированных проростках дыхание осуществлялось, главным образом, по цитохромному пути (рис. 5).

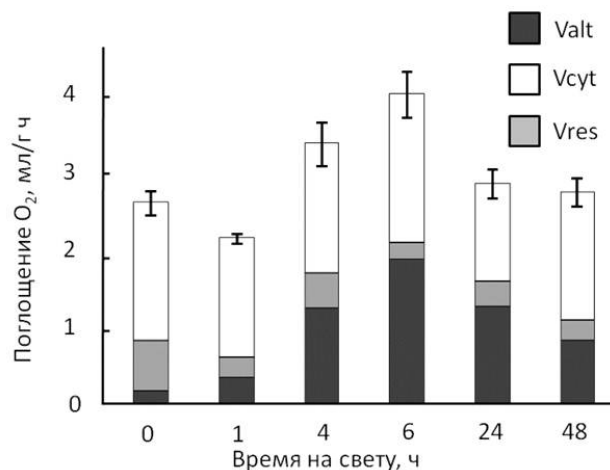


Рис. 5. Дыхание листьев пшеницы (*Triticum aestivum* L., с. Иргина) в процессе зеленения. ■ – V_{alt}, □ – V_{cyt}, ▒ – V_{res} – активность альтернативного, цитохромного и остаточного дыхания, соответственно.

Свет индуцировал вовлечение АП, доля которого в течение суток после начала освещения возрастала до 50% от общего дыхания. В этот же период зеленение сопровождалось увеличением пространственной зависимости расположения митохондрий в зоне нахождения хлоропластов, что указывает на наличие обмена метаболитами между органеллами [31]. Эксперимент показывает, что митохондрии играют важную роль в формировании фотосинтетического аппарата, а АП может участвовать в поддержании взаимосвязи фотосинтеза и дыхания.

Таким образом, энергетически малоэффективный АП является специфическим механизмом, поддерживающим клеточный гомеостаз и функционирование растений в различных условиях среды. Вовлечение АП расширяет адаптивные возможности растительного организма, способствует поддержанию роста и защите от стресса. Убедительными являются данные об участии АОХ в термогенезе специализированных тканей цветка ароидных,

поддержании окислительно-восстановительного баланса в ЭТЦ митохондрий и препятствии формирования АФК, особенно в условиях стресса. В настоящее время наиболее сильно развиваются исследования о связи альтернативного дыхания с ростом, процессом апоптоза, генерацией тепла в «нотермогенных» тканях растений при гипотермии, защитой от фотоокисления и др. Спорными остаются вопросы регуляции активности и вовлечения АОХ *in vivo*. Мы обратили внимание на то, что дыхание и соотношение дыхательных путей в растениях варьируют в зависимости от объекта, его функционального состояния, продолжительности и силы действия внешних факторов, устойчивости к ним растительного организма. Идея multifunctionality АП нашла подтверждение в наших экспериментах.

Необходимо отметить, что исследование альтернативного пути дыхания вышло из рамок только фундаментальной проблемы. Показатели дыхания и соотношения дыхательных путей могут быть использованы для выявления реакции растений в ответ на изменение условий среды (глобальное потепление, увеличение CO₂ в атмосфере). Показано усиление активности АП в листьях *Arabidopsis thaliana*, селекционированных для роста в условиях повышенной концентрации CO₂ [32]. В экспериментах, направленных на борьбу с митохондриальными болезнями человека, показано, что ген АОХ может быть успешно введен в человеческие клетки почки и фибробласты. Мутантные клетки проявляли толерантность к дефициту цитохромоксидазы [33].

В заключение следует сказать, что вопросы регуляции активности и вовлечения альтернативного дыхания находятся в настоящее время в центре особенного внимания экспериментальных биологов, особенно за рубежом (*Physiologia plantarum*, Vol. 129, 2007; Vol. 137, 2009). Интенсивное получение сведений о функционировании этого уникального пути в растениях, с одной стороны, приближает нас к разгадке вопроса о причинах активации альтернативной оксидазы *in vitro*, *in vivo*, *in situ*, с другой — ставит перед исследователями много новых задач. Зная законы регуляции соотношения дыхательных путей, можно контролировать (на молекулярно-генетическом уровне) жизнедеятельность не только, как оказалось, растений, но и человека. Надеемся, что мы внесем свою лепту в поток этой важной информации.

Автор признательна своему научному руководителю профессору Т.К. Головки, вдохновившей на изучение этой проблемы, а также за ценные советы при обсуждении работы.

Литература

1. Скулачев В.П. Эволюция, митохондрии и кислород // Соросовский образовательный журнал, 1999. № 9. С. 1-7.
2. Головки Т.К. Дыхание растений (физиологические аспекты). С-Пб.: Наука, 1999. 204 с.
3. Vanlerberghe G.C., McIntosh L. Alternative oxidase: from gene to function // Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol., 1997. Vol. 48. P. 703-734.
4. Elthon T.E., McIntosh L. Characterization and solubilization of the alternative oxidase of *Sauromatum guttatum* mitochondria // Plant Physiol., 1986. Vol. 82. P. 1-6.
5. Whelan J., Millar A.H., Day D.A. The alternative oxidase is encoded in a multigene family in soybean // Planta, 1996. Vol. 198. P. 197-201.
6. Umbach A.L., Siedow J.N. Covalent and noncovalent dimers of the cyanide-resistant alternative oxidase protein in higher plant mitochondria and their relationship to enzyme activity // Plant Physiol., 1993. Vol. 103. P. 845-854.
7. Meeuse B.J.D. Thermogenic respiration in aroids // Annu. Rev. Plant Physiol., 1975. Vol. 26. P. 117-126.
8. Головки Т.К., Пыстина Н.В. Альтернативный путь дыхания в листьях *Rhodiola rosea* L. и *Ajuga reptans* L.: возможная физиологическая роль // Физиология растений, 2001. Т. 48. С. 846-853.
9. Шугаев А.Г. Альтернативная CN-резистентная оксидаза митохондрий растений: структурная организация, механизмы регуляции активности, возможная физиологическая роль // Физиология растений, 1999. Т. 46. С. 307-320.
10. Millenaar F.F., Lambers H. The alternative oxidase: *in vivo* regulation and function // Plant Biol., 2003. Vol. 5. P. 2-15.
11. Семухатова О.А. Смена дыхательных систем. Л.: Изд-во «Наука», 1969. 128 с.
12. Lambers H. Cyanide-resistant respiration: a non-phosphorylating electron transport pathway acting as an energy overflow // Physiol. Plant., 1982. Vol. 55. P. 478-485.
13. The cyanide-resistant oxidase: to inhibit or not inhibit, that is the question / D.A. Day, K. Krab, H. Lambers, A.L. Moore, J.N. Siedow, A.M. Wagner, J.T. Wiskich // Plant Physiol., 1996. Vol. 110. P. 1-2.
14. Maxwell D.P., Wang Y., McIntosh L. The alternative oxidase lowers mitochondrial reactive oxygen production in plant cells // Proc. Nat. Acad. Sci. USA., 1999. Vol. 96. P. 8271-8276.
15. Maxwell D.P., Nickels R., McIntosh L. Evidence of mitochondrial involvement in the transduction of signals required for the induction of genes associated with pathogen attack and senescence // Plant J., 2002. Vol. 29. P. 269-279.
16. Рахманкулова З.Ф., Федяев В.В., Подашевка О.А., Усманов И.Ю. Альтернативные пути дыхания и вторичный метаболизм у растений с разными типами адаптивных «стратегий» при дефиците элементов минерального питания // Физиология растений, 2003. Т. 50. С. 231-237.
17. Energy metabolism of *Plantago lanceolata* as dependent on the supply of mineral nutrients / H. Lambers, F. Posthumus, I. Stulen, L. Lanting, S. van de Dijk, R. Hofstra // Physiol. Plant., 1981. Vol. 51. P. 85-92.
18. The role of alternative oxidase in modulating carbon use efficiency and growth during macronutrient stress in tobacco cells / S.M. Sieger, B.K. Kristensen, C.A. Robson, S. Amirsa-deghi, E.W. Eng, A. Abdel-Mesih, I.M. Moller, G.C. Vanlerberghe // J. Exp. Bot., 2005. Vol. 56. P. 1499-1515.

19. Fiorani F., Umbach A.L., Siedow J.N. The Alternative oxidase of plant mitochondria is involved in the acclimation of shoot growth at low temperature. A study of *Arabidopsis* AOX1a transgenic plants // *Plant Physiol.*, 2005. Vol. 139. P. 179-180.
20. The distribution of electron transport between the main cytochrome and alternative pathways in plant mitochondria during short-term cold stress and cold hardening / O.I.Grabelnych, O.N.Sumina, S.P.Funderat, T.P.Pobezhimova, V.K.Voinikov, A.V. Kolesnichenko // *J. Thermal Biol.*, 2004. Vol. 29. P. 165-175.
21. The electron partitioning between the cytochrome and alternative respiratory pathways during chilling recovery in two cultivars of maize differing in chilling sensitivity / M.Ribas-Carbo, R.Aroca, M.A.Gonzalez-Meler, J.J.Irigoyen, M.Sanchez-Diaz// *Plant Physiol.*, 2000. Vol. 122. P. 199-204.
22. Иванова Т.И., Курпичникова О.В., Шерстнева О.А., Юдина О.С. Годичный цикл дыхания листьев вечнозеленых растений // *Физиология растений*, 1998. Т.45. С. 906-913.
23. Головки Т.К., Родина Н.А., Куренкова С.В., Табаленкова Г.Н. Ячмень на Севере (селекционно-генетические и физиолого-биохимические основы продуктивности). Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 186 с.
24. Priault P., Vidal G., De Paepe R., Ribas-Carbo M. Leaf age-related changes in respiratory pathways are dependent on complex I activity in *Nicotiana sylvestris* // *Physiol. Plant.*, 2007. Vol. 129. P. 152-162.
25. Гармаш Е.В., Головки Т.К. Влияние кадмия на рост и дыхание ячменя при двух температурных режимах выращивания // *Физиология растений*, 2009. Т. 56. С. 382-387.
26. Löscher R., Köhl K.J. Plant respiration under the influence of heavy metals // *Heavy metal stress in plants. From molecules to ecosystem* / Eds Prasad M.N.V., Hagemeyer J. Berlin: Springer-Verlag, 1999. P. 139-156.
27. Plant mitochondrial pathway leading to programmed cell death / A.Vianello, M.Zancani, C.Peresson, E.Petrussa, V.Casolo, J.Krajnackova, S.Patui, E.Braidot, F.Macri // *Physiol. Plant.*, 2007. Vol. 129. P. 242-252.
28. Vanlerberghe G.C., Robson C.A., Yip J.Y.H. Induction of mitochondrial alternative oxidase in response to a cell signal pathway downregulating the cytochrome pathway prevents programmed cell death // *Plant Physiol.*, 2002. Vol. 129. P. 1829-1842.
29. Marechal E., Baldan B. Dual role of plant mitochondria in promoting PCD or cell survival// *Trends Plant Sci.*, 2002. Vol. 7. P. 525-526.
30. Noguchi K., Yoshida K. Interaction between photosynthesis and respiration in illuminated leaves // *Mitochondrion*, 2008. Vol.8. P. 87-99.
31. Atkin O.K., Macherel D. The crucial role of plant mitochondria in orchestrating drought tolerance // *Annals of Botany*, 2009. Vol.103. P. 581-597.
32. Engagement of alternative respiration in spring wheat seedlings during greening/ E.V.Garmash, J.Kozlova, S.Plyusnina, R.Malyshov, Y.Yatsko, T.Golovko // *Acta Biologica Cracoviensia*, 2009. Vol.51. Suppl. 2. Abstracts of the 4th Conference of Polish Society of Experimental Plant Biology (Cracow, Poland, 21-25 September 2009). P. 43.
33. Plastic and adaptive responses of plant respiration to changes in atmospheric CO₂ concentration / M.A.Gonzalez-Meler, E.Blanc-Betes, C.E.Flower, J.K.Ward, N.Gomez-Casanovas // *Physiol. Plant.*, 2009. Vol. 137. P. 473-484.
34. The alternative oxidase, a tool for compensating cytochrome c oxidase deficiency in human cells / E.P.Dassa, E.Dufour, S.Goncalves, H.T.Jacobs, P.Rustin // *Physiol. Plant.*, 2009. Vol. 137. P. 427-434.

ТРОФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЗООПЛАНКТОНА МАЛЫХ ПОЙМЕННЫХ ОЗЕР БАСЕЙНА р.ВЫЧЕГДА

О.Н. КОНОНОВА

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

В течение вегетационных сезонов 2003-2005 гг. изучена трофическая структура зоопланктона в четырех малых пойменных озерах бассейна среднего течения р. Вычегда. Показано, что трофическая сеть в водоемах в период исследований была хорошо развита и соответствовала водоемам с высоким уровнем трофности, в трансформации энергии в планктоне принимали участие как низшие раки, так и коловратки. Составлено графическое изображение трофической сети зоопланктона озер.

Ключевые слова: пищевые цепи, малые озера, трофность

O.N. KONONOVA. TROPHIC STRUCTURE OF THE ZOOPLANKTON OF THE SMALL FLOODPLAIN LAKES OF THE VYCHEGDA RIVER BASIN

Trophic structure of the zooplankton in the four small floodplain lakes of the middle stream of the Vychegda River Basin during vegetative seasons of 2003-2005 was investigated. It is shown, that the trophic net in lakes during researches was well formed and was typical of lakes with a high level trophic. Transformation of energy in plankton communities occurs due to crustaceans and rotifers. The graphical trophic web model of zooplankton of the lakes was constructed/

Key words: food webs, small lakes, trophic

Планктонные организмы являются значимой частью водных экосистем. Знание об их составе, структуре сообществ дает понимание многих процессов, происходящих в водоемах, в том числе и о механизмах, посредством которых регулируется поток вещества и энергии. Зоопланктон – вторичное звено в трофической цепи водных объектов. Потребляя фито- и бактериопланктон, он сам в свою очередь служит пищей для многих беспозвоночных и рыб. Через трофические связи планктонных сообществ проходит большая часть потока энергии в водных экосистемах [1], поэтому выявление закономерностей их функционирования является основой изучения экологических систем водоемов [2]. По изменениям в пищевой цепи планктонных животных можно судить о состоянии водоема, степени антропогенной нагрузки, вместе с тем такие исследования важны и для выявления закономерностей в зоогеографическом аспекте.

Цель данной работы – изучить трофическую структуру зоопланктона в наиболее распространенных в бассейне среднего течения р. Вычегда малых пойменных озерах. Исследования на данной территории были проведены нами впервые.

Материал и методы

Район исследований расположен в бассейне р. Вычегда, в наиболее густонаселенном участке, в котором сосредоточено большое количество озер (~1800) общей площадью около 90 км² [3]. Большинство из этих водоемов пойменные, преимуще-

ственно длинные и сравнительно узкие, площадь водного зеркала которых менее 0.01 км² [4]. Сбор материала проводили в 2003 – 2005 гг. на четырех озерах, расположенных в пойме рек Вычегда – оз.Важэжва (июнь-август 2004 г., июнь 2005 г.), Пезмог-ты (июнь-август 2004 г.) и Куа-ты (июнь-август 2004 г. и июнь, июль, сентябрь 2005 г.) и Сысола (приток р. Вычегда первого порядка) – оз. Еляты (июнь, август, сентябрь 2003 г., июнь-август 2004 г. и июнь-сентябрь 2005 г.). Отбор проб зоопланктона осуществляли ежемесячно, в течение вегетационных периодов на девяти станциях, расположенных в открытой части и в литорали (к литорали относили участки водоемов от уреза воды до границы зарослей с глубиной <1 м), принятыми в гидробиологии методами [5]. Сборы фиксировали 4%-ным формалином. Всего было собрано и обработано порядка 200 проб зоопланктона.

Индивидуальный вес организмов зоопланктона рассчитывали по формулам [6, 7]. Экологические и трофические группы зоопланктона выделяли по Ю.С. Чуйкову [2] и А.В. Крылову [8]. Трофическую структуру планктонных сообществ определяли по индексу однообразия пищевой структуры (ИО): $ИО = \sigma_i^2 / \sigma_{min}^2$, где σ_i^2 – величина дисперсии значений биомассы отдельных трофических группировок i -го биоценоза, σ_{min}^2 – минимальное значение дисперсии для сравниваемых биоценозов [9].

$$\sigma_i^2 = \frac{\sum \left(b - \frac{100}{n} \right)^2}{n}$$
, где b – биомасса трофической

группы в процентах от общей биомассы биоценоза; n – число трофических группировок. При построении трофических сетей исследуемых озер спектры питания зоопланктона были взяты из работы А.В. Монакова [10]. Фитопланктон и бактериопланктон отнесены к первичному звену. В трофическую группу фильтраторов включены все «мирные» коловратки и ракообразные-фильтраторы, в том числе представители подотряда Calanoida. К факультативным хищникам отнесены коловратки родов *Asplanchna*, *Synchaeta*, *Bipalpus* и веслоногие раки подотряда Cyclopoida; к облигатным хищникам – *Leptodora kindtii* (Focke) и *Polyphemus pediculus* (Linné).

Результаты и обсуждение

Исследованные озера имеют постоянную связь с водотоком посредством проток, частично зарастающих макрофитами во второй половине вегетационного сезона (кроме оз. Куа-ты, которое соединяется посредством протоки с оз. Чудо-пи). Все они имеют небольшие глубины (табл. 1), за исключением оз. Еля-ты, в котором встречаются «ямы» глубиной до 6 м. Высшая водная растительность хорошо развита. В июле-августе макрофиты тянутся полосой шириной около 2, иногда до 5-7 м вдоль берегов. Водоемы имеют смешанное питание с преобладанием снегового. По ионному составу они однотипны, относятся к гидрокарбонатно-кальциевым. Характеризуются высоким содержанием органических веществ и соединений железа.

тельно сказывающееся на минеральном режиме речных и озерных вод, несколько смягчается благодаря влиянию Тиманских притоков р. Вычегда, несущих воды повышенной минерализации. В условиях же изоляции от реки минеральное питание озер снижается, и биопродуктивность их резко падает [11].

В целом, сообщества планктонных животных озер характеризовались значительным видовым разнообразием и сложной структурой (табл. 2), а высокая насыщенность видами зоопланктоценозов в озерах свидетельствовала об их определенной зрелости и стабильности [12]. Учитывая, что озера неглубокие, выделение в них пелагической зоны весьма условно. Центральная часть их скорее соответствует нижнему поясу литорали крупных водоемов [13]. Практически все выявленные в открытой части озер виды характерны и для прибрежной части, в которой найдено порядка 90-96% всех таксонов. Разделение планктонных беспозвоночных на зоо-, фито- и бактериофагов затруднительно, так как они в большей степени специализированы по отношению к размерам и подвижности пищевых объектов, чем к их систематической принадлежности [14]. Тем не менее, в зоопланктоне различают «мирный» зоопланктон, питающийся преимущественно бактериями, водорослями и детритом, а также планктонных факультативных и облигатных хищников. Многие виды в течение жизненного цикла переходят от одного типа питания к другому, т.е. имеют смешанный тип питания, употребляя расти-

Таблица 1

Морфометрическая характеристика исследованных озер в течение вегетационного сезона

Озера	Площадь, км ²	Глубина, м	Прозрачность, м	Грунт	Макрофиты
Важэжва	0.6	0.4 - 4.0	0.2 – 0.9	песчано-илистый	<i>Carex</i> sp., <i>Nuphar lutea</i> (L.) Smith, <i>Equisetum fluviatile</i> L., <i>Sparganium</i> sp., <i>Potamogeton perfoliatus</i> L., <i>P. pectinatus</i> L.
Пезмог-ты	1.18	0.5 - 3.5	0.3 – 1.0	илистый	<i>Carex</i> sp., <i>Equisetum fluviatile</i> , <i>Nuphar lutea</i> , <i>Nymphaea</i> sp., <i>Potamogeton perfoliatus</i> , <i>P. natans</i> L., <i>Sparganium</i> sp., <i>Stratiotes aloides</i> L., <i>Lemna minor</i> L., <i>L. trisulca</i> L., <i>Hydrocharis morsus-ranae</i> L., <i>Utricularia</i> sp., <i>Cicuta virosa</i> L., <i>Sagittaria</i> sp., <i>Elodea canadensis</i> Rich.
Еля-ты	0.28	0.5 - 6.0	0.4 – 1.5	песчано-илистый	<i>Carex</i> sp., <i>Equisetum fluviatile</i> , <i>Sparganium</i> sp., <i>Nuphar lutea</i> , <i>Nymphaea</i> sp., <i>Cicuta virosa</i> L., <i>Potamogeton natans</i> , <i>P. alpinus</i> Balb., <i>Hydrocharis morsus-ranae</i> , <i>Menyanthes trifoliata</i> L., <i>Sagittaria</i> sp., <i>Sium latifolium</i> L., <i>Stratiotes aloides</i> , <i>Utricularia</i> sp., <i>Spirodela polyrrhiza</i> (L.) Schleid, <i>Lemna minor</i> , <i>Elodea canadensis</i>
Куа-ты	0.12	0.2 - 3.5	0.2 – 0.7	илистый	<i>Carex</i> sp., <i>Equisetum fluviatile</i> , <i>Comarum palustre</i> L., <i>Sparganium</i> sp., <i>Nuphar lutea</i> , <i>Potamogeton perfoliatus</i> , <i>P. natans</i> , <i>Sagittaria</i> sp., <i>Cicuta virosa</i> L., <i>Ceratophyllum demersum</i> L., <i>Polygonum amphibium</i> L.

Активная реакция вод – нейтрально-щелочная (pH 7.7 - 8.9). Условия для развития зоопланктона в них весьма благоприятные (умеренное содержание биогенных веществ, развитие высшей водной растительности, вследствие небольших глубин – достаточный прогрев воды и пр.), численность и биомасса планктонных организмов в них достигают значительных величин (табл. 2). Высокие значения развития планктона в пойменных водоемах бассейна, в отличие от таковых других рек республики, отмечала еще О.С. Зверева [11], объясняя это тем, что воздействие болотных водоразделов, отрица-

тельную и животную пищу, как, например, многие веслоногие раки [1].

В зоопланктоне исследованных малых пойменных озер как по численности, так и по биомассе преобладали организмы, добывающие пищу в толще воды (рис. 1): фильтраторы, факультативные и облигатные хищники (рис. 2). В группе крупных фильтраторов (представители ветвистоусых и веслоногих раков) доминировали первичные фильтраторы – организмы, добывающие пищу из толщи воды при помощи движения торакальных конечностей, подобно насосу, нагнетающих воду с

Таблица 2

Показатели количественного развития и видового разнообразия зоопланктона исследованных озер в течение вегетационного сезона

Озера	Средняя численность, тыс. экз./м ³	Средняя биомасса, г/м ³	Индекс Шеннона, (H _B)	Индекс Маргалефа, (d _{Mg})
Важэжва	241.5 ± 58.3	2.8 ± 0.7	1.0 – 4.3	1.1 – 3.0
Пезмог-ты	421.6 ± 290.5	3.0 ± 1.4	0.4 – 4.2	0.8 – 3.6
Еля-ты	196.4 ± 28.3	12.3 ± 4.5	0.3 – 3.9	1.3 – 3.4
Куа-ты	403.3 ± 66.4	5.2 ± 0.9	0.3 – 4.1	1.0 – 3.0

и Важэжва – род *Ceriodaphnia* (в основном за счет массового развития *Ceriodaphnia pulchella* Sars), *Sida crystallina* (O.F. Müller) и *Simocephalus vetulus* (O.F. Müller); в оз. Куа-ты и Пезмог-ты – род *Bosmina* (*B. longirostris* (O.F. Müller) и *B. longispina* Leydig), *Sida crystallina* и род *Ceriodaphnia* (*C. pulchella*) (рис. 3). Хорошо представлено звено, образованное коловратками-фильтраторами, которые способны потреблять частицы не более 10-12 мкм [10]. Среди прочих во всех озерах преобладали представители родов *Polyarthra*, *Euchlanis*, *Brachionus*, *Ke-*

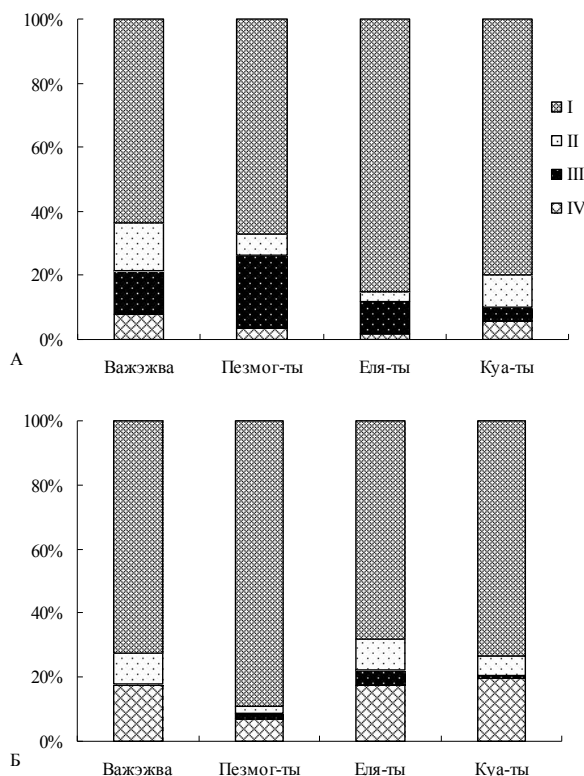


Рис. 1 Относительные биомасса (А) и численность (Б) экологических групп зоопланктона в исследованных озерах: I – организмы, добывающие пищу в толще воды, II – организмы, добывающие пищу с поверхности субстрата, III – организмы, прикрепленные к субстрату и способные к плаванию, IV – организмы, смешанные по способам питания и передвижения.

находящимися в ней частичками к ротовому отверстию. Большая часть этих животных – фитофильные виды, жизнь их тесно связана с высшими водными растениями, в зарослях которых создается благоприятная среда для обитания водных животных: большое количество пищи и естественные укрытия от хищников. Одни из зоопланктонов обитают на самих макрофитах, прикрепляясь к ним при помощи разного рода приспособлений, другие добывают пищу, плавая среди растений. Спектр питания ракообразных-фильтраторов очень широк – фитопланктон, детрит, бактерии и простейшие, размером от 3 до 30 мкм [10]. Среди них основную часть биомассы составляли представители родов *Sida*, *Daphnia*, *Ceriodaphnia* и *Bosmina*: в оз. Еля-ты

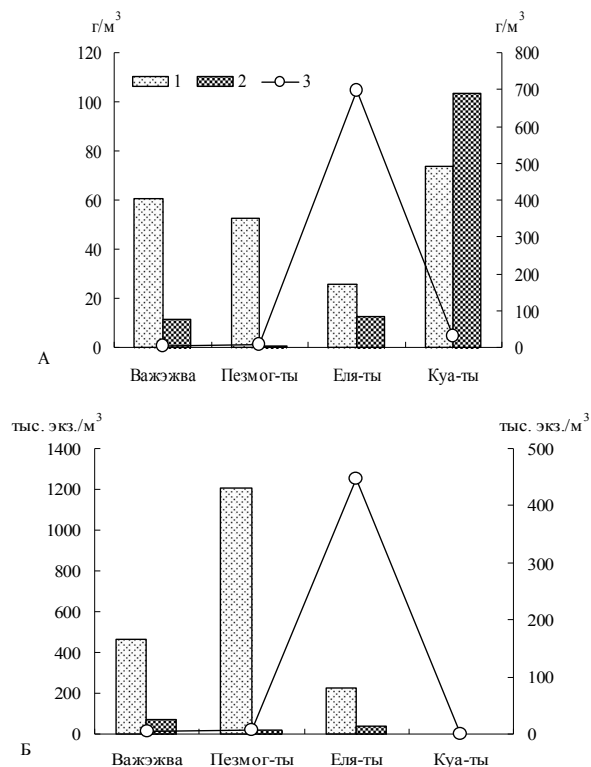


Рис. 2. Биомасса - А и численность - Б планктонных организмов, добывающих пищу в толще воды в исследованных озерах: 1 – плавание/первичная фильтрация (вертикация), 2 – плавание/фильтрация + захват, 3 – плавание/активный захват. Примечание: по оси ординат слева – показатели 1 и 2 групп, справа – 3 группы.

ratella и *Conochilus*, употребляющие в пищу бактерии, детрит и мелкие водоросли. Несмотря на весьма мелкие размеры, значение коловраток-фильтраторов в самоочищении водоемов велико, они способны отфильтровывать от десятых долей микролитра до нескольких микролитров в час в зависимости от концентрации корма [10].

В озерах отмечены как мелкие (коловратки *Bipalpus hudsoni* (Imhof) и род *Synchaeta*), так и крупные (коловратка *Asplanchna priodonta*, представители веслоногих раков родов *Cyclops*, *Megacyclops*, *Mesocyclops*, *Thermocyclops*, *Eucyclops*) факультативные хищники (рис. 3). Среди которых самой многочисленной была *A. priodonta*, способная потреблять как простейших, так и коловраток, а так-

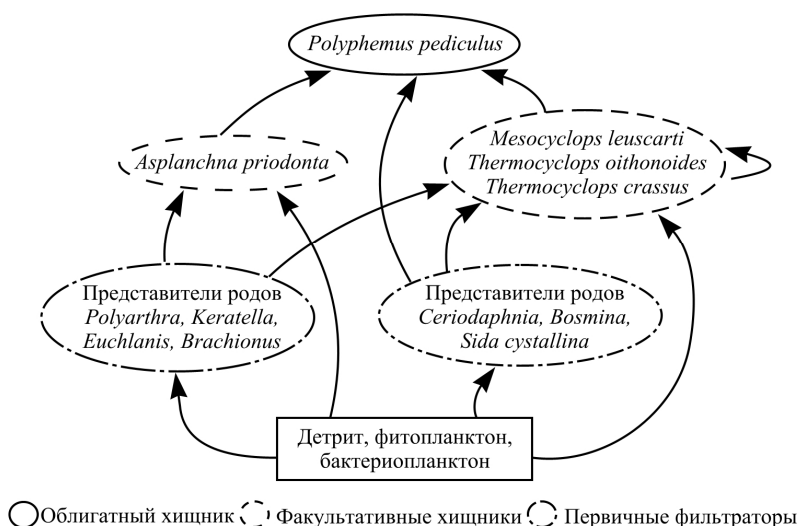


Рис. 3. Структура трофической цепи в исследованных озерах.

же ракообразных и их молодь [10]. Вместе с тем, в ее рационе часто присутствуют водоросли, особенно во второй половине вегетационного сезона. С потреблением водорослевой пищи в организме происходит накопление α -токоферола (витамин Е), воздействие которого стимулирует коловраток к гамогенезу [15].

Закрывают пищевую цепь в обследованных озерах облигатные хищники – *Polyphemus pediculus* и *Leptodora kindtii* (рис. 3). *L. kindtii* в озерах был редок и малочисленен, *P. pediculus*, напротив, – широко распространен. Взрослые животные способны потреблять добычу от 4 до 440 мкм простейших, коловраток, мелких ветвистоусых ракообразных, а иногда и личинок хирономид первого возраста [10, 16].

Для количественной оценки трофической структуры зоопланктона был рассчитан индекс однообразия пищевой структуры (рис. 4). Показано, что в оз. Еля-ты, где в течение вегетационного сезона свыше 80% общей биомассы зоопланктона составляли облигатные хищники, наблюдаются более напряженные пищевые взаимоотношения, в отличие от остальных исследованных водоемов, в которых биомасса в планктонных сообществах была распределена более равномерно между различными трофическими уровнями.

По составу трофической структуры зоопланктона можно судить о состоянии водоема и об изменениях, происходящих на акватории. Планктонные организмы реагируют на антропогенное воздействие быстрее, чем остальное население водоемов: происходит быстрая смена доминантного комплекса за счет видов, толерантных к неблагоприятному фактору, что в свою очередь влечет за собой изменения и в трофической цепи. В последнее время на территории Республики Коми многие водоемы подвержены антропогенному эвтрофированию [17]. Исследованные нами озера – высокотрофные [18], большая часть биогенных веществ попадает в них с водосборных территорий: пастбищ и сельскохозяйственных полей. Выявленная трофическая структура зоопланктона типична для эвтрофных озер [1, 19]: большая часть потока энергии в планктонных

сообществах (кроме оз. Еля-ты) проходит через второй трофический уровень. Фильтраторы, перерабатывая значимую часть поступающих в озера биогенных веществ, служат так называемым «биофильтром», способствующим очищению и поддержанию экологического баланса экосистем в целом.

Таким образом, необходимо отметить, что трофическая сеть зоопланктона в исследованных малых пойменных озерах бассейна р. Вычегда хорошо развита (нехищный планктон → факультативные хищники → облигатные хищники) и соответствует водоемам с высоким уровнем трофности. Пищевая цепь в озерах разветвленная, в трансформации энергии в зоопланктоценозах принимают учас-

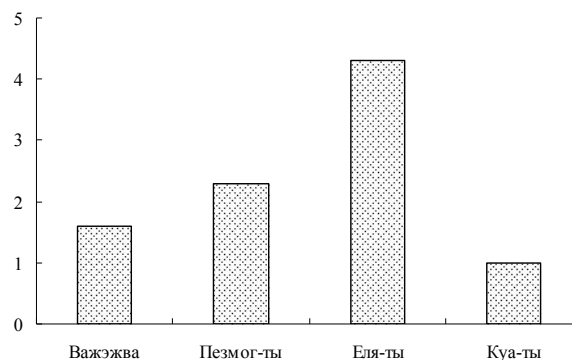


Рис. 4. Индекс однообразия пищевой структуры ($\sigma_1^2 / \sigma_{\min}^2$) в исследованных озерах. Примечание: по оси ординат – значения индекса ($\sigma_1^2 / \sigma_{\min}^2$) в целом за вегетационный сезон.

тие как низшие раки, так и коловратки. В трофической структуре преобладают организмы, добывающие пищу в толще воды, – первичные фильтраторы. Для озер Еля-ты и Куа-ты в течение сезона характерно высокое значение хищничества ($\geq 50\%$) за счет развития облигатного хищника *Polyphemus pediculus* и факультативных хищников: *Asplanchna priodonta*, рода *Synchaeta* и мелких циклопов.

Работа выполнена при поддержке проекта фундаментальных исследований совместно с организациями УрО, СО и ДВО РАН № 09-С-4-1017.

Литература

1. Андроникова И.Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб.: Наука, 1996. 189 с.
2. Чуйков Ю.С. Методы экологического анализа состава и структуры сообществ водных животных // Экология, 1981. № 3. С. 71-77.
3. Производительные силы Коми АССР. Животный мир. М.: Изд-во АН СССР, 1953. Т.3. Ч.2. 243 с.
4. Зверева О.С. Особенности биологии главных рек Коми АССР в связи с историей их формирования. Л.: Наука, 1969. 279 с.

5. Ривьер И.К. Зоопланктон и нейстон // Методика изучения биоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. С. 138-157.
6. Балушкина Е.В., Винберг Г.Г. Зависимость между длиной и массой тела планктонных ракообразных // Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озер. Л.: Зоологический институт АН СССР, 1979. С. 58-79.
7. Ruttner-Kolisko A. Suggestions for biomass calculation of plankton rotifers // Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol. Struttgart, 1977. H.8. P. 71-76.
8. Крылов А.В. Зоопланктон равнинных малых рек. М.: Наука, 2005. 263 с.
9. Несис К.Н. Некоторые вопросы пищевой структуры морского биоценоза // Океанология, 1965. Т. 5. Вып. 4. С. 701-714.
10. Монаков А.В. Питание пресноводных беспозвоночных. М.: Изд-во Россельхозакадемии, 1998. 320 с.
11. Зверева О.С. Кормовые ресурсы рыб в водоемах Коми АССР // Вопросы рыбного хозяйства на внутренних водоемах СССР. Л.: ГосНИОРХ. 1964. С. 25-31. (Изв. ГосНИОРХ, Т. 57).
12. Зимбалева Л.Н. Фитофильные беспозвоночные равнинных рек и водохранилищ (экологический очерк). Киев: Наукова думка, 1981. 216 с.
13. Лазарева В.И. Особенности экологии ветвистоусых ракообразных в ацидных озерах юга Вологодской области // Современные проблемы изучения ветвистоусых ракообразных. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. С. 100-114.
14. Чуйков Ю.С. Анализ трофической структуры планктонного сообщества // Основы изучения пресноводных экосистем. Л.: ЗИН АН СССР, 1981. С. 45-52.
15. Лазарева В.И. Сезонный цикл развития и питание хищных коловраток рода *Asplanchna* в Рыбинском водохранилище // Биология внутренних вод, 2004. №4. С. 59-68.
16. Буторина Л.Г. Наблюдения над поведением *Polyphemus pediculus* и функцией его конечностей в процессе питания // Тр. Ин-та биол. внутр. вод АН СССР, 1965. Вып. 8 (11). С. 44-53.
17. Фефилова Е.Б. Фаунистический обзор зоопланктона внутренних вод Европейского Севера-Востока // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН, 2009. №7(141). С. 18-21.
18. Фефилова Е.Б., Кононова О.Н. Сезонные изменения зоопланктона в высокотрофных малых водоемах // Известия Самарского научного центра РАН, 2010. Т. 12. № 1 (4). С. 974-979.
19. Деревенская О.Ю. Трофическая структура зоопланктона озер Среднего Поволжья // Биология внутренних вод, 2002. № 2. С. 46-50.

НОВЕЙШИЕ СВЕДЕНИЯ О ПЕКТИНОВЫХ ПОЛИСАХАРИДАХ*

Р.Г. ОВОДОВА, В.В. ГОЛОВЧЕНКО, С.В. ПОПОВ, Ю.С. ОВОДОВ

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

В данном обзоре представлена информация о пектиновых полисахаридах (пектинах), которая получена в последнее время сотрудниками Отдела молекулярной иммунологии и биотехнологии Института физиологии Коми НЦ УрО РАН и рядом других авторов, работающих по тому же направлению. Приводятся сведения о химическом строении пектиновых макромолекул, о выделении пектинов из пищевых растений в условиях, имитирующих гастральные, о физиологической активности пектинов и их фрагментов и о биотехнологическом получении пектинов с помощью каллусных (клеточных) культур.

Ключевые слова: пектины, пектиновые полисахариды, пектиновые вещества, растения, иммуномодуляторы, противовоспалительная активность, каллусные культуры, биотехнология пектинов

R.G. OVODOVA, V.V. GOLOVCHENKO, S.V. POPOV, Yu.S. OVODOV. THE MODERN INFORMATION CONCERNING PECTIC POLYSACCHARIDES

The present review is devoted to the newest information about pectic polysaccharides (pectins) obtained by scientists of the Department of Molecular Immunology and Biotechnology of the Institute of Physiology, Komi Science Centre, Ural Branch, Russian Acad. of Sci. and some other authors carrying out research in this direction. The data concerning patterns of the pectin macromolecules, isolation of pectins from nutritive plants using conditions related to gastral ones, physiological activity of pectins and their fragments, and biotechnology of pectins by aid of the callus (cellular) cultures are given.

Key words: pectins, pectin polysaccharides, pectic substances, plants, immunomodulators, anti-inflammatory activity, callus, biotechnology of pectins

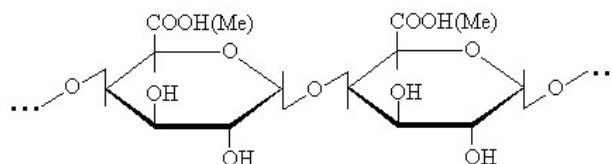
С момента выхода монографии [1], в которой даны ссылки на статьи, опубликованные до 2007 г., прошло совсем немного времени, но уже за прошедший промежуток о пектиновых полисахаридах появилось столь большое число статей, что нет возможности их процитировать полностью, в связи с чем авторы анализируют в основном результаты собственных исследований последних лет и ряд других данных, полученных в близких областях за тот же период.

Определение и общая схема строения

Пектиновые вещества входят в состав практически всех растений, являются их основными функциональными компонентами, выполняют в растениях множество различных жизненно важных функций и характеризуются широким спектром физиологической активности. Пектины, выделяемые из непивших растений, представляют основу ряда лекарственных средств и биологически активных добавок, а из пищевых растений являются важным компонентом рациона человека. Последние входят в группу так называемых «пищевых волокон» с большим сродством к организму человека, выработанным за многовековой период их потребления. Они практически не токсичны, недостаток их в ра-

ционе питания человека приводит к серьезным нарушениям в обмене веществ.

Пектиновые вещества включают нерастворимый протопектин, растворимые пектиновые полисахариды и сопутствующие им галактаны, арабианы и арабиногалактаны [1, 2]. Пектиновые полисахариды (пектины) входят в большую группу гликаногалактуронанов – кислых растительных полисахаридов, главную углеводную цепь которых составляют 1,4-связанные остатки α -D-галактопиранозилуруновой кислоты [2]:



где Me – метил или ион металла.

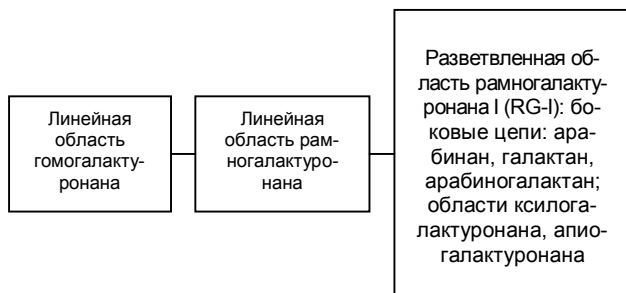
Пектины включают в себя как составляющие компоненты нерастворимого протопектина, так и растворимые полисахариды соков растений [2].

Они входят в состав растительных клеток в виде частично метилэтерифицированных по карбоксилу биополимеров часто в виде солей натрия, кальция и магния. Вместе с другими компонентами клеточных стенок растений они обеспечивают их прочность и растяжимость, предохраняют растения от высыхания, обеспечивая засухоустойчивость и

*Обзор посвящен юбилейной дате со дня рождения Р.Г. Оводовой.

морозостойкость, выполняют защитную роль во взаимоотношениях растений с фитопатогенами, способствуют ликвидации повреждений и выходу растения из состояния стресса. Их макромолекулы являются определяющими в прорастании семян и роста растений, в созревании и хранении овощей и фруктов, а структура может существенно меняться в процессе роста и развития растения. Они характеризуются нерегулярным типом строения и рассматриваются как один из самых сложных и динамичных по структуре класс биополимеров [1].

Общая схема строения пектинов приведена во многих работах (в частности, см. [2]). Пектиновые макромолекулы включают в себя следующие основные структурные области:



Линейная область гомогалактуронана состоит из 1,4-связанных остатков α -D-галактопиранозилурановой кислоты. Эти участки соединяются между собой одним или двумя 1,2-связанными остатками α -L-рамнопиранозы, образуя линейную область рамногалактуронана как главной углеводной цепи (кора) макромолекулы.

Разветвленная область состоит из рамногалактуронана I (RG-I), содержащего линейную цепь галактуронана и боковые углеводные цепи из остатков галактозы, арабинозы. Кроме того, возможно наличие в разветвленной области фрагментов ксилогалактуронана, в котором к цепи галактуронана 1,3-гликозидной связью присоединены одиночные остатки β -D-ксилопиранозы, а также апиогалактуронана. В последнем одиночные, 1,2- или 1,5-связанные остатки D-апиозы присоединяются 1,2- и/или 1,3-связями к остаткам D-галактуроновой кислоты главной углеводной цепи [2].

Методы установления строения пектинов

Для определения строения пектинов используют классические методы: полный и частичный гидролиз, ферментативное расщепление и периодатное окисление (распад по Смит), метод метилирования Хеурзса, а также физико-химические методы: все виды спектроскопии ядерного магнитного резонанса (ЯМР), хромато-масс-спектрометрию [2]. Для определения расположения углеводных цепей пектинов в пространстве в последние годы применяют атомно-силовую микроскопию (АСМ), впервые предложенную для этой цели в 1997 г. [3].

Нами АСМ применена, наряду с другими методами, для структурного изучения комарумана, пектина сабельника болотного *Comarum palustre* L. [4]. При этом экспериментально доказано, что главная углеводная цепь этого пектина является разветвленной и содержит боковые цепи, построенные из 1,4-связанных остатков α -D-галактопиранозилу-

рановой кислоты. С помощью ЯМР-спектроскопии показано, что боковые цепи галактуронана присоединены к кору макромолекулы 1,2- и 1,3-гликозидными связями. Возможно, что небольшое число боковых цепей присоединено одновременно в положения 2 и 3 кора макромолекулы, о чем свидетельствует АСМ-изображение главной углеводной цепи комарумана (рис. 1), из которого видно, что галактуронан присутствует в виде отдельных линейных молекул, а также разветвленных молекул, составляющих не менее 50% общего числа макромолекул. Галактуронан имеет наряду с главной цепью боковые углеводные цепи различного размера, но довольно длинные (см. рис.1). Молекулы содержат по одной и по несколько боковых цепей, присое-

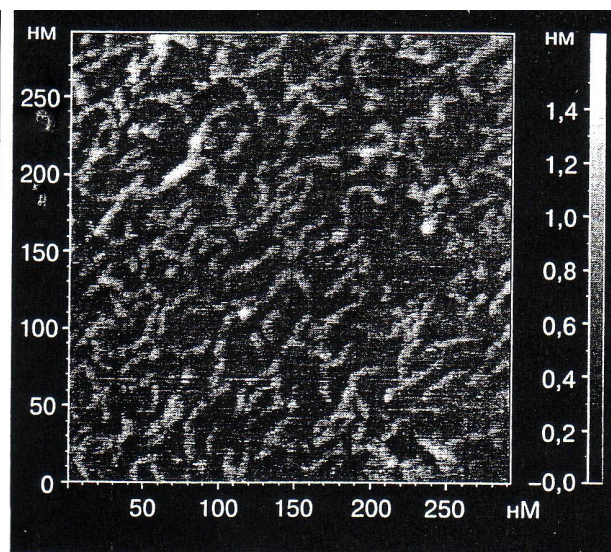


Рис. 1. АСМ – изображение галактуронана комарумана.

диненных к одному или нескольким участкам главной цепи галактуронана и состоящих из остатков D-галактуроновой кислоты [4].

В работе [5], в которой представлены результаты продолжающегося исследования пектинов, в частности, пектина незрелых томатов *Lycopersicon esculentum* var. Rutgers, с помощью АСМ показано, что ранее [6] высказанные соображения о необычной морфологии пектиновых полисахаридов подтверждены нашими исследованиями [4] и работой 2008 г. [7]. В этой связи для пектинов (рис. 2), наряду с классической моделью структуры (рис. 2а), вполне реальной представляется более сложная разветвленная модель (рис. 2 б), которая была предложена ранее [6], где разветвленная область рамногалактуронана RG-I представляет собой основной скелет макромолекулы, с присоединенными к нему линейными углеводными цепями галактуронана [5].

На основании полученных результатов изучения с помощью АСМ пектина из незрелых томатов и продуктов его кислотного гидролиза сделан вывод [5], что данный пектин состоит из линейных и разветвленных гомогалактуронанов, а также комплексов, содержащих рамногалактуронан RG-I, разветвленные и линейные фрагменты галактуронана. Последние или не связаны с RG-I, или присоединены связями, которые разрушаются в процессе экстракции и выделения пектина. При кислот-

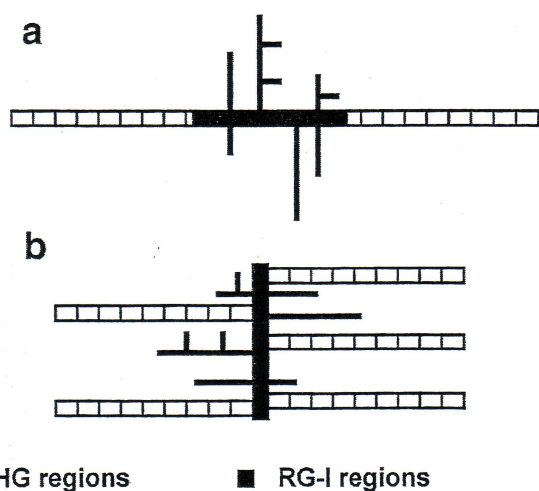


Рис. 2. Две модели структуры пектина: а) линейная модель, содержащая область: гомогалактуронана (HG) с включением разветвленной области рамногалактуронана RG-I; б) модель, изображающая области HG в виде боковых углеводных цепей, присоединенных к RG-I, который также содержит нейтральные боковые цепи.

ном гидролизе остатки нейтральных моносахаридов отщепляются, гидролизуются также RG-I полимеры, что приводит к распаду исходного пектина и получению отдельных его фрагментов. В конечном результате образуется либо линейный галактуронан, либо его разветвленная часть [5].

Строение пектинов из непищевых растений

Полученные нами ранее данные о структуре и свойствах пектинов из непищевых растений приведены в обзоре [8].

Для выбора наиболее интересных пектиновых полисахаридов проведен скрининг большого числа растений европейского Севера России, при этом принималось во внимание наличие достаточных сырьевых запасов, возможность возведения в культуру, каллусообразование, своеобразие структуры и выраженная физиологическая активность, в частности, иммуномодуляторная и противовоспалительная, после чего проводилось детальное изучение пектинов выбранных растений. В результате были изучены следующие пектины: силенан из смолвки обыкновенной *Silene vulgaris* Moench (Garke), танацетан из пижмы обыкновенной *Tanacetum vulgare* L., относящиеся к группе RG-I пектиновых полисахаридов; апиогалактуронановый пектин лемнан из ряски малой *Lemna minor* L., в сравнении подобным пектином морских трав зостераном; своеобразный пектин комаруман из сабельника болотного *Comarum palustre* L. и бергенан, пектин бадана толстолистного *Bergenia crassifolia* L. Структура зостерана нами уточнялась несколько раз, однако она еще требует дальнейшего уточнения элементов тонкой структуры [9].

Совсем недавно вышла работа французских исследователей [10], в которой проводится анализ апиогалактуронановых пектинов: зостерана и лемнана. Авторы, подтверждая наши данные, пытаются уточнить некоторые детали тонкого строения этих пектинов. С этой целью они используют автогидролиз полисахаридов за счет собственных кар-

боксильных групп с последующим спектроскопическим анализом образующихся в результате автогидролиза фрагментов макромолекул. Особое внимание они уделяют апиогалактуронану (AGU), полученному из зостерана, и сравнивают его с подобным апиогалактуронаном лемнана, структура которого была установлена нами ранее [11].

Проводя детальное исследование олигоапиозы, полученной при автогидролизе AGU, с помощью ЯМР-спектроскопии, авторы приходят к выводу, что этот олигосахарид имеет 1,2-гликозидные связи между остатками β -D-апиозы [10] в отличие от 1,5-связей между теми же моносахаридными остатками в апиодисахариде лемнана, структура которого была установлена нами [11]. В этом определенное своеобразие апиогалактуронана зостерана, тем более, что нам в процессе исследования этого пектина не удалось обнаружить олигоапиозные фрагменты апиогалактуронана, вероятно, из-за более жестких условий автогидролиза, но в то же время было четко показано наличие 1,2-, 1,3- и 1,2,3- гликозидных связей терминальных (концевых, одиночных) остатков D-апиозы с остатками D-галактуроновой кислоты главной углеводной цепи зостерана. Таким образом, можно считать еще более уточненной структуру зостерана, апиогалактуронановый фрагмент которого содержит боковые цепи из терминальных остатков апиозы и олигоапиозных фрагментов, состоящих из двух или трех остатков D-апиозы и присоединенных к кору макромолекулы 1,2- и 1,3-гликозидными связями.

Ранее (см., например, [9]) найдено, что зостеран обладает широким спектром физиологической активности. Это позволило в дальнейшем использовать его для лечения язвенной болезни желудка, а также детских диспепсий. Систематическое изучение [12] и полученные новые результаты [13] показали, что и лемнан обладает выраженными гастропротективными свойствами. Накопленные данные свидетельствуют о том, что лемнан повышает устойчивость стенки желудка к различным ulcerогенным факторам, таким как стресс, аспирин и другие нестероидные противовоспалительные средства, пестициды и т.д. При этом уменьшаются число и площадь пораженных язвой областей желудка, что позволяет рекомендовать лемнан для профилактики и лечения язвенной болезни желудка вместе с основным лечением [13]. Кроме того, обнаружено [10], что апиогалактуронан, полученный из зостерана, обладает высокой дозозависимой активностью в отношении клеток карциномы A431. В то же время удаление остатков апиозы из макромолекулы зостерана полностью лишает цитотоксической активности образующийся фрагмент, активность которого в отношении клеток опухоли становится столь же незначительной, как у галактуронана коммерческих пектинов. Эти данные свидетельствуют о том, что боковые цепи из остатков D-апиозы в разветвленной области макромолекулы зостерана играют определяющую роль в проявлении им цитотоксической, противоопухолевой активности [10], в то время как галактуронан обладает противовоспалительной активностью [14]. Это согласуется с полученными ранее нами данными в отношении взаимосвязи структуры и физиологиче-

ской активности лемнана [15] и свидетельствует о важной роли разветвленной области биоактивного пектина в проявлении иммуномодулирующей активности [16].

При изучении противовоспалительного действия пектинов и их галактуронанов показано, что противовоспалительное действие обуславливается снижением адгезии нейтрофилов человека к фибронектину [17]. Кроме зостерана и лемнана выявлено снижение адгезии галактуронанами следующих пектинов: комарумана, бергенана и коммерческого цитрусового пектина, полученного из кожуры лимона. Структура бергенана была установлена ранее [18] и отмечено, что он представляет собой пектин, относящийся к группе рамногалактуронана RG-I, но при этом главным компонентом углеводной цепи его макромолекулы являются остатки D-галактуроновой кислоты, содержание их достигает 80%, кроме того, в его состав входят остатки галактозы, арабинозы и рамнозы, общее содержание которых составляет около 15%. Большая часть остатков 1,4-связанной α -D-галактопиранозируновой кислоты, составляющей главную линейную цепь галактуронана, присутствует в виде метиловых эфиров, чем, вероятно, обусловлена высокая вязкость водных растворов бергенана. Боковые цепи, как во всех пектинах типа RG-I, присоединены 1,4-связью к остаткам α -L-рамнопиранозы кора макромолекулы и построены из терминальных остатков арабинофуранозы и галактопиранозы, а также из небольшого числа остатков 1,5-связанной α -L-арабинофуранозы и 1,4,6-связанной β -D-галактопиранозы. Точками разветвления боковых цепей являются 3,4- и 3,6-ди-O-замещенные остатки галактозы. Оказалось, что исходные пектины не влияют на адгезию нейтрофилов. Исключение составляет комаруман, который обладает противовоспалительной активностью [19] и ингибирует адгезию нейтрофилов к фибронектину в концентрации 50 мкг/мл. Это, вероятно, связано с необычной структурой комарумана, в макромолекуле которого разветвленная главная углеводная цепь галактуронана играет определяющую роль в физиологической активности данного пектина. В других пектинах боковые углеводные цепи, входящие в разветвленную область макромолекулы, препятствуют взаимодействию главной цепи галактуронана с нейтрофилами [17]. Известно, что прикрепление нейтрофилов к фибронектину осуществляется с помощью полипептидов: β_1 и β_2 -интегринов. Предполагается, что галактуронаны связываются с функционально активными β -интегринами на поверхности нейтрофилов и препятствуют взаимодействию с фибронектином, чем и обуславливают их противовоспалительное действие [17]. Галактуронаны, выделенные из любого пектина, проявляют выраженный противовоспалительный эффект [17, 20]. Дальнейшее изучение исходных пектиновых полисахаридов [20] показало, что они в зависимости от структуры либо способны защищать систему кишечника от повреждений и ингибировать воспаление, либо обладают противовоспалительным действием. Как уже отмечалось выше, комаруман ингибирует развитие кишечного воспаления [19], в то время как зостеран, бергенан, цитрусовый и яблочный пектины не оказывают су-

щественного действия на повреждение кишечной стенки при воспалении, а лемнан и силенан, напротив, обладают провоспалительным действием и способствуют увеличению площади поражения при индукции воспаления кишечника [20].

Почти одновременно [21] из стеблей сельдерея *Apium graveolens* L. нами выделен пектин, который был назван апиуманом. Особенностью его главной углеводной цепи является наличие большого числа метилэтерифицированных остатков D-галактуроновой кислоты. Строение его было установлено и показано, что он является типичным представителем пектинов группы рамногалактуронана RG-I. Тем не менее отмечено, что он обладает выраженным противовоспалительным действием. Способность апиумана предотвращать воспаление была изучена на модели эндотоксического шока, вызванного инъекцией липополисахарида (ЛПС) из кишечной палочки *E. coli* 0111:B4 (Sigma). Определено, что апиуман заметно увеличивает выживаемость мышей, которым была введена летальная доза ЛПС (рис. 3). В отсутствии апиумана летальная доза инъекционного ЛПС вызывает в течение 1,5 ч образование провоспалительного цитокина интерлейкина IL-1 β и противовоспалительного интерлейкина IL-10. Введение апиумана увеличивает концентрацию IL-10 и предохраняет мышей от гибели, обусловленной наличием IL-1 β .

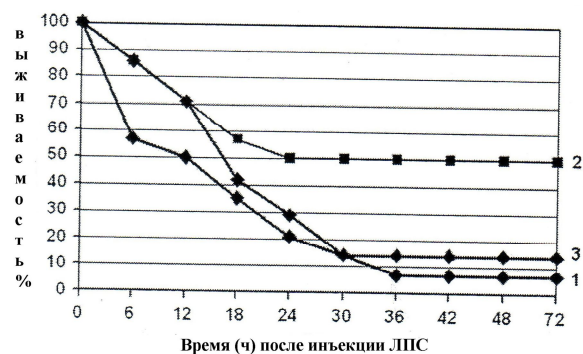


Рис. 3. Влияние апиумана на выживаемость мышей, подвергнутых действию летальной дозы ЛПС (50 мг/кг внутрибрюшинное введение) [16]. Мышам перорально введены за 24 ч до инъекции ЛПС: 1 — PBS (контроль), 2 — апиуман (50 мг/кг) и 3 — яблочный пектин (50 мг/кг)

Кроме того, апиуман снижает число нейтрофилов, мигрирующих в перитонеальную область после инъекции ЛПС. В результате цитокиновый профиль смещается в сторону IL-10 и обуславливает увеличение выживаемости мышей. Эти данные о предотвращении введением апиумана воспаления, индуцированного ЛПС, указывают на высокий противовоспалительный потенциал данного пектина [21].

Таким образом, различия в характере действия на воспаление связаны с тонкими элементами строения пектинов, такими как структура боковых углеводных цепей и взаимное расположение разветвленных областей пектиновой макромолекулы [17-21].

Пектины пищевых растений

В организм человека пектины, играя роль «пищевых волокон», попадают при включении в

рацион питания пищевых растений. Большой интерес представляет идея выявления характера изменений, которые происходят с пектинами пищевых растений в условиях желудочно-кишечного тракта и, в первую очередь, в условиях гастральной среды. С этой целью пектиновый полисахарид, названный капсикуманом СА, был получен из сладкого перца *Capsicum annuum* экстракцией с помощью раствора соляной кислоты (рН 1.5) и пепсина при 37°C в течение 4 ч. Этот экстрагент в определенной степени имитирует условия гастральной среды [22]. Строение капсикумана было установлено и показано, что он является также представителем группы рамногалактуронана RG-I. Его главная углеводная цепь галактуронана содержит метилэтерифицированные остатки D-галактуронозой кислоты, кроме того, в состав макромолекулы входят сложноэфирные О-ацетильные группы, локализация которых не установлена. В образце также содержится 5,8% прочно связанного белка и, по существу, капсикуман представляет собой пектин-белковый комплекс, невысокое содержание протеина обусловлено ферментативным действием пепсина, присутствующего в экстракционной среде, имитирующей гастральные условия. С помощью АСМ показано, что протеин-белковые комплексы представляют собой макромолекулу пектина с белковым компонентом, присоединенным к одному из концов пектиновой углеводной цепи, что имеет место для пектина из сахарной свеклы [23]. Интересно отметить, что белковая составляющая присоединяется только к одному концу пектина, а не к разным участкам макромолекулы. При этом белок не отделяется от пектина хроматографией даже в присутствии 4М NaCl, что может указывать на наличие скорее ковалентной связи, а не механического комплекса пектина с белком. Конечно, необходимо дополнительное исследование, чтобы строго определить тип связи между пектином и белком в этом агрегате и охарактеризовать углеводные цепи в пектине сахарной свеклы. Выделение и характеристика белкового компонента необходимы для выяснения его роли в клеточной стенке растения. По аналогии, можно сказать, что подобный факт имеет место и в случае пектин-белкового комплекса капсикумана [22].

При частичном гидролизе капсикумана (СА) был получен галактуронан СА-Н, который представляет главную углеводную цепь пектина [22].

При определении противовоспалительной активности СА и СА-Н изучено изменение в продуцировании провоспалительного цитокина – фактора некроза опухоли TNF_{α} и противовоспалительного цитокина IL-10 после стимуляции введением ЛПС. Показано, что капсикуман СА снижает уровень TNF_{α} спустя 24 ч. после перорального введения мышам в дозах 40-100 мг/кг. Продуцирование IL-10 увеличивается у мышей, которые получили СА за 36 и 48 ч до стимуляции ЛПС. При помощи модели эндотоксического шока показано [22], что СА увеличивает выживаемость мышей, обработанных летальной дозой ЛПС. СА-Н также снижает продукцию TNF_{α} и увеличивает выживаемость мышей в ответ на введение ЛПС (рис. 4).

Таким образом, капсикуман СА и его галактуронан СА-Н обладают противовоспалительным действием.

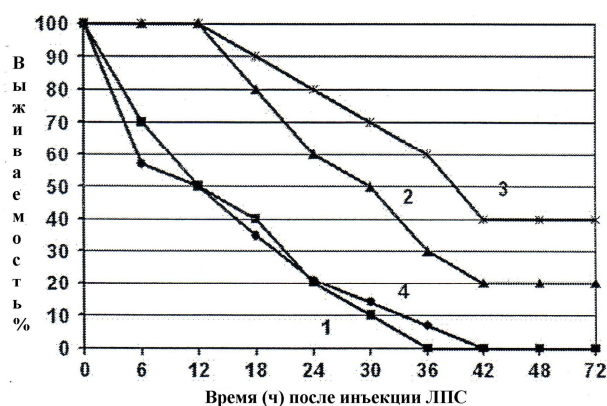


Рис. 4. Влияние капсикумана СА и его галактуронана СА-Н на выживаемость мышей, подвергнутых действию летальной дозы ЛПС (50 мг/кг *i.p.*) [17]. Мышам перорально введены за 24 ч до инъекции ЛПС: 1 – PBS (контроль), 2 – СА (50 мг/кг), 3 – СА-Н (50 мг/кг) и 4 – яблочный пектин (50 мг/кг).

Большой интерес представляют работы группы норвежских ученых [24-29], их работы в конце прошлого столетия (1995-2000 гг.) посвящены детальному изучению пектиновых веществ подорожника *Plantago major* L., были исследованы пектиновые полисахариды и сопутствующие им биологически активные арабиногалактаны [24-26].

В последней серии их работ [27-29] изучен пектин из пищевого растения, в частности, белокочанной капусты *Brassica oleracea*, которая является важным овощным продуктом в рационе скандинавов и широко культивируется. Кроме пищевого аспекта, капуста широко применяется для лечения пролежней и заживления ран. Механизм этого не совсем ясен, но вполне возможно, что это действие обусловлено пектиновыми веществами как стимуляторами иммунной системы.

Используя фрагментацию с помощью метаболизма с последующей спектроскопией ЯМР полученных соединений, авторы показали [28], что пектин белокочанной капусты, как обычно, имеет кор галактуронана, состоящего из 1,4-связанных остатков α -D-галактопиранозилуруновой кислоты с высокой степенью метилэтерифицирования (СМ) и небольшим числом 1,3-связанных боковых цепей. Кроме того, пектин содержит большое число остатков α -L-арабинофуранозы, D-галактопиранозы и незначительное количество остатков L-рамнозы и D-ксилозы в пиранозной форме. Своеобразием данного пектина является наличие фрагмента ксилогалактуронана, в котором присутствуют терминальные и 1,4-связанные остатки D-ксилозы. Остальные боковые цепи макромолекулы пектина состоят из терминальных и 1,5-связанных остатков α -L-арабинофуранозы, а также терминальных; 1,3-; 1,6 и 1,3,6-связанных остатков β -D-галактопиранозы. Боковые цепи присоединены 1,4-связями к остаткам рамнозы основной цепи линейного рамногалактуронана, в которую остатки α -L-рамнозы включены 1,2-гликозидными связями [28]. Полученные результаты свидетельствуют о том, что пектин капусты имеет большое структурное сходство с другими пектинами типа RG-I, его своеобразием является наличие фрагмента ксилогалактуронана [28]. Он так же, как и другие пектины, обладает иммуно-

логическими свойствами. В частности, данный пектин способен связывать комплемент, эта способность усиливается при гидролитическом отщеплении остатков арабинофуранозы из боковых цепей макромолекулы. Молекулярная масса пектина варьирует в широких пределах от 10 до 150 кДа и зависит от способа выделения [29]. Были использованы два различных метода выделения пектина из белокочанной капусты, которые привели к получению образцов с различными характеристиками. Экстракция водой создает слабокислые условия, в которых экстрагируются только водорастворимые пектиновые фракции. В этих условиях частично отщепляются боковые цепи, что снижает физиологическую активность полученного пектинового образца [29], и это следует принимать во внимание при выборе метода экстракции. Второй метод представляет собой последовательную экстракцию водными ионными растворами, которые приводят к извлечению не только водорастворимых фракций, но также и пектиновых фрагментов протопектина. Этот метод включает экстракцию водой, подкисленной соляной кислотой до pH 4.5, затем последовательно 0.05 М оксалатом аммония, двукратно 0.05 М раствором соды Na_2CO_3 и, наконец, 0.05 М раствором соляной кислоты при 85°C и 100°C. В этом случае получают образцы пектина с большей молекулярной массой и с более высокой СМ остатков D-галактуроновой кислоты в углеводной цепи галактуронана. Эти остатки легко подвергаются β -элиминации горячими, нейтральными водными растворами. Полученные пектиновые фракции обладают способностью связывать комплемент, особенно после предварительной обработки полигалактуроназой [29].

Синтез и свойства сульфатированных полисахаридов

Хорошо известно, что сульфатированные полисахариды обладают рядом новых видов физиологической активности, в частности, обнаруживают высокую антикоагулянтную активность [30] и другие виды физиологической активности, такие как противовирусная, антипролиферативная, антисклеротическая, иммуномодулирующая и ряд других [30-34]. Так, было найдено, что сульфаты лентинана и полисахаридов *Astragalus* sp. существенно повышают иммунный ответ на вакцину к болезни Ньюкастла и могут быть рекомендованы как новый тип иммуноадьювантов [31].

Хронологически первым антикоагулянтом стал открытый в начале XX в. гепарин, представляющий собой природный линейный сульфатированный глюкозаминогликан, который вырабатывается тучными клетками ряда животных [30]. Макромолекула гепарина состоит из чередующихся 1,4-связанных остатков α -D-глюкозамина и 2-O-сульфо- α -L-идурановой или β -D-глюкуроновой кислоты. Остатки глюкозамина содержат сульфатные группы по 6- и реже по 3-гидроксильным группам, аминогруппа также сульфатирована (6-O- или 3-O-сульфо- и N-сульфо-гепарин), антикоагулянтная и антитромбическая активности гепарина связаны с ингибированием сериновых протеиназ, включенных в каскад реакций свертывания крови, и проявляются

только в присутствии антитромбина, с которым гепарин образует комплекс [30]. Благодаря высокой эффективности гепарин широко используется в медицине для предотвращения тромбообразования и предупреждения тромбозов, являющихся важнейшей причиной инфарктов и инсультов, а также феномена внезапной смерти.

К сожалению, применение гепарина сопровождается рядом нежелательных побочных эффектов, таких как остеопороз, тромбоцитопения, геморрагии и др. В качестве замены были предложены препараты с подобной активностью, в частности, хондроитин сульфат, дерматан сульфат, сульфаты 1,3-L-галактанов морских беспозвоночных, сульфатированные фуканы водорослей и т.д. [30].

В качестве альтернативы нами сделана попытка синтеза сульфатированных пектинов и изучена их антикоагулянтная активность [35]. До настоящего времени не было данных о влиянии введения сульфатных групп в макромолекулу пектинов на их физиологическую активность и антикоагулянтные свойства. Нами проведено сульфатирование следующих пектиновых полисахаридов: бергенана, лемнана, а также галактуронана, полученного в результате частичного кислотного гидролиза бергенана.

Получение сульфатов полисахаридов достигается нуклеофильным замещением гидроксильных групп [30]. Сульфатирование вышеназванных пектинов проводили с использованием в качестве сульфатирующих агентов монометилсульфата пиридина, пиридинсульфотриоксида и хлорсульфоновой кислоты [35]. В результате было найдено, что оптимальным реагентом является хлорсульфоновая кислота. Увеличение количества сульфатирующего реагента до трехкратного избытка приводит к увеличению степени сульфатирования (в случае галактуронана до 15 моль $-\text{SO}_3^-$ на 10 моль остатков галактуроновой кислоты), сопровождается частичной деструкцией углеводной цепи (до 30%) и образованием фрагментов с мол. массой ниже 50 кДа. При сульфатировании лемнана и бергенана наблюдается частичный гидролиз боковых цепей, но образуются полисахариды, которые содержат сульфатные группы. Полученные сульфатированные производные пектиновых фрагментов удлиняют время свертывания плазмы крови человека по сравнению с нефракционированным гепарином, выбранным в качестве положительного стандарта, и с исходными пектинами. Их антикоагулянтное действие связано с ингибированием фибриногенсвертывающей и амидолитической активности тромбина и фактора Ха каскада реакций свертывания крови [35].

Биотехнология получения пектиновых веществ

Многие исследования структуры и биосинтеза растительных полисахаридов проводятся на клеточных культурах, которые способны продуцировать полисахариды, входящие в состав клеточных стенок, в частности, пектиновые вещества: пектины и сопутствующие им нейтральные полисахариды, в основном арабиногалактаны, содержащие небольшой процент остатков D-галактуроновой кислоты, которые придают им кислый характер [1]. Нами были разработаны методы получения каллусных культур следующих растений: смолевки обычно-

венной *Silene vulgaris* и смолевки татарской *Silene tatarica*, пижмы обыкновенной *Tanacetum vulgare*, ряски малой *Lemna minor* и шиповника морщинистого *Rosa rugosa*, – с дальнейшим выделением из них пектиновых веществ, продуцируемых данными каллусными культурами [1].

Для выделения пектинов из каллусной ткани использован стандартный метод последовательной экстракции растительного материала водой и 0,7%-ным водным оксалатом аммония при 68°C после предварительного гидролиза протопектина разбавленным раствором соляной кислоты (pH 4.0; 50°C). При этом найдено, что клеточные стенки каллуса смолевки обыкновенной содержат 2-12% пектинов от сухой биомассы, смолевки татарской – 3-4, пижмы обыкновенной – 5-7, ряски малой – 2-4 [1] и шиповника морщинистого – 7,4% [36].

Структурное изучение пектинов, выделенных из каллусных культур, и сравнение их с пектинами нативных растений дали следующие результаты. Силенан SVC из каллуса и силенан SV из интактного растения близки по структуре и свойствам [37], то же самое имеет место для танацетана TV и TVC [38], а также для розолинанов, выделенных из мякоти плодов и из каллуса шиповника морщинистого [36]. Все они относятся к группе рамногалактуронана RG-I, являясь типичными его представителями, имеют много общего в структуре, но различаются по характеру строения боковых цепей [1]. Установлено, что данные пектины являются иммуномодуляторами, а их галактуронановые фрагменты обладают противовоспалительным действием. Розолинаны из нативного растения и из каллусной культуры обладают, кроме того, гиполипидемической активностью и влияют на адгезивную способность перитонеальных макрофагов мышей [36].

Лемнаны LM и LMC [37, 38] из нативного растения и из каллуса, соответственно, отличаются тем, что LMC содержит значительно меньшее количество остатков D-апиозы. Однако получены линии каллуса, продуцирующие лемнан LMC с высоким содержанием остатков нейтральных моносахаридов, включая D-апиозу [39].

Клеточные культуры представляют собой стабильную гомогенную систему, которая продуцирует в стандартных условиях пектиновые вещества с постоянной, вполне определенной структурой, что позволяет использовать их в качестве модельных соединений для изучения элементов тонкого строения, метаболизма и биосинтеза, для выяснения механизмов регуляции этих процессов для исследования взаимосвязи структуры и физиологической активности [1].

Данные свойства клеточных культур привели к идее получения с их помощью пектиновых полисахаридов с заранее заданной структурой и свойствами. В этой связи было изучено действие ультрафиолетового излучения на рост каллусной культуры, на характер пектиновых веществ, а также на их антиоксидантную активность [40, 41]. Кроме того, исследована модификация пектинов каллусных культур: силенана и лемнана, – при обработке ферментами – карбогидразами [42, 43]. При этом установлено, что при действии ультрафиолетового облучения наблюдается изменение роста каллуса, меняется и полисахаридный состав пектиновых

веществ клеточных стенок: силенана и кислого арабиногалактана. Влияние ультрафиолета зависит от дозы облучения, что сопровождается ростом концентрации пектиновых веществ и снижением содержания остатков арабинозы и галактозы в силенане и арабиногалактане. Максимальная скорость роста наблюдается при низких дозах облучения, а снижение содержания моносахаридных остатков, напротив, при высоких дозах и продолжительной экспозиции. Следует отметить, что в процессе облучения меняется соотношение остатков арабинозы и галактозы, что позволяет направленно влиять на состав пектиновых веществ, продуцируемых каллусом смолевки, регулируя условия облучения. Учитывая, что пектиновые вещества каллуса, как и нативного растения, обладают выраженной иммуномодулирующей активностью, а также принимая во внимание высокую продуктивность каллусных культур по биомассе и синтезируемым пектиновым веществам, можно с уверенностью сказать, что каллусные культуры смолевки могут использоваться для биотехнологического получения физиологически активных пектиновых веществ [40, 41]. Интересно отметить, что полученный таким путем силенан обладает антиоксидантной активностью, которая усиливается при ультрафиолетовом облучении более чем в два раза [41].

При действии на каллусную культуру смолевки различными карбогидразами, в частности, пектиназой (полигалактуроназой) наблюдается активация внутриклеточных ферментов: α -L-арабинофуранозидазы и β -D-галактопиранозидазы, – что приводит к уменьшению числа остатков нейтральных моносахаридов в силенане и к снижению его мол. массы. В результате культивирования каллуса на средах с высокой концентрацией пектиназы получают пектиновые вещества с низким содержанием арабинозы [42]. При действии на каллусные культуры смолевки и ряски β -D-галактозидазы [42, 43] образуются пектиновые вещества с низким содержанием остатков арабинозы и галактозы, при этом наибольшие изменения наблюдаются в высокомолекулярных полисахаридных фракциях. Таким образом, культивирование клеточных культур растений в присутствии карбогидраз или при облучении ультрафиолетом может быть использовано как инструмент модификации структуры и физиологической активности пектиновых веществ. Как следствие, клеточные культуры могут рассматриваться как альтернативные источники получения стандартизированных физиологически активных пектиновых полисахаридов с регуляцией их строения и свойств.

Кроме того, установлено, что пектины как нативных растений, так и каллусных культур оказывают стимулирующее действие на рост и развитие овощных и зерновых культур и способствуют заметному увеличению их урожайности [44].

Заключение

Пектиновые вещества привлекают все большее внимание исследователей, благодаря своеобразному строению, уникальным биологическим функциям в растениях и широкому спектру физиологической активности [1, 2]. Это полипотентные

биополимеры, биологические функции и все виды физиологической активности которых тесно связаны с изменяющимся строением при переходе от растения к растению, от периода вегетации и от ряда других факторов, обусловленных средой обитания растения или условиями получения клеточных культур.

Изучение связи между структурой и активностью выявило уникальное свойство пектинов – полипотентность их структуры в отношении действия на иммунную систему. Пектиновая макромолекула содержит фрагменты, способные снижать или увеличивать иммуномодулирующее действие. Использование с этой целью фрагментов главной углеводной цепи и разветвленных областей пектина представляется перспективной задачей будущих исследований.

Насущной проблемой является выявление новых структурных типов пектинов из новых природных источников, установление их строения, в том числе выяснение элементов тонкой структуры, включая характер связи с белком, присутствующим в составе пектиновых веществ. Чрезвычайно важны – разработка новых методов исследования структуры и свойств пектиновых веществ, изучение путей их метаболизма в организме человека и животных, а также путей биосинтеза в растениях [45].

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ, Программы РАН «Молекулярная и клеточная биология», Программы «Ведущие научные школы», интеграционных проектов совместных исследований УрО РАН с ДВО РАН и СО РАН, гранта Минобрнауки РФ 02.512.11.2190.

Авторы выражают глубокую признательность ст. инженеру Института физиологии Коми НЦ УрО РАН Ю.А.Овчинниковой за большую помощь в подготовке и оформлении данного обзора.

Литература

1. Оводов Ю.С., Головченко В.В., Гюнтер Е.А., Попов С.В. Пектиновые вещества растений европейского Севера России. Екатеринбург, 2009. 111 с.
2. Оводов Ю.С. Современные представления о пектиновых веществах // Биорган. химия, 2009. Т. 35, №3. С. 293-310.
3. Round A.N., MacDougall A.J., Ring S.G., Morris V.J. Unexpected branching in pectin observed by atomic force microscopy // Carbohydr. Res., 1997. Vol. 303. P. 251-253.
4. Оводова Р.Г., Попов С.В., Бушинева О.А. и др. Разветвление галактуронованового коря макромолекулы комарумана, пектина сабельника болотного *Comarum palustre* L. // Биохимия, 2006. Т. 71. №5. С. 666-671.
5. Round A.N., Rigby N.M., MacDougall A.J., Morris V.J. A new view of pectin structure revealed by acid hydrolysis and atomic force microscopy // Carbohydr. Res., 2010. Vol. 345. P. 487-497.
6. Vincken J.-P., Schols H.A., Oomen R.J.F.J. et al. If Homogalacturonan were a side chain of rhamnogalacturonan I. Implication for cell wall architecture // Plant Physiol., 2003. Vol. 132. P. 1781-1789.
7. Kirby A.R., MacDougall A.J., Morris V.J. Atomic force microscopy of tomato and sugar beet pectin molecules // Carbohydr. Polym., 2008. Vol. 71. P. 640-647.
8. Оводов Ю.С. Биологически активные пектиновые полисахариды растений Республики Коми // Север: наука и перспективы инновационного развития / Отв. ред. чл.-корр. РАН В.Н.Лаженцев. Сыктывкар, 2006. С. 236-255; 374-395.
9. Оводов Ю.С., Оводова Р.Г., Попов С.В. Биогликан-иммуномодуляторы. Структура и свойства // Фитотерапия, биологически активные вещества естественного происхождения. ЗАО «Биопрогресс». Черноголовка, 2004. С. 348-363.
10. Gloaguen V., Brudieux V., Closs B. et al. Structural characterization and cytotoxic properties of an apiose-rich pectic polysaccharide obtained from the cell wall of the marine phanerogam *Zostera marina* // J. Nat. Prod., 2010. Vol. 73. P. 1087-1092.
11. Golovchenko V.V., Ovodova R.G., Shashkov A.S., Ovodov Yu.S. Structural studies of the pectic polysaccharide from duckweed *Lemna minor* L. // Phytochemistry, 2002. Vol. 60. P. 89-97.
12. Хасина Э.И., Сгребнева М.Н., Оводова Р.Г. и др. Гастропротективное действие лемнана – пектинового полисахарида, выделенного из ряски малой *Lemna minor* L. // Доклады АН, 2003. Т. 390. №3. С. 413-415.
13. Khasina E.I., Sgrebneva M.N., Ovodova R.G. et al. Gastroprotective effect of lemnana, a pectic polysaccharide from *Lemna minor* L. // Phytopharmacology and therapeutic values, Eds. J.N.Govil, V.K.Singh, S.K.Mishra, Studium Press LLC, Houston, USA. Recent Progress in Medical Plants, 2008. Vol. 20. P. 181-188.
14. Попов С.В., Оводова Р.Г., Попова Г.Ю. и др. Ингибирующее действие пектиновых галактуронанов на адгезию нейтрофилов // Биорган. химия, 2007. Т. 33. №1. С. 187-192.
15. Popov S.V., Ovodova R.G., Ovodov Yu.S. Effect of lemnana, pectin from *Lemna minor* L. and its fragments on inflammatory reaction // Phytother. Res., 2006. Vol. 20. №5. P. 403-407.
16. Попов С.В. Взаимодействие фагоцитов млекопитающих с полисахаридами растений. Сыктывкар, 2002. 97 с.
17. Попов С.В., Оводова Р.Г., Попова Г.Ю. и др. Ингибирующее действие пектиновых галактуронанов на адгезию нейтрофилов // Биорган. химия, 2007. Т.33. №1. С. 187-192.
18. Головченко В.В., Бушинева О.А., Оводова Р.Г. и др. Структурное исследование бергенана, пектина из бадана толстолистного *Bergenia crassifolia* // Биорган. химия, 2007. Т. 31. №1. С. 54-63.
19. Popov S.V., Ovodova R.G., Markov P.A. et al. Protective effect of comaruman, pectin from cinquefoil *Comarum palustre* L. on acetic acid-induced colitis in mice // Digest. Dis. Sci., 2006. Vol. 51. №9. P. 1532-1537.
20. Марков П.А., Попов С.В., Никитина И.Р., Оводова Р.Г. и др. Противовоспалительная активность пектинов и их галактуронованового коря // Химия раст. сырья, 2010. №1. С. 21-26.

21. Ovodova R.G., Golovchenko V.V., Popov S.V. et al. Chemical composition and anti-inflammatory activity of pectic polysaccharide isolated from celery stalks // Food. Chem., 2009. Vol. 114. P. 610-615.
22. Popov S.V., Ovodova R.G., Golovchenko V.V. et al. Chemical composition and anti-inflammatory activity of pectic polysaccharide isolated from sweet pepper using a simulated gastric medium // Food. Chem., 2011. Vol. 124. P. 309-315.
23. Kirby A.R., MacDougall A.J. Sugar beet pectin-protein complexes // Food. Biophysics (FOBI), 2006. Vol. 1. P. 51-56.
24. Samuelsen A.B., Paulsen B.S., Wold J.K. et al. Isolation and partial characterization of biologically active pectin from *Plantago major* L. // Carbohydr. Polym., 1996. Vol. 30. P. 37-44.
25. Samuelsen A.B., Paulsen B.S., Wold J.K. et al. Characterization of a biologically active arabinogalactan from the leaves *Plantago major* L. // Carbohydr. Polym., 1998. Vol. 35. P. 145-153.
26. Samuelsen A.B. Polysaccharides in *Plantago major* L. Studies of structural and biological activity. Ph.D.Thesis.Univ. Oslo, 1998.
27. Westereng B., Yousif O., Michaelsen T.E., Samuelsen A.B. et al. Pectin isolated from white cabbage – structure and complement-fixing activity // Mol. Nutr. Food. Res., 2006. Vol. 50. P. 746-756.
28. Samuelsen A.B., Westereng B., Yousif O. et al. Structural features and complement-fixing activity of pectin from three *Brassica oleracea* varieties: white cabbage, kale, and red kale // Biomacromolecules, 2007. Vol. 8. P. 644-649.
29. Westereng B., Michaelsen T.E., Samuelsen A.B., Knutsen S.H. // Effect of extraction conditions on the chemical structure and biological activity of white cabbage pectin // Carbohydr. Polym., 2008. Vol. 72. P. 32-42.
30. Местечкина Н.М., Щербухин В.Д. Сульфаты полисахаридов и их антикоагулянтная активность // Прикл. биохим. микробиол., 2010. Т. 46. №3. С. 291-298.
31. Ma X., Guo Z., Wang D. et al. Effect of sulfated polysaccharides and their prescriptions on immune response of ND vaccine in chicken // Carbohydr. Polym., 2010. Vol. 82. P. 9-13.
32. Huang X., Hu Y., Zhao X. et al. Sulfated modification can enhance the adjuvanticity activity of astragalus polysaccharide for Newcastle disease vaccine // Carbohydr. Polym., 2008. Vol. 73. P. 303-308.
33. Huang X., Wang D., Hu Y. et al. Effect of sulfated astragalus polysaccharide on cellular infectivity of infections bursal disease virus // Intern. J.Biol. Macromol., 2008. Vol.3. P.166-171.
34. Guo Z., Hu Y., Wang G. et al. Sulfated modification can enhance the adjuvanticity of lentinan and improve the immune effect of ND vaccine // Vaccine, 2009. Vol. 27. P. 660-665.
35. Витязев Ф.В., Головченко В.В., Патова О.А. и др. Синтез сульфатированных пектинов и их антикоагулянтная активность // Биохимия, 2010. Т. 75. Вып. 6. С. 857-867.
36. Злобин А.А., Жуков Н.А., Оводова Р.Г. Химическая характеристика водорастворимых полисахаридов каллусной ткани шиповника морщинистого *Rosa rugosa* Thunb // Химия раст. сырья, 2008. №1. С. 51-55.
37. Бушинева О.А., Оводова Р.Г., Шашков А.С. и др. Структурное исследование арабиногалактана и пектина из каллуса *Silene vulgaris* (М.) G. // Биохимия, 2006. Т. 71. Вып. 6. С. 798-807.
38. Гюнтер Е.А. Культуры клеток нетрадиционных растений как продуценты полисахаридов //Аграрная Россия, 2001. №6. С. 73-74.
39. Гюнтер Е.А., Понейко О.В., Оводов Ю.С. Продуцирование полисахаридов каллусными культурами ряски малой // Прикл. биохим. микробиол., 2008. Т. 44. №1. С. 117-122.
40. Гюнтер Е.А., Оводов Ю.С. Действие ультрафиолетового излучения на рост и полисахаридный состав каллусной культуры *Silene vulgaris* // Прикл. биохим. микробиол., 2007. Т. 43. №4. С. 518-526.
41. Гюнтер Е.А., Борисенков М.Ф., Оводов Ю.С. Действие ультрафиолета на строение и антиоксидантную активность силенана каллуса смолевки обыкновенной // Прикл. биохим. микробиол., 2009. Т. 45. №4. С. 470-475.
42. Гюнтер Е.А., Понейко О.В., Оводов Ю.С. Модификация полисахаридов каллусной культуры *Silene vulgaris* (М.) G. с помощью карбогидраз *in vitro* // Биохимия, 2007. Т. 72. Вып. 9. С. 1238-1247.
43. Günter E.A., Popeyko O.V., Ovodov Yu.S. Action of β -galactosidase in medium on the *Lemna minor* L. callus polysaccharides // Carbohydr. Res., 2009. Vol. 344. P. 2602-2605.
44. Елькина Е.А., Оводов Ю.С. Пектиновые полисахариды как регуляторы роста зерновых культур//Тезисы докладов IV Всероссийской конференции «Химия и технология растительных веществ». Сыктывкар, 2006. С. 245.
45. Harholt J., Suttangkakul A., Scheller H.V. Biosynthesis of pectin // Plant Physiol., 2010. Vol. 153. P. 384-395.

УДК 553.065.12

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ КВАРЦЕВЫХ ЖИЛ НА ЗОЛОТОРУДНЫХ ПРОЯВЛЕНИЯХ МАНИТАНЫРДСКОГО РАЙОНА

Н.В. СОКЕРИНА¹, С.Н. ШАНИНА¹, Н.Н. ЗЫКИН²

¹*Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, г.Сыктывкар*

²*Московский государственный университет, г.Москва*

sokerina@geo.komisc.ru, shanina@geo.komisc.ru, nznz@yandex.ru

Для определения условий минералообразования на территории рудопроявлений Верхненаяуское-1 и Верхненаяуское-2 нами изучены газово-жидкие включения в прозрачных минералах, входящих в состав золоторудных и незолоторудных кварцевых жил. Было установлено, что золоторудный и незолоторудный кварц не отличается по термобарогеохимическим показателям. Для них характерны однофазовые и двухфазовые включения, температуры гомогенизации последних изменяются в пределах (70–390) °С. Расчетное давление составляет 1–200 кг/см². Солевой состав во включениях однообразен. Температура эвтектики во включениях равна –23 и –35 °С, что соответствует водно-солевым системам NaCl–KCl–H₂O и NaCl–MgCl₂–H₂O. Изотопный состав во включениях в кварце свидетельствует о наличии двух источников минералообразования: мантийном и коровом.

Ключевые слова: рудопроявления золота, гомогенизация, газово-жидкие включения, изотопный состав включений, температура эвтектики, хроматография

**N.V. SOKERINA, S.N. SHANINA, N.N. ZYKIN. GEOCHEMICAL
CONDITIONS OF VEIN QUARTZ FORMATION OF GOLD DEPOSITS OF
MANITANYRD REGION**

In order to determine mineral-forming conditions we have studied gas-liquid inclusions in transparent minerals presented in gold-bearing and barren veins from two deposits: Verkhneniyayuskoye-1 and Verkhneniyayuskoye-2. It was established that thermobarogeochemical characteristics of vein quartz have no differences between gold-bearing and barren varieties of this mineral. Monophase water inclusions are typical of them; homogenizing temperatures of two-phase inclusions are about 70–390°C. Design pressure is about 1-200 kg/cm². Salt structure in inclusions is homogeneous. Eutectic temperature of the inclusions is about -23 and -35°C that corresponds to water-salt systems NaCl–KCl–H₂O and NaCl–MgCl₂–H₂O. Isotope composition of inclusions in quartz are the evidence of two sources for mineral formation—pallial and crustal.

Key words: gold deposits, homogenization, gas-liquid inclusions, isotope composition of inclusions, eutectic temperature, chromatography

Введение

Рудопроявления Верхненаяуское-1 и Верхненаяуское-2 расположены в пределах Манитанырдского рудного района на западном склоне Полярного Урала. В последнее время интерес к этому району существенно вырос и геологические работы были возобновлены. Сведения о геологическом строении региона и особенностях золоторудной минерализации приведены в работах [1-3 и др.]. Однако полное представление о генезисе проявлений невозможно без объективной оценки физико-химических особенностей рудообразования. Эта важная информация может быть получена при изу-

чении физико-химических характеристик растворов, законсервированных в минералах в виде газово-жидких включений. Нами исследованы условия образования кварцевых жил. В процессе работы получены сведения о температурах и давлениях минералообразования; приведены сведения о химическом составе газово-жидких включений. По данным изотопных исследований определены предполагаемые источники вещества.

Геологическая обстановка. Манитанырдский рудный район в настоящий момент характеризуется месторождениями и ряда рудопроявлениями золота в позднеархейско-вендско-раннекембрийских отложениях. В пределах Манитанырдского зо-

лоторудного узла выделено Нияюское рудное поле, в состав которого входят рудопоявления Верхне-нияюское-1 и Верхне-нияюское-2. На этих проявлениях развиты кварц-хлоритовые, кварц-карбонатные, кварц-баритовые, кварц-аксинитовые, кварц-эпидотовые жилы и прожилки. Часто с кварцевыми жилами, приуроченными к зонам интенсивного расланцевания, связана рудная минерализация, представленная пиритом, арсенопиритом, меньше халькопиритом, пирротинном, борнитом, марказитом, сфалеритом. Из гипергенных минералов отмечены ковеллин, лимонит, канькит, скородит. Для определения условий минералообразования нами методами термобарогеохимии изучены все прозрачные минералы.

Методы исследования. Валовый состав газов во включениях был проанализирован на газовом хроматографе «Цвет 800» с приставкой для термического вскрытия включений. Декрепитация включений производилась при нагревании до 1000 °С. Пиролиз образцов проходил в реакторе в атмосфере гелия. Чувствительность метода по основным компонентам составила, мкл: $2 \cdot 10^{-2}$ для N_2 и CO , $3 \cdot 10^{-2}$ – CH_4 и CO_2 , $3 \cdot 10^{-3}$ – H_2O .

Газовый состав индивидуальных включений изучался методом Рамановской спектроскопии. Наблюдения были проведены на спектрометре U-1000 с лазером Millennia Pro в Институте геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск). Гомогенизация и криометрия включений осуществлялись в термокриокамере Linkam TH 600 в Институте геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск) и на серийной установке УМТК-3 в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН. Погрешность измерений составила 3 – 4 °С. Часть включений исследовалась методом криометрии в эксклюзивной камере с хромель-копелевой термопарой. Погрешность установки составила около 0.5 °С. Расчет интервалов температуры гомогенизации при статистической обработке результатов проводился по формуле Стеджерса, модифицированной Ю. А. Ткачевым [4].

Соленость растворов во включениях измерялась по температуре плавления льда. Солевой состав определялся по температуре эвтектики водно-солевой системы [5]. Давление минералообразующей среды рассчитано по диаграмме фазового равновесия в системе $NaCl-H_2O$ [6]. Поправку на давление получили из специальных диаграмм [7]. При этом было установлено, что в нашем случае соответствующая поправка не превышает 10–15 °С. Поэтому мы условно принимаем, что $T_{гом} = T_{обр}$.

Изучение состава редких, редкоземельных и петрогенных элементов во включениях проводилось в Институте геологии и минералогии СО РАН. Для анализа использовались пробы кварца массой 500 мг, фракция 0.5–0.25. Кварц тщательно отбирался под биноклем и очищался царской водкой в течение 12 ч. После этого проба растворялась в плавиковой и хлорной кислотах в соотношении 5:1, объемом 5 мл и анализировалась методами ИСП-МС и ИСП-АЭС.

Изотопные исследования воды и CO_2 в газожидких включениях выполнены на масс-спектрометре MI-1201M в лаборатории изотопных и ядерно-физических методов ВСЕГИНГЕО МПР. По-

грешность измерений не превышала: $\pm 0.2\text{‰}$ для кислорода, $\pm 2\text{‰}$ для водорода и $\pm 0.1\text{‰}$ для углерода.

Изотопный состав углерода и кислорода кальцита из кварцевых жил был определен в группе изотопной геохимии Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Измерение проводилось в режиме непрерывного потока на аналитическом комплексе, включающем масс-спектрометр DELTA-V Advantage с системой подготовки и ввода проб Gas Bench II. Погрешность определения $\delta^{13}C$ и $\delta^{18}O$ не превышала $\pm 0.02\text{‰}$ для углерода и $\pm 0.05\text{‰}$ для кислорода.

Результаты исследования. Для определения условий минералообразования изучались газожидкие включения в кварце, кальците, эпидоте и аксините, входящих в состав кварцевых жил. Особенно детально проанализированы флюидные включения в золоторудном кварце. Полученные данные сопоставлялись с результатами изучения незолоторудного кварца, отобранного как на Верхне-нияюском участке, так и на сопредельных территориях (табл. 1). Проведенные исследования не выявили существенных различий между газожидкими включениями в золоторудном и незолоторудном кварце (рис. 1, а, б, в). Температура гомогенизации сингенетических включений в этих кварцевых жилах приблизительно одинаковая. Основная масса включений переходит в гомогенное состояние до 400 °С. Более высокотемпературные включения встречаются очень редко, что отчетливо видно при статистической обработке. В то же время они присутствуют в кварце, и фазовые переходы в них отчетливо наблюдаются. Вероятно, образование этих включений связано с процессами расшнуровывания, которые иногда наблюдаются в кварце и описаны в литературе [8]. Данные по таким включениям в наших выводах не используются. Часто внутри обычных газожидких одно-двухфазовых включений встречается твердая фаза. Обычно она представлена обломками минерала-хозяина, которые были законсервированы при минералообразовании и никак не реагируют на нагревание образца. В единичных случаях встречаются включения, содержащие твердую фазу, которая при нагревании (до 500–550 °С) также не растворяется, но наблюдается ее некоторое «оплавление». Это явление часто характерно для органического вещества. Жильный кварц не был проанализирован на наличие органики, но во вмещающих породах содержание $С_{орг}$ равно приблизительно 0.03 мас. % [устное сообщение д.г.-м.н. Я.Э. Юдовича]. Стоит отметить, что включения золоторудного и незолоторудного кварца также похожи по составу, концентрациям растворенных в них солей и по расчетному давлению минералообразующей среды (табл. 1). По литературным данным известно, что в кварце, генетически связанным с золоторудной минерализацией, часто встречаются включения, содержащие жидкую углекислоту [9, 10], которая очень хорошо диагностируется при замораживании включений. Нами в процессе работы проведено множество таких экспериментов. Включения с жидкой углекислотой обнаружены не были. Кроме того, в табл. 1 представлены результаты изучения газожидких включений в кальците, эпидоте и аксините (рис. 1, г, д).

Таблица 1

Основные типы газовой-жидких включений

Тип включений	Размер газовой фазы, об. %	Интервал t гом. °C	Соленость, %, NaCl экв.	T эвт, °C	Давление, кг/см ²	Краткое описание включений
1	2	3	4	5	6	7
Золоторудный кварц						
Сингенетические	50-80	$\frac{364-387}{3}$	$\frac{17}{1}$	-23	до 200	Двухфазовые включения, имеющие, как правило, неправильную форму. Размер не превышает 10 мкм, составляет в среднем 6–8 мкм. Гомогенизация включений обычно идет по первому типу, в единичных случаях – по второму. Температура эвтектики соответствует водно-солевой системе: NaCl – KCl – H ₂ O.
	20-40	$\frac{224-376}{17}$	$\frac{5-6}{2}$	-23 -35		Двухфазовые включения, имеющие разнообразную форму, обычно неправильную, иногда с элементами огранки. Размер включений не превышает 15 мкм, в среднем 10 мкм. Гомогенизация включений идет по первому типу. Температура эвтектики соответствует водно-солевым системам: NaCl – KCl – H ₂ O, NaCl – MgCl ₂ – H ₂ O.
	10-15	$\frac{234-336}{9}$	$\frac{9}{1}$	-23		Двухфазовые включения, имеющие разнообразную форму, обычно неправильную, иногда с элементами огранки. Размер включений не превышает 15 мкм, в среднем 10 мкм. Гомогенизация включений идет по первому типу. Температура эвтектики соответствует водно-солевой системе: NaCl – KCl – H ₂ O.
	5	$\frac{85-234}{13}$	$\frac{9}{1}$	-23		Двухфазовые включения обычно неправильной формы, иногда с элементами огранки. Размер включений не превышает 10 мкм. Гомогенизация включений идет по первому типу. Температура эвтектики соответствует водно-солевой системе: NaCl – KCl – H ₂ O.
Эпигенетические	5-15	$\frac{230-300}{5}$	–	–	–	Двухфазовые включения, имеющие разнообразную форму, обычно неправильную, иногда с элементами огранки. Размер включений не превышает 15 мкм, в среднем 10 мкм. Гомогенизация включений идет по первому типу.
	0		$\frac{0-9}{4}$	-23 -35		Однофазовые включения, имеющие обычно неправильную форму. В некоторых случаях такие включения выглядят как первичные, так как располагаются вдали от нарушений и трещин. После охлаждения или нагревания образца часто образуется газовый пузырь. При этом видимых признаков разгерметизации не наблюдается. Наибольшее этому подвержены включения с незначительной соленостью. В литературе иногда такие явления связывают с метастабильностью [14], но в данном случае, мы имеем дело, вероятно, с какими-то деструктивными преобразованиями (растяжением). Температура эвтектики соответствует водно-солевым системам: : NaCl – KCl – H ₂ O, NaCl – MgCl ₂ – H ₂ O. Такие включения наиболее характерны для данного объекта и встречаются более чем в 95 % случаев
Незолоторудный кварц						
Сингенетические включения	50-80	$\frac{330-354}{3}$	$\frac{9-10}{2}$	-23	до 160	Двухфазовые включения, имеющие, как правило, неправильную форму. Размер включений не превышает 10 мкм, в среднем 6–8 мкм. Гомогенизация включений обычно идет по первому типу, в единичных случаях – по второму. Температура эвтектики соответствует водно-солевой системе: : NaCl – KCl – H ₂ O.
	20-40	$\frac{190-360}{30}$	$\frac{3-9}{2}$	-23		Двухфазовые включения, имеющие разнообразную форму, обычно неправильную, иногда с элементами огранки. Размер включений не превышает 20 мкм, в среднем равен 10 мкм. Гомогенизация идет по первому типу. Температура эвтектики соответствует водно-солевой системе: : NaCl – KCl – H ₂ O.
	10-15	$\frac{183-284}{13}$	$\frac{3}{1}$	-23		Двухфазовые включения, имеющие разнообразную форму, обычно неправильную, иногда с элементами огранки. Размер включений не превышает 20 мкм, в среднем 10 мкм. Гомогенизация идет по первому типу. Температура эвтектики соответствует водно-солевой системе: : NaCl – KCl – H ₂ O.
	5	$\frac{101-190}{17}$	$\frac{6-12}{3}$	-23		Двухфазовые включения обычно с неправильной формой, иногда наблюдаются элементы огранки. Размер включений не превышает 10 мкм. Гомогенизация включений идет по первому типу. Температура эвтектики соответствует водно-солевой системе: : NaCl – KCl – H ₂ O.

1	2	3	4	5	6	7
Эпигене- тичные вклю- чения	5	$\frac{70-131}{8}$	$\frac{1-6}{3}$	-23	-	Двухфазовые включения, имеющие, как правило, неправильную, иногда овальную форму. Размер включений не превышает 20 мкм, в среднем 6-8 мкм. Гомогенизация включений идет по первому типу. Температура эвтектики соответствует водно-солевой системе: : NaCl – KCl – H ₂ O.
	0		$\frac{0-15}{5}$	-23 -35		Однофазовые включения. Они по своему расположению в некоторых случаях выглядят как первичные, иногда расположены вдоль трещин. Описание включений аналогично подобным включениям из квар-ца золоторудных зон. Температура эвтектики соответствует водно-солевым системам: : NaCl – KCl – H ₂ O, NaCl – MgCl ₂ – H ₂ O. Такие включения наиболее характерны для данного объекта и встречаются более чем в 95 % случаев
Кристаллы горного хрусталя						
Сингене- тичные вклю- чения	15-40	$\frac{250-360}{4}$	-	-	до 160-	Двухфазовые включения, имеющие форму отрицательных кристаллов, либо форму с элементами огранки. В единичных случаях размер включений достигает 60 мкм, но обычно не превышает 10 мкм. Гомогенизация включений идет по первому типу.
	5	$\frac{135-155}{6}$	$\frac{2}{1}$	-23		Двухфазовые включения, имеющие форму отрицательных кристаллов, либо форму с элементами огранки. Размер включений достигает 60 мкм, но обычно не превышает 20 мкм. Гомогенизация включений идет по первому типу. Температура эвтектики соответствует водно-солевой системе: NaCl – KCl – H ₂ O.
Эпигене- тичные вклю- чения	0		$\frac{0}{2}$	-23		Однофазовые включения, имеющие обычно неправильную форму. В некоторых случаях такие вклю-чения выглядят как первичные, так как располагаются вдали от нарушений и трещин. После охлажде-ния или нагревания образца часто образуется газовый пузырь. При этом видимых признаков разгер-метизации не наблюдается. Наиболее этому подвержены включения с незначительной соленостью (около 0 %). Температура эвтектики соответствует водно-солевой системе: NaCl – KCl – H ₂ O. Такие включения наиболее характерны для данного объекта и встречаются более чем в 95 % случаев.
Кальцит						
Сингене- тичные вклю- чения	10-30	$\frac{222-284}{3}$	–	–	до 70	Двухфазовые включения, имеющие иногда призматическую, чаще неправильную форму. Размер включений не превышает 15 мкм, в среднем 5-7 мкм. Гомогенизация включений идет по первому типу. Температура эвтектики соответствует водно-солевой системе: NaCl – MgCl ₂ – H ₂ O.
	5	$\frac{116-190}{8}$	$\frac{12-15}{2}$	–35		Двухфазовые включения, имеющие обычно неправильную, временами с элементами огранки форму. Размер включений не превышает 15 мкм, в среднем 5-7 мкм. Гомогенизация включений идет по пер-вому типу. Температура эвтектики соответствует водно-солевой системе: NaCl – MgCl ₂ – H ₂ O.
Эпигене- тичные вклю- чения	0		$\frac{8}{1}$	–35		Однофазовые включения, имеющие разнообразную форму, чаще неправильную, иногда форму отри-цательного кристалла. В некоторых случаях они выглядят как первичные. Температура эвтектики со-ответствует водно-солевой системе: NaCl – MgCl ₂ – H ₂ O. Такие включения наиболее характерны для данного объекта и встречаются более чем в 90 % случаев.
Эпидот						
Сингене- тичные вклю- чения	5	$\frac{85-217}{16}$	$\frac{6-11}{3}$	–35	до 15	Двухфазовые включения, имеющие иногда вытянутую трубчатую, чаще неправильную форму. Размер включений не превышает 30 мкм, в среднем 10 мкм. Гомогенизация включений идет по первому типу. Температура эвтектики соответствует водно-солевой системе: NaCl – MgCl ₂ – H ₂ O.
Эпигене- тичные включения	0	–	–	–	–	Однофазовые включения, имеющие обычно неправильную форму. Часто по своему расположению они выглядят как первичные. Такие включения наиболее характерны для данного объекта и встреча-ются более чем в 90 % случаев.
Аксинит						
Сингене- тичные вклю- чения	5	$\frac{101-126}{4}$	–	–	–	Двухфазовые включения, имеющие иногда вытянутую трубчатую, чаще неправильную форму. Размер включений не превышает 10 мкм, в среднем 5-6 мкм. Гомогенизация включений идет по первому типу.
Эпигене- тичные вклю- чения	0	–	–	–	–	Однофазовые включения, имеющие разнообразную форму, чаще неправильную, иногда форму об-ратного кристалла. Часто такие включения по расположению похожи на первичные.

Примечание. В числителе интервал значений, в знаменателе число определений.

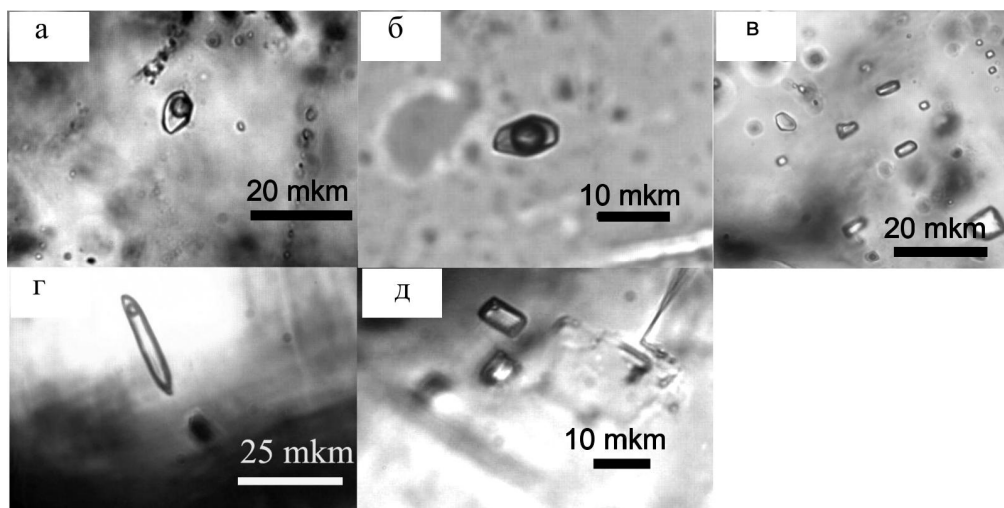


Рис. 1. Газово-жидкие включения: а – двухфазовые включения с газовой фазой ~40 об. % в золоторудном кварце; б – двухфазовые включения с газовой фазой ~50 об. % в незолоторудном кварце; в – типичные однофазовые включения в незолоторудном кварце; г – двухфазовое включение с газовой фазой < 5 об. % в эпидоте, д – двухфазовое включение с газовой фазой < 5 об. % в кальците.

Кальцит и эпидот являются более поздними минералами и отличаются от кварца более низким давлением, пониженной температурой минералообразования и солевым составом включений. Включения в аксините имеют очень маленькие размеры, поэтому изучить детально его не удалось. Полученные температуры гомогенизации свидетельствуют о том, что его образование происходило при небольших температурах. При полевых наблюдениях отчетливо видны временные взаимоотношения аксинита и жильного кварца. На основании этого можно сказать, что аксинит является более ранним.

Изучение газового состава методами хроматографии и Рамановской спектроскопии. Важнейшим компонентом минералообразующих систем являются газы. Их состав, соотношения с водой зависят от температурного режима минералообразования, литологического состава вмещающих пород, гипсометрического уровня рудного тела и других факторов. Многие авторы [11, 12] указывают на возрастание газонасыщенности флюидных растворов на глубине и увеличение содержания CO_2 в составе газово-жидких включений в золоторудном кварце и самородном золоте. В целом, газовый состав золоторудного флюида достаточно прост и характеризуется, в основном, азотно-углекислым составом. Такие газы, как метан и окись углерода, содержатся в незначительных количествах. Обычно наблюдается заметное увеличение содержания азота по мере приближения к поверхности рудных тел, которое, возможно, говорит об участии в формировании рудных тел инфильтрационных вод глубинной циркуляции [13]. Повышение содержаний CO_2 и CH_4 при незначительных содержаниях азота свидетельствует об относительно глубинном происхождении минералообразующих растворов. В то же время, соотношение CO_2/CH_4 существенно отличается на разных гипсометрических уровнях. Наблюдается тенденция его снижения с глубиной. Это отношение также характеризует окислительно-восстановительный потенциал

флюида [14]. С уменьшением глубины наблюдается увеличение содержания H_2O во включениях, что свидетельствует об активном участии инфильтрационных вод в гидротермальном процессе. Изменение соотношения CO_2 и H_2O наблюдается и при переходе непродуктивных минеральных ассоциаций к продуктивным. Наиболее высокие значения соотношения $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ характерны для продуктивных стадий.

Нами методом газовой хроматографии был изучен ва-

ловый состав газов во флюидных включениях (табл. 2). В результате установлено, что включения в золоторудном и незолоторудном кварце преимущественно водные, как это уже было отмечено при визуальном наблюдении. Соотношение $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ для золоторудного кварца – 0.004, для незолоторудного – 0.009. Например, для кварца рудопроявления Синильга, которое находится на Приполярном Урале и генетически связано с золоторудной минерализацией, это соотношение в среднем равно 1.43. Кроме того, для кварцево-золоторудной минерализации обычно характерно повышенное содержание азота. Например, в золоторудном кварце Синильги это содержание в среднем составляет 6.1 мас. %. В золоторудном кварце изученных объектов содержание азота в среднем – 0.03 мас. %, в незолоторудном – 0.05. Обычно это не характерно для кварца, генетически связанного с золоторудной минерализацией. Как правило, золоторудный кварц отличается повышенной флюидонасыщенностью. Необходимо отметить, что золоторудный кварц на данной территории по сравнению с незолоторудным тоже отличается повышенной флюидонасыщенностью, которая равна в среднем 1412 мкг/г (для незолоторудного – 308 мкг/г). Но это никак не может быть связано с процессом отложения золота, т.к. вызвано повышенным содержанием воды во включениях. Это явление можно объяснить тем, что формирование кварцевых жил происходило по сильно трещиноватым породам. В результате резкого перепада давления и температур, связанного с трещиноватостью, происходил захват большого количества включений. Таким образом могли захватываться сингенетичные, преимущественно водные включения. Кроме того, в данном кварце наблюдается большое количество эпигенетичных включений. Их формирование, вероятно, тоже связано с тем, что рудные тела приурочены к интенсивно катаклазированным зонам. Повышенное количество включений может быть связано именно с процессами залечивания тре-

Валовый состав газовой-жидких включений

Номер пробы	Содержание газа, мкг/г						Σ
	H ₂	N ₂	CO	CH ₄	CO ₂	H ₂ O	
Золоторудный кварц							
CH-92	0.17	0.45	0.33	0.47	12.90	2352.00	2366.73
CH-107	0.19	1.49	0.38	0.65	4.17	740.00	746.58
CH-101	0.39	0.20	0.75	0.36	4.17	600.00	606.36
CH-86	0.00	0.00	0.46	0.12	3.37	1153.00	1156.92
ЮЗ-86	0.16	0.00	0.67	0.36	3.72	2762.00	2766.67
CH-88a	0.18	0.49	0.74	0.24	11.56	2152.00	2165.10
546-3	0.12	0.00	0.00	0.26	2.47	70.70	73.55
среднее	0.17	0.38	0.48	0.35	6.05	1404.00	1411.70
мас. %	0.01	0.03	0.03	0.02	0.43	99.47	100.00
Незолоторудный кварц							
531	0.00	0.00	0.00	0.22	1.89	78.12	80.22
532	0.00	0.00	0.00	0.60	9.16	1508.42	1518.17
533	0.00	0.44	0.06	0.19	1.33	232.60	234.62
534	0.20	0.51	0.56	0.49	3.69	1346.30	1351.74
541	0.00	0.00	0.01	0.12	0.91	16.60	17.62
542	0.00	0.00	0.06	0.15	0.93	11.60	12.74
544	0.22	0.88	1.21	0.22	18.82	473.90	495.29
545	0.00	0.04	0.29	0.22	1.68	203.30	205.50
548	0.00	0.11	0.09	0.17	1.08	121.50	122.99
550	0.00	0.09	0.18	0.16	0.76	217.10	218.30
556	0.10	0.20	0.50	0.17	2.00	65.00	67.97
562	0.00	0.36	0.05	0.24	3.27	155.60	159.52
563	0.00	0.20	0.18	0.19	1.63	48.90	50.64
565	0.00	0.00	0.00	0.13	1.83	85.90	87.82
567	0.00	0.00	0.02	0.08	0.70	200.30	201.11
569	0.00	0.00	0.00	0.23	1.26	193.80	195.26
570	0.00	0.00	0.00	0.13	1.26	97.60	99.04
572-2	0.00	0.00	0.03	0.20	1.41	273.10	274.76
573	0.00	0.26	0.08	0.06	1.29	486.70	485.35
574	0.00	0.29	0.20	0.14	1.58	283.90	286.11
среднее	0.03	0.17	0.18	0.21	2.82	304.84	308.24
мас. %	0.01	0.05	0.06	0.07	0.92	98.90	

щин, образовавшихся в результате тектонических подвижек.

Известно, что в кварце, генетически связанном с золоторудной минерализацией, часто встречаются однофазовые включения, которые содержат в себе газ. Особенно часто в таких включениях присутствует углекислый газ, реже – метан и азот. В процессе визуального наблюдения нами были выделены несколько однофазовых включений в золоторудном и незолоторудном кварце изученных рудопоявлений, которые похожи на газовые включения. Они были изучены методом Рамановской спектроскопии. Проведенные исследования установили, что газов в этих включениях нет, все они оказались пустыми (вскрытыми).

Изучение состава редких, редкоземельных и петрогенных элементов во включениях. Для определения условий минералообразования нами методом ИСП-МС проведено исследование содержания редких и редкоземельных элементов в составе газовой-жидких включений. Флюидонасыщенность кварца на территории изученных рудопоявлений незначительная, и редкоземельные элементы (РЗЭ) присутствуют в очень низких концентрациях – иногда ниже предела обнаружения. Поэтому получить представительную выборку очень

сложно и судить о полных спектрах РЗЭ можно только по отдельным образцам (табл. 3).

В некоторых работах [15] показано, что для золоторудного кварца характерно повышенное содержание некоторых РЗЭ, выявлена положительная корреляция между Eu/Sm, суммой лантаноидов во включениях и содержанием Au в пробе. В нашем случае по этому критерию кварц из рудных и безрудных зон почти не отличается друг от друга. Поэтому в качестве основного приема обработки материала являются построение и анализ графика распределения РЗЭ во включениях (рис. 2), нормированных по редкоземельному значению для хондритов [16]. По количеству РЗЭ все проанализированные пробы делятся на две группы. В одну из групп входят образцы с полным спектром исследуемых элементов, в другую – пробы (534, 544), в которых значительная часть элементов содержится в количествах – ниже предела обнаружения. Возможно, это связано с незначительной флюидонасыщенностью образцов. По характеру распределения все спектры в основном однотипны. Для них почти всегда типично относительно равное содержание тяжелых и легких РЗЭ. Распределение элементов очень неравномерное и, вероятно, свидетельствует о многоэтапности формирования квар-

Таблица 3

Микроэлементный состав включений в кварце

Элемент	Холостая проба	Незолоторудный кварц					Золоторудный кварц				
		532	534	544	CH-3	CH-39	ЮЗ-86	CH-86	CH-91	CH-101	CH-107
ИСП-МС, г/т											
Rb	0.003	0.051	0.022	0.012	0.007	0.045	0.017	0.083	0.054	0.091	0.1
Sr	0.047	1.54	1.30	2.1	2.6	2.6	2.4	0.38	1.70	0.52	0.33
Y	0.0008	0.012	0.002	0.0005	0.047	0.017	0.057	0.052	0.056	0.072	0.037
Zr	0.008	0.057	0.019	0.019	0.32	0.092	0.065	0.077	0.062	0.1	0.1
Nb	0.002	0.001	0.002	0.005	0.001	0.01	0.015	0.004	0.007	0.012	0.003
Cs	0.003	0.092	0.036	0.026	0.009	0.021	0.017	0.019	0.022	0.013	0.019
Ba	0.065	1.38	0.58	0.74	0.49	1.37	2.0	1.64	1.12	1.09	1.81
La	0.001	0.025	0.001*	0.0005*	0.006	0.047	0.008	0.006	0.015	0.03	0.01
Ce	0.003	0.051	0.002	0.001	0.016	0.082	0.023	0.014	0.036	0.067	0.022
Pr	0.0004	0.009	0.0003	0.0002	0.003	0.009	0.004	0.002	0.006	0.011	0.003
Nd	0.001	0.032	0.001	0.0002	0.014	0.028	0.019	0.007	0.025	0.048	0.008
Sm	0.0004	0.006	0.0003	0.0001	0.005	0.004	0.006	0.002	0.007	0.013	0.002
Eu	0.00003	0.0009	0.00003	0.00003	0.004	0.001	0.003	0.0006	0.003	0.008	0.0003
Gd	0.0003	0.004	0.0003	0.0001	0.01	0.005	0.010	0.004	0.011	0.021	0.003
Tb	0.00006	0.0006	0.00007	0.00002	0.002	0.0007	0.002	0.001	0.002	0.003	0.0007
Dy	0.0003	0.003	0.0003	0.00009	0.01	0.004	0.012	0.008	0.013	0.019	0.005
Ho	0.00005	0.0006	0.00008	0.00002	0.002	0.0008	0.003	0.002	0.003	0.003	0.001
Er	0.0001	0.001	0.0002	0.00008	0.005	0.003	0.008	0.007	0.008	0.008	0.005
Tm	0.00002	0.0002	0.00006	0.00002	0.0007	0.0004	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Yb	0.0002	0.001	0.0004	0.0001	0.004	0.003	0.006	0.01	0.006	0.005	0.009
Lu	0.00002	0.0002	0.00007*	0.00003*	0.0005	0.0004	0.0007	0.002	0.0008	0.0007	0.002
Hf	0.0005	0.002	0.0007	0.0007	0.017	0.004	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004
Ta	0.003	0.0001*	0.0001*	0.0004*	0.0003*	0.001*	0.0008*	0.0005*	0.0008*	0.001*	0.0005*
Th	0.0003	0.003	0.0003*	0.0002*	0.0002*	0.003	0.002	0.004	0.002	0.004	0.003
U	0.0003	0.0006*	0.0003*	0.0002*	0.0004	0.001	0.003	0.001	0.003	0.006	0.001
Σ Ln	0.007	0.136	0.007*	0.003*	0.082	0.189	0.106	0.065	0.136	0.238	0.072
Eu/ Sm	0.067	0.150	0.116	0.347	0.727	0.234	0.557	0.274	0.403	0.579	0.178
ИСП-АЭС, ppm											
Al	не опр.	22	373	225	99.0	750.0	4571	47.0	680	135.0	59.00
As	-/-	1.2	0.8	0.2	-	1.1	-	39.4	2.6	-	37.50
Ba	-/-	1.1	0.4	0.5	0.30	0.9	1.9	1.2	0.8	0.8	1.40
Be	-/-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca	-/-	23.3	25.1	13.1	397.1	15.9	178.5	28.1	99.2	46.7	24.80
Cr	-/-	0.48	-	-	0.30	0.32	0.88	0.25	0.54	0.83	0.57
Cu	-/-	0.1	-	-	-	-	-	0.19	-	0.10	0.13
Fe	-/-	3.0	59.0	1.0	500.0	89.0	508	39.0	226.0	147.0	40.00
K	-/-	15.0	8.0	5.0	4.0	15.0	21.0	26.0	18.0	27.0	34.00
Li	-/-	1.49	-	-	0.23	0.19	0.44	0.64	0.22	0.20	0.64
Mg	-/-	0.9	38.6	0.8	324.0	44.9	384.0	8.6	154.0	106.0	9.10
Mn	-/-	0.2	1.1	0.2	9.9	0.9	8.0	0.3	3.	2.4	0.20
Na	-/-	78.0	357	241.0	17.8	696.0	3920.0	8.1	488.0	20.0	7.30
Ni	-/-	-	-	-	-	-	0.23	-	-	-	-
Pb	-/-	0.58	-	-	-	-	-	8.2	-	-	10.60
Si	-/-	0.58	0.39	0.60	0.40	0.41	126.49	0.57	1.2	0.50	0.44
Sr	-/-	1.4	1.1	1.70	2.2	2.1	2.6	0.3	1.4	0.40	0.30
Ti	-/-	0.5	0.8	1.80	1.0	2.6	5.5	2.0	4.5	0.90	1.20
V	-/-	-	-	-	0.7	0.1	1.9	0.2	1.1	0.70	0.20
Y	-/-	-	-	-	-	-	0.2	0.1	0.1	0.10	-
Zn	-/-	0.1	0.2	0.10	0.6	0.3	3.9	18.0	1.1	0.70	12.10
Zr	-/-	-	-	-	0.3	0.1	0.2	0.1	0.1	0.10	0.10
Σ	-/-	681.68	1399.1	1095.2	1357.0	1620.1	9735.7	228.23	1682.4	496.67	240.09

Примечание. * количество меньше, чем в холостой пробе; - не обнаружено.

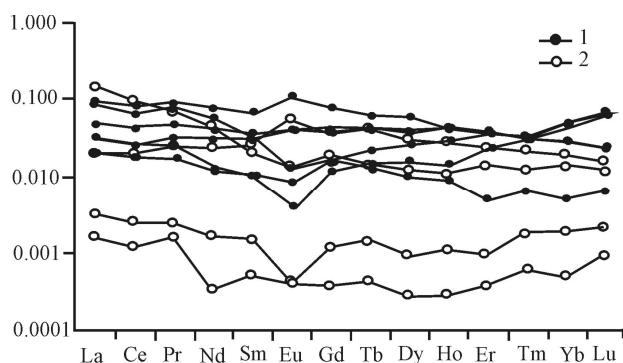


Рис. 2. Хондрит-нормированное распределение редкоземельных элементов в флюидных включениях в золоторудном кварце (1) и незолоторудном кварце (2).

цевых жил и разных источниках вещества. Для большей части спектров характерна относительно высокая концентрация Eu. В отличие от других РЗЭ, Eu часто свидетельствует о восстановительных условиях минералообразования, когда он может переходить в двухвалентную форму и приобретать очень большую подвижность. Можно предположить, что зарождение флюида происходило на значительных глубинах в нижней части континентальной коры [17]. Другой причиной может быть влияние вулканических пород. На территории проявления имеется большое количество даек основного состава. Последнее предположение, на наш взгляд, является предпочтительнее, т.к. на одном из спектров наблюдается явно положительная аномалия Eu, и этот спектр принадлежит образцу кварца, взятого непосредственно из дайки долеритов раннеордовикского возраста. Кроме того, почти все образцы с относительно повышенным содержанием Eu отобраны в зоне глубинного разлома. Помимо редких и редкоземельных элементов нами методом ИСП-АЭС проанализирован состав петрогенных элементов (табл. 3). Можно отметить повышенное содержание Al, Fe, Ca, Na, K. К сожалению, при таком способе подготовки пробы невозможно исключить влияние на состав исследуемого раствора твердых включений и, особенно структурных примесей, поэтому анализ дает представление не только о составе газовой-жидкой и твердых включений, но и структурных примесей.

Изотопные исследования. Для определения условий формирования жильных образований на рудопоявлении Верхнеиняюское-1 и месторождении Верхнеиняюское-2 нами был изучен изотопный состав кислорода и водорода воды и кислорода и углерода углекислого газа флюидных включений в безрудном жильном кварце, а также кислорода и углерода кальцита, выполняющего гнезда в кварцевых жилах (табл. 4).

Согласно прямым наблюдениям и расчетным данным по изотопному составу кислорода, водорода и углерода изученных фаз, вода, формировавшая как кварцевые, так и кальцитовые жилы, имела преимущественно метеогенное (инфильтрацион-

ное), либо морское происхождение, при этом как источник воды для разных этапов гидротермальной деятельности, так и источники углекислоты были различны. Изотопный состав углерода углекислого газа в газовой-жидких включениях кварца отражает глубинный источник его поступления. При формировании кальцитов в углеродсодержащих фазах гидротермальных растворов в значительном количестве присутствовал углерод корового биогенного происхождения.

Выводы

Очень широкие интервалы температур гомогенизации сингенетичных включений, давления минералообразующей среды, солёности минералообразующих растворов свидетельствуют о длительности

Таблица 4

Результаты изотопно-геохимических исследований

№ пробы	Изотопный состав включений, ‰				№ пробы	Изотопный состав кальцитов, ‰	
	$\delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2)^{**}$	$\delta^{18}\text{O}(\text{CO}_2)^*$	$\delta^{15}\text{O}(\text{CO}_2)^{**}$	$\delta\text{D}(\text{H}_2\text{O})^*$		$\delta^{13}\text{C}^*$	$\delta^{18}\text{O}^{**}$
545	нет CO_2			-92	СН 1	-15.8	+11.5
550	-4.3	+10.0	СН 14	-13.0	+11.4	-13.0	+11.4
533	-4.2	+10.1	СН 50	-11.0	+12.2	-11.0	+12.2
531	-4.2	+10.2	СН 99	-10.9	+11.8	-10.9	+11.8

Примечание: * – относительно SMOW, ** – относительно PDB

ти процесса образования жильного кварца, что характерно для гидротермально-метаморфогенных образований. На заключительном этапе минералообразования на фоне снижения температуры и давления наблюдается формирование прожилков и гнезд, состоящих из кальцита и эпидота. Этот вывод подтверждается полевыми наблюдениями возрастных взаимоотношений этих минералов в составе кварцевых жил.

Нами не найдены включения, которые обычно встречаются в золоторудном кварце. Поэтому считаем, что кварцевая минерализация, вероятно, сформировалась позднее. Ее формирование происходило по тектонически ослабленным зонам, в том числе и по сильно катаклазированным породам, содержащим золоторудную минерализацию. Тем не менее, в некоторых шлифах видно, что образование кварца иногда происходило одновременно с рудной минерализацией. Вполне возможно, что была другая генерация кварца, слабо сохранившаяся, но процессы катаклазирования пород, которые на данных проявлениях развиты очень широко, разрушили первичную информацию. Для окончательного решения вопроса о формировании золоторудной минерализации в районе необходимы дополнительные исследования.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Института геологии и минералогии СО РАН А.А. Томиленко, Н.А. Гибшер.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ «Ведущие научные школы» НШ-7198.2010.5, Программы ОНЗ РАН №2(09-T-5-1015) и интеграционного проекта ОНЗ РАН №5(09-C-5-1022).

Литература

1. *Благородные металлы западного склона севера Урала и Тимана* / С.К.Кузнецов, М.Б.Тарбаев, Т.П.Майорова, М.Ю.Сокерин, Г.В.Чупров. Сыктывкар: Геопринт, 2004. 46 с.
2. *Майорова Т.П.* Минералогия россыпного золота Тимано-Североуральской провинции. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 148 с.
3. *Силаев В.И.* Коренная золотоносность Полярного Урала//Руды и металлы, 1996. №5. С. 5-17.
4. *Ткачев Ю.А., Пунегов А.И.* Разделение смеси распределений на две нормальные компоненты. Сыктывкар: Геопринт, 1986. 31 с.
5. *Борисенко А.С.* Определение карбонатов и бикарбонатов натрия в растворах газовой-жидких включений методом криометрии // Минералогия эндогенных образований (по включениям в минералах). Новосибирск, 1975. Вып. 2. С. 98-105.
6. *Стырикович М.А., Хайбуллин И.Х.* Диаграммы фазовых равновесий системы $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ // Докл. АН СССР, 1956. Т.109. С. 962-965.
7. *Potter R.V.* Pressure correction for fluid-inclusion homogenization temperatures, based on the volumetric properties of the system $\text{NaCl-H}_2\text{O}$. U.S. Geol. Survey J, 1977. Res.5. P. 603-607.
8. *Реддер Э.* Флюидные включения в минералах. М., 1987. Т. 1. 558 с.
9. *Попивняк И.В.* Основные термобарогеохимические критерии прогнозирования и оценки золотого оруденения // Термобарогеохимия золота. Львов: Свит, 1995. С. 215-227.
10. *Сокерина Н.В.* Флюидный режим формирования жильного кварца золоторудных объектов Приполярного Урала (по данным изучения газово-жидких включений). Сыктывкар: Геопринт, 2003. 19 с.
11. *Андрусенко Н.И., Адрианова С.И.* Особенности формирования месторождений золота различных глубин и рудных формаций // Теория и практика термобарогеохимии. М.: Наука, 1978. С.143-151.
12. *Долгов Ю.А., Томиленко А.А., Гибшер Н.А.* Флюидный режим формирования и термобарогеохимические критерии золотоносности кварцевых жил в метаморфических породах // Термобарогеохимия минералообразующих процессов. Новосибирск, 1990. С. 7-19.
13. *Павлуны Н.Н.* Газометрические модели //Термобарогеохимия золота. Львов: Свит, 1995. С.189-191.
14. *Пальмова Д.Г., Копнева Л.А., Иванов П.А., Прусаков А.М.* Физико-химическая характеристика золотоносных растворов // Теория и практика термобарогеохимии. М.: Наука, 1978. С. 101-106.
15. *Лантаноиды во флюидных включениях, кварце и зеленых сланцах из золотоносных и безрудных кварцево-жильных зон Советского кварц-золоторудного месторождения, Енисейский Кряж, Россия* / А.А.Томиленко, Н.А.Гибшер, О.А.Козьменко, С.В.Палесский, И.В.Николаева// Геохимия, 2008. № 4. С. 438-444.
16. *Boynnton W.V.* Geochemistry of Rare Earth Elements Meteorite Studies//Rare Earth Element Geochemistry. Amsterdam, 1984. P.63-114.
17. *Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М.* Континентальная кора: ее состав и эволюция: Пер. с англ. М.: Мир, 1988. 384 с.

ПАЛЕОЗОЙСКАЯ СТРАТИСФЕРА СЕВЕРО-ВОСТОКА ЕВРОПЫ: СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ, БИОГЕОСОБЫТИЙНАЯ ИСТОРИЯ, ЭВОЛЮЦИЯ МОРСКИХ ПАЛЕОЭКОСИСТЕМ

В.С. ЦЫГАНКО, Т.М. БЕЗНОСОВА, В.Ю. ЛУКИН, Д.Б. СОБОЛЕВ

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

На основе изучения палеоэкосистем ряда групп организмов-фильтраторов: табулят, ругоз, брахиопод и остракод в морских бассейнах палеозоя на территории европейского Северо-Востока установлены главные закономерности их формирования и этапы развития. Выявлена важная роль в смене сообществ событийных явлений, обусловленных, прежде всего, эвстатическими колебаниями уровня моря.

Ключевые слова: палеозой, палеоэкосистемы, целентераты, брахиоподы, остракоды

V.S. TSYGANKO, T.M. BEZNOSOVA, V.Yu. LUKIN, D.B. SOBOLEV.
PALEOZOIC STRATISPHERE OF NORTH-EASTERN EUROPE: STRATIGRAPHIC CORRELATION, BIOGEOEVENT HISTORY, EVOLUTION OF MARINE PALEOECOSYSTEMS

The paleoecosystem studies of a number of groups of filtering organisms: tabulates, rugoses, brachiopods and ostracodes in marine Paleozoic basins on the territory of European North-East resulted in finding the basic regularities of their formation and development stages. The important role of event phenomena in the community changes, conditioned mostly by eustatic fluctuations of sea level, is shown.

Key words: Paleozoic, paleoecosystems, coelenterates, brachiopods, ostracodes

Одним из основных направлений исследований, проведенных палеонтологами лаборатории стратиграфии Института геологии Коми научного центра УрО РАН в течение последнего десятилетия, явилось изучение закономерностей развития ископаемых сообществ организмов палеозоя на территории европейского Северо-Востока. Ниже приведены основные результаты, полученные в ходе наблюдений над сообществами основных представителей палеозойских морских беспозвоночных – целентератами (табулятами и ругозами), брахиоподами и остракодами.

Наиболее ранним из исследованных этапов в развитии биоты палеозоя является позднеордовикский. Он характеризуется появлением целого ряда важных групп фауны, преимущественно фильтраторов, получивших в дальнейшем широкое распространение в палеозое. Прежде всего, это представители целентерат – табуляты и ругозы *Dalmanophyllum*, *Streptelasma* и *Palaeophyllum*, а также брахиоподы *Proconchidium* и *Holorhynchus*. В раннекрыинское время на шельфе формировались водорослево-кораллово-строматопоратые биостромы мощностью 4–5 м, в строительстве которых принимали участие табуляты родов *Mesofavosites*, *Palaeofavosites*, *Eocatenipora*, а также брахиоподово-коралловые банки вблизи рифовых построек с колониями *Palaeofavosites*, достигающими 50 см в диаметре [3].

Кризисный этап в развитии ордовикской биоты обозначен массовым вымиранием организмов в позднем ашгилле, связанным с гляцио-эвстатическим событием, существенным снижением температуры морских вод и уровня моря. Первый рубеж вымирания брахиопод и других бентосных форм животных в конце ордовика служит устойчивым биологическим маркером начала глобального биосферного кризиса. Он сопровождался сокращением биоразнообразия и продуктивности раковинной биоты, а впоследствии – полным замещением ее водорослевыми микробиальными сообществами. Интервал разреза, отвечающий этому событию, установлен в разрезе верхнего ордовика на западном склоне Приполярного Урала и рассматривается как стратиграфический аналог хирнантского яруса международной стратиграфической шкалы [1].

С началом лlandoверийской трансгрессии в Тимано-Североуральском морском бассейне постепенно восстановились таксономическое разнообразие и продуктивность биоты раннего силура. Она представлена целентератами родов *Multisolenia*, *Favosites*, *Paleofavosites*, *Multisolenia*, *Streptelasma* и *Holacanthia*, брахиоподами *Virgiana*, *Borealis*, *Pentamerus*, *Coolinia*, *Zygospiraella*, *Rafinesquina*, *Becscia*, *Nalivkinia*, *Fardenia*, а также строматопоратами, криноидеями, гастроподами, остракодами. В тиховодных и углубленных участках бассейна с иловыми грунтами селились первые силурий-

ские представители отряда атрипид – *Becscia menneri* (Т.Везн.), а также строфомениды с тонкостенными раковинами – *Coolinia*, *Zygospiraella*, *Rafinesquina* и *Fardenia*, криноидеи. Обладатели толстостенных раковин – пентамериды *Virginiana*, *Borealis*, *Pentamerus* – были адаптированы к условиям обитания в подвижных водах на твердых грунтах (рис. 1).

последних активно участвовали табуляты родов *Mesofavosites*, *Multisolenia*, *Parastriatopora*, *Favosites*, реликтовые формы катенипор *Catenipora panga* Klaam и появившаяся в регионе сиринопорида – *Syringopora borealis* Tchern. В позднем венлоке возобновились процессы рифообразования и к лудловскому времени сформировался протяженный

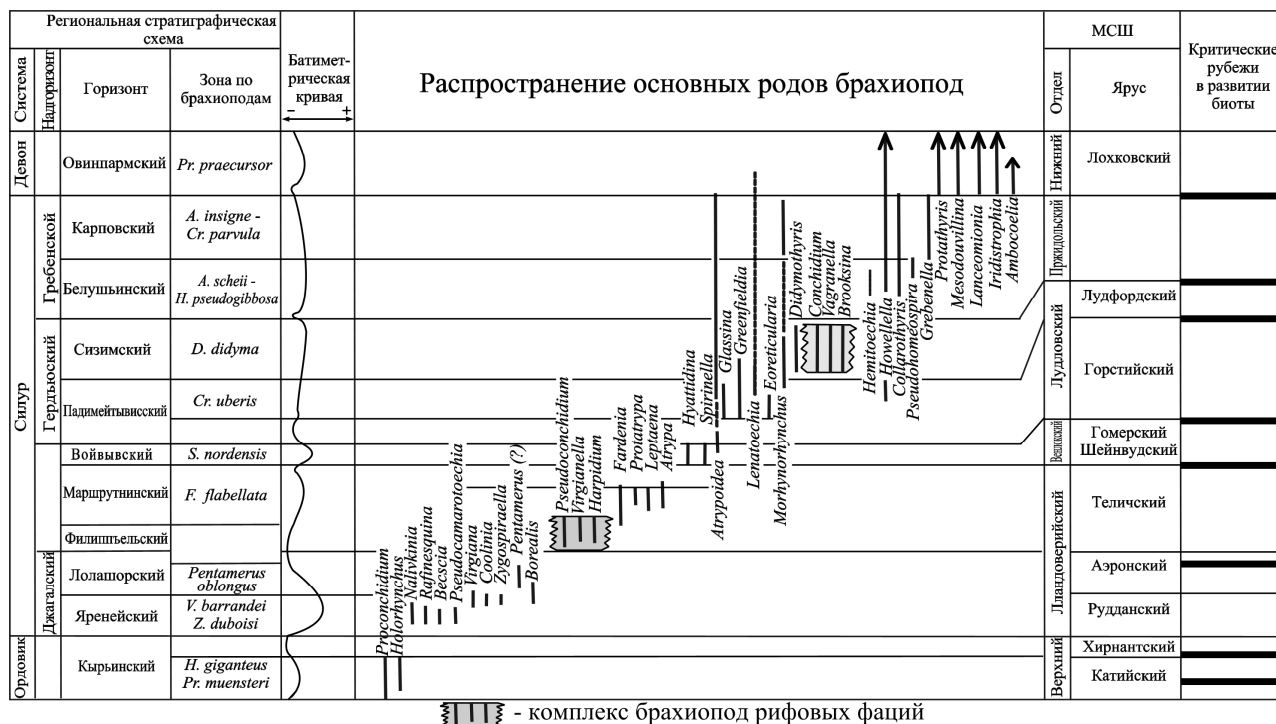


Рис.1. Изменение родового разнообразия брахиопод в позднем ордовике, силуре и раннем девоне и критические рубежи в развитии Тимано-Североуральской биоты.

Постепенное обмеление бассейна привело в начале филипппельского времени к исчезновению почти всех бентосных сообществ, за исключением строматопорат, которые, наряду с цианобактериальными сообществами, составляли основу биоты значительной территории бассейна. Это время примечательно началом рифообразования в силуре. Вблизи биогермов и на склонах рифовых построек селились многочисленные колонии табулят, ругозы, криноидеи, ортоцератиды, остракоды, разнообразные водоросли, а также рифолюбивые брахиоподы отряда *Pentamerida* [1]. Окончательное восстановление биоразнообразия в конце лландовери произошло в ходе очередной трансгрессии за счет широкого расселения ряда космополитных целентерат – *Multisolenia*, *Favosites*, *Sapporipora*, *Crassilasma*, *Neocystiphyllum*, *Miculiella*, *Kymocystis*, *Cyathactis*, *Tungussophyllum*, а среди брахиопод – строфоменид, атрипид и атрипид.

С началом трансгрессии и повышением уровня морского бассейна в венлоке связано появление и расселение атрипид *Hyattidina* и *Atrypodea*, а также первых силурийских спириферид *Spirinella*. В это время в бентосных ассоциациях брахиоподы, наряду с табулятами, ругозами *Micula* и *Miculiella*, остракодами и пелециподами, составляли значительную долю. На мелководных участках развивались кораллово-строматопоратово-водорослевые биостромы и небольшие биогермы. В постройках

барьер, который на Приполярном и Полярном Урале изолировал внутришельфовую лагуну и оказывал существенное влияние на дифференциацию экологических ниш [1].

В начале позднесилурийского этапа в развитии бентосных групп фауны на смену раннесилурийским целентератам пришли представители родов *Squameofavosites*, *Riphaeolites*, *Coenites*, *Striatopora*, *Laceripora*, *Thecostegites*, *Thecia*, *Rhabdacantia*, *Cystiphyllum*, *Nardophyllum*, *Dokophyllum* и *Spongophyllum*, брахиоподы *Greenfieldia*, *Lenatoechia* и *Didymothyris*. В раннем пржидоле ведущая роль в палеоценозах принадлежала брахиоподовым сообществам, которых в середине века сменили кораллово-строматопоратовые сообщества. На поздний пржидол пришелся расцвет табулят отряда фавозитид, образующих совместно с сиринопоридами и строматопоратами массовые скопления из нарастающих друг на друга колоний. В конце пржидольского века в результате регрессии моря в большинстве биотопов макрофаунистические сообщества сменились остракодовыми ассоциациями. При этом значительная часть силурийских видов целентерат и брахиопод прекратила свое существование.

На протяжении большей части раннего девона осадконакопление характеризовалось регрессивной направленностью, что пагубно отразилось как на развитии морской биоты, так и на уровне ее

разнообразия. В лохковском веке среди целентерат почти целиком исчезли строматопораты. В то же время в первой половине века среди целентерат появились новые роды – *Tiverina*, *Pachyfavosites*, *Parastristopora*, *Spongophyllum*, *Neomphyma*, *Salairophylum* и др. Пространственно-временное соотношение форм девонских кораллов ругоз в основных фациальных зонах показано на рис. 2. Су-

щественно обновилось сообщество брахиопод, среди которых наиболее характерными явились виды родов *Ambocoelia*, *Mesodouvillina*, *Iridistrophia*, *Protathyris* и др. [1-4].

Начавшаяся в конце лохковского века крупнейшая в девоне регрессия моря продолжалась в пражском и раннеэмском веках. Западная граница бассейна находилась в районе осевой зоны ны-

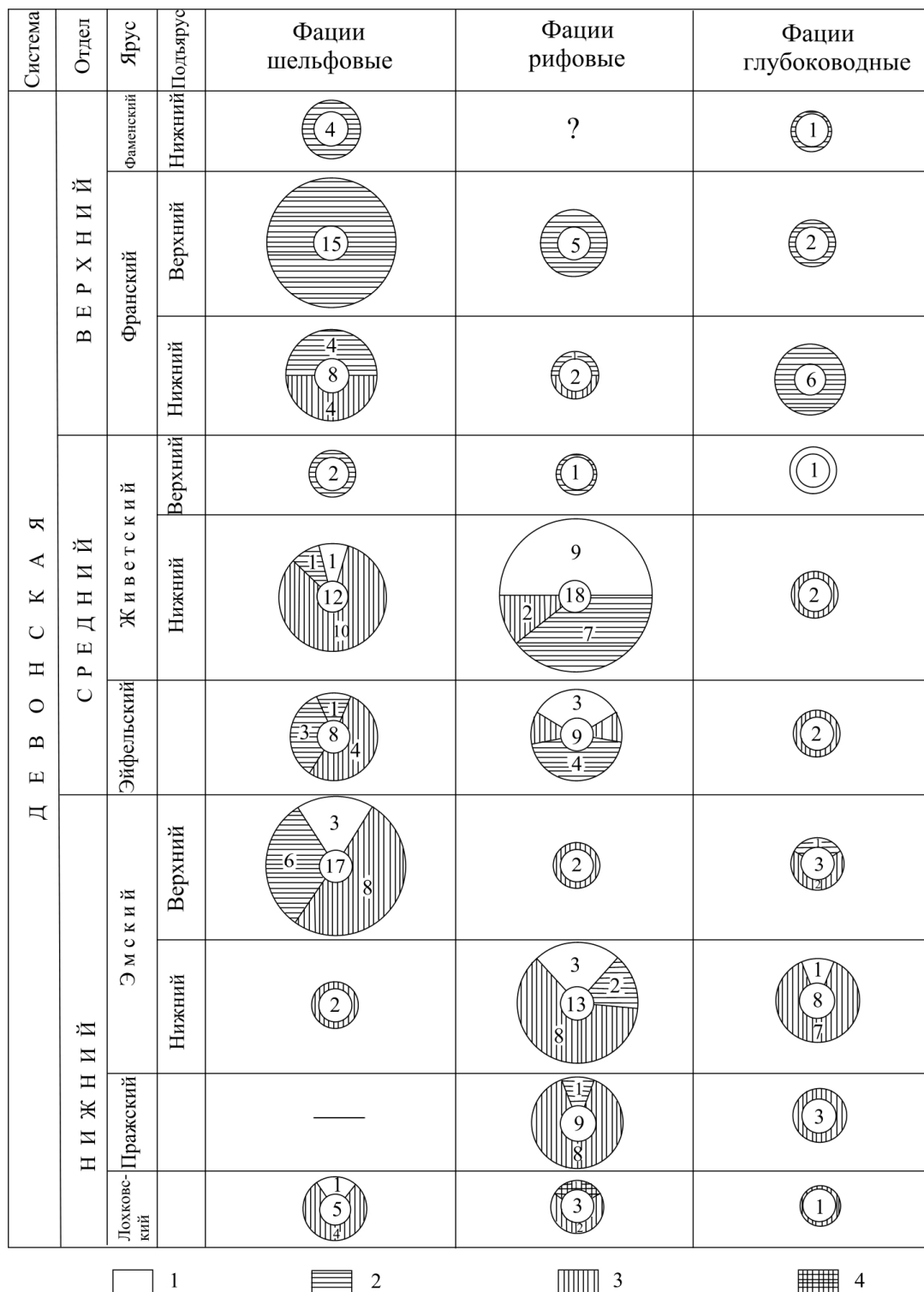


Рис. 2. Соотношение пространственно-временных форм видов девонских кораллов ругоз на европейском Северо-Востоке в трех основных фациальных зонах: шельфовых, рифовых и глубоководных. 1 – неоэндемики, 2 – полирегионалы, 3 – полипровинциалы, 4 – реликтоэндемики; цифры в центре обозначают общее количество видов.

нешнего Предуральского краевого прогиба. Основные биотопы рассматриваемых групп морских организмов были приурочены к рифовым постройкам и пририфовым отложениям. В прагиене число их родов и видов, по сравнению с лоховом, сократилось более чем на треть. При этом на родовом уровне среди табулят обновление не отмечено, тогда как среди ругоз выявлены шесть новых родов (*Astrictophyllum*, *Lyrielasma*, *Zelophyllia* и др.), а среди брахиопод – десять (*Ivdelinia*, *Siberella*, *Nymphorhynchia*, *Pugnoides* и др.).

Усилившаяся в раннем эмсе дифференциация биотопов и частичное восстановление связей с морскими бассейнами других регионов привели к существенному обновлению биоты целентерат и брахиопод. Среди первых появились табуляты родов *Squameofavosites*, *Alveolites*, *Calipora*, *Cladopora*, ругозы *Columnaria*, *Loyolophyllum*, *Xystriphyllum*, *Aculeathophyllum*. Среди брахиопод половина родов – *Schizophoria*, *Pentamerella*, *Schuchertella*, *Eodevonaria*, *Strispirifer* и другие на данном стратиграфическом уровне также появились впервые.

Очередная перестройка сообществ морской биоты связана с крупнейшей в раннедевонской истории Печорской плиты позднеэмской трансгрессией. Последняя достигла северо-восточной окраины Южного Тимана и существенно расширила площади биотопов бентосных организмов. Вместе с тем трансгрессия привела к гибели почти всех рифовых построек и к ликвидации приуроченных к ним биотопов. В результате в позднем эмсе на всей территории Печорской плиты стали преобладать существенно обновленные бентосные сообщества ровного дна. Обширные площади мелководного шельфа очень быстро заселились многочисленными мигрантами – как целентератами, так и брахиоподами. Среди них, за исключением трех видов ругоз рода *Glossophyllum* и одного вида брахиопод рода *Gypidula*, преобладали виды и роды широкого географического распространения [4-6].

В среднедевонскую эпоху таксономический состав целентерат и брахиопод существенно обновился. Среди целентерат появились представители 20 новых родов, которые предпочитали селиться на твердом дне или на рифовых постройках. Таксономическое разнообразие табулят характеризовалось качественным обновлением родового состава. Практически прекратили свое существование фавозитесы и сквамеофавозитесы, наибольшее распространение получили альвеолитесы, крассальвеолитесы и сиринопоры. Рифовые сообщества табулят отличались преобладанием эндемичных видов, среди которых наиболее многочисленными являлись представители семейства *Syringoporidae* – роды *Syringopora*, *Armalites*, *Tetra-porinus*. Значительным было также обновление в эйфеле сообществ брахиопод: 10 новых родов из 23. В целом большая часть среднедевонской эпохи является временем расцвета практически всех групп организмов. Одной из причин такого скачка в развитии сообществ среднедевонских организмов явилось нахождение территории европейского Северо-Востока в зоне субтропического климата.

В результате позднеживетского таганик-пашийского события среднедевонская эпоха завер-

шилась существенным падением уровня моря и преобладанием на значительной части территории региона терригенного и терригенно-карбонатного осадконакопления [7]. Это привело к вымиранию большинства существовавших в среднем девоне таксонов организмов, а также к коренной перестройке сохранившихся, но существенно обновленных сообществ. Табуляты на этом уровне были представлены редкими остатками рода *Aulopora* и единственным эндемичным видом рода *Adetopora* (*A. rugulosa*), а ругозы – тремя полирегиональными видами рода *Disphyllum* и эндемичным видом рода *Frechastraea* (*F. pentagoniformis*). Более обширен комплекс брахиопод, включавший семь родов, самыми многочисленными среди которых являлись эндемичные виды рода *Uchtospirifer*.

Трансгрессивное эвстатическое событие Фран в начале позднедевонской эпохи привело во франском веке к существенному обновлению биотопов, прежде всего, за счет мигрантов из Лаврентии и Западной Европы. Одновременно на территории Печорской плиты произошла существенная фациальная дифференциация осадконакопления на шельфе, приведшая к формированию обширных “доманиковых” впадин со специфическими комплексами нектонных и бентосных организмов. В позднем фране на территории Тимано-Северорусальского региона существовало лишь несколько космополитных видов табулят родов *Alveolites*, *Crasialveolites*, *Thamnopora*, *Syringopora* и *Aulopora*.

Произошедшее в конце франского века бескислородное событие Кельвассер привело к очередному вымиранию многих групп организмов. Среди них наиболее значительный урон понесли целентераты. В результате рубеж фран/фамен смогли преодолеть только отдельные их представители. Брахиоподы преодолели границу с фаменом также с ощутимыми потерями: прекратили свое существование отряд атрипид, многие представители отрядов строфоменид, ринхонеллид и спириферид. Часть освободившихся экологических ниш заняли вновь появившиеся роды. Тем не менее, по разнообразию фаменские брахиоподы существенно уступают франским представителям этой группы фауны.

Основная тенденция в развитии табулят и ругоз в карбоне и перми проявилась в специализации образований почти во всех сохранившихся отрядах этих организмов. Существенная вспышка их биоразнообразия отмечена в визейском веке каменноугольного периода. Однако уже в конце его произошло значительное сокращение фауны фильтраторов и дальнейшее их развитие на территории Печорской плиты характеризовалось постепенным угасанием. Это выразилось в конце визейского века в резком обеднении каменноугольных табулят. На место крупноколониальных сиринопор пришли мелкие толстостенные космополитные мультитекопорицы (*Multithecopora*, *Neomultithecopora*), которые продолжили свое существование в среднем и верхнем карбоне (рис. 3). Высокий уровень специализации целентерат в целом отрицательно сказался на их способности адаптироваться к меняющимся условиям среды. Результатом явилось практически полное их вымирание к концу ранней перми. В отличие от целентерат брахиоподы сохранили относительно высокий уровень разнообразия видов и

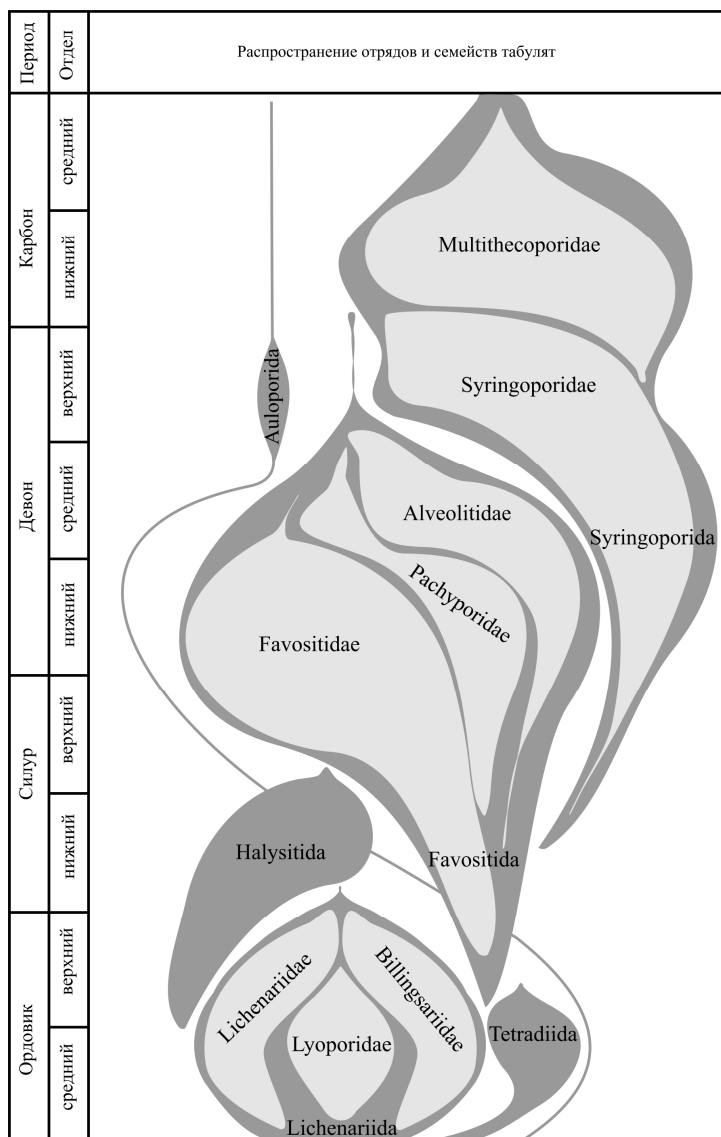


Рис. 3. Соотношение господствующих отрядов и семейств табулят в палеозое в Тимано-Североуральском палеобассейне.

родов на протяжении всего карбона и ранней перми. Угасание и окончательное вымирание палеозойских представителей этой группы фауны на территории региона произошло в казанском веке перми.

Анализ динамики развития фауны остракод в различных зонах позднефаменско-раннекаменноугольного североуральского палеобассейна показал, что биогеособытийные рубежи, связанные с эвстатическими колебаниями уровня моря, по-разному отразились на их сообществах в различных зонах шельфа. Соотношения появляющихся и проходящих видов в сообществах остракод североуральского палеобассейна в раннем карбоне позволяют наметить несколько рубежей, на которых происходили резкие изменения в составе сообществ остракодовой фауны (рис. 4).

Граница девона и карбона отмечена в отложениях бортов шельфовых впадин увеличением видового разнообразия остракод за счет появления типичных раннекаменноугольных их представителей. Однако смена комплексов происходила постепенно, так как часть фаменских видов остракод

продолжала существовать и в раннем карбоне. В то же время в глубоководных впадинах на этом рубеже видовое разнообразие сообществ остракод снизилось. На смену их фаменским сообществам, обитавшим в глубоководных шельфовых впадинах, пришли представители раннекаменноугольных сообществ бортов внутришельфовых впадин и остракоды сообществ открытого шельфа. Их глубоководный комплекс практически полностью исчез, но глубоководный облик самих отложений не изменился: в них так же преобладали глинисто-карбонатно-кремнистые радиоляриевые отложения с прослоями карбонатных песков турбидитного происхождения. Таким образом, произошла практически полная смена фауны остракод.

Вблизи границы фамен/турне как на региональном уровне, так и во многих регионах мира фиксируется глобальное хангенбергское регрессивно-трансгрессивное событие, с которым связано массовое вымирание различных групп организмов. Его проявление в Кожимской впадине явилось причиной массового вымирания представителей глубоководного комплекса фауны остракод. В то же время в Тюрингии (Германия) значительная часть аналогичного комплекса остракод продолжала существовать и в раннем карбоне [8]. В более мелководных отложениях бортов впадин проявление этого события не носило катастрофического характера и отличалось плавным эволюционным переходом.

В раннем турне на рубеже упинского и висимского (ягтыдинского) времени произошло постепенное, но существенное (~ на 40%) обновление сообществ остракод. При этом общее видовое разнообразие остракод снизилось на четверть (рис. 4). В различных частях североуральского палеобассейна эти изменения проявились по-разному. В зоне мелководного шельфа висимский (ягтыдинский) комплекс остракод стал в пять раз беднее, чем малевско-упинский, а в зоне бортов внутришельфовых впадин, наоборот, происходило постепенное увеличение видового и родового разнообразия остракодовой фауны за счет представителей отрядов *Beyrichicopida*, *Limbatulocopida*, *Kloedenellocopida*. Обедненные сообщества остракод были приурочены к отложениям, формировавшимся во впадинах шельфа [6].

Значительное снижение видового разнообразия в мелководных зонах, вероятно, было связано с постепенной регрессией, достигшей своего максимума в раннечерепетское время. Всплеск видового и родового разнообразия остракод в бортовых частях бассейна частично связан с миграцией в эти экотопы мелководных остракод при регрессии, а также новых видов и родов из сообществ бортов внутришельфовых впадин. Резкое обеднение комплекса остракод глубоководных впадин, скорее всего, связано с кратковременной трансгрессией в позднечерепетское время.

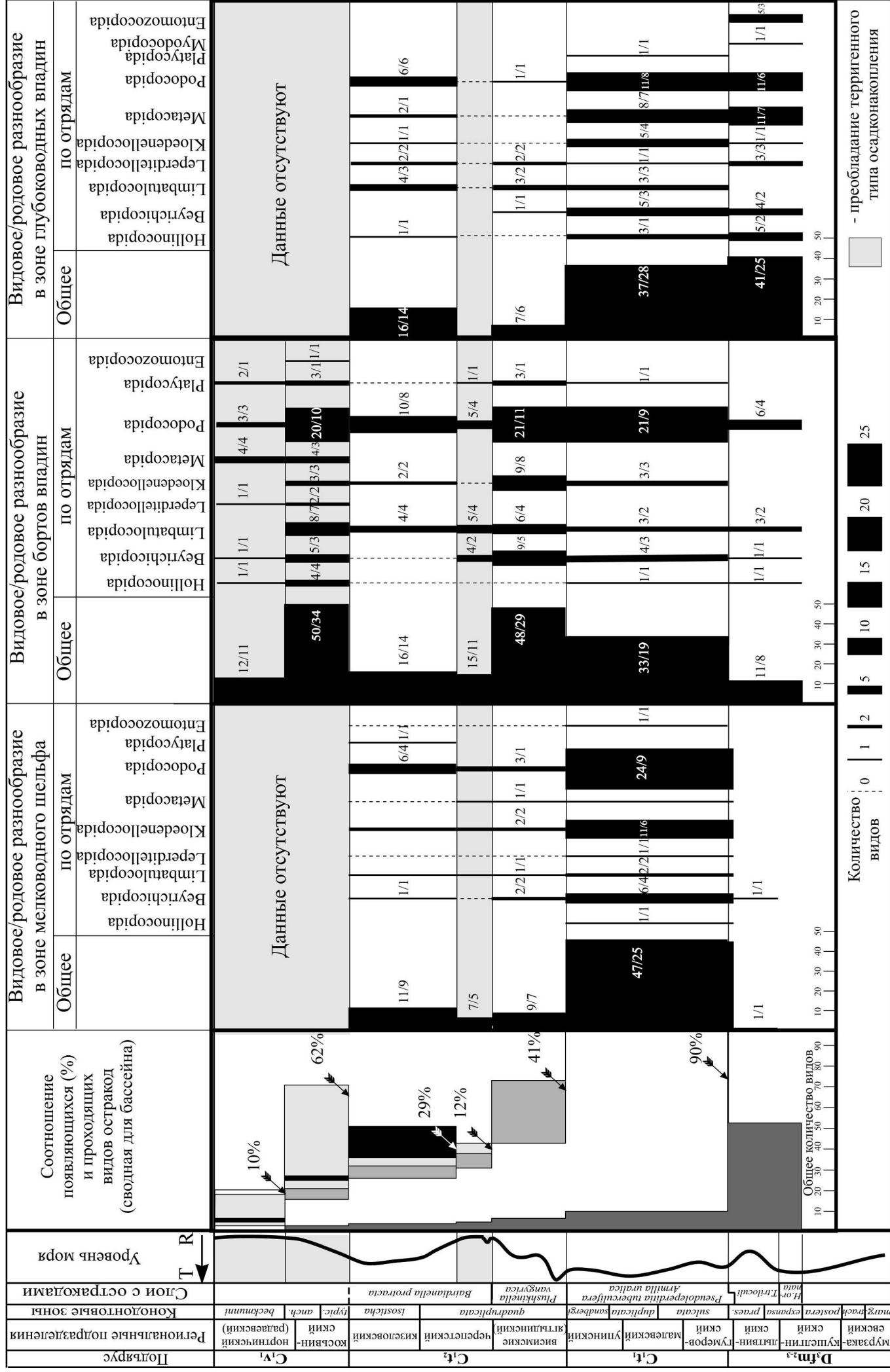


Рис. 4. Видовое разнообразие остракод североуральского палеобассейна в позднефаменско-ранневизейское время в различных зонах шельфа (цифры в числителе обозначают видовое, а в знаменателе – родовое разнообразие).

В целом, критические явления в развитии раннекаменноугольных остракод, связанные с эвстатическими колебаниями уровня моря, по-разному отражались в различных зонах шельфа. Наиболее резко они проявлены в мелководных и глубоководных зонах. На мелководье существенную "критическую" роль играли регрессии, а в глубоководных шельфовых впадинах – трансгрессии. Более спокойно на изменение глубин реагировали сообщества остракод, селившихся в бортовых зонах склонов впадин, где резкие колебания уровня моря вызывали всплески видообразования.

Заключение

Приведенный в статье анализ позволил воссоздать основные черты сценария формирования палеозойской биоты на европейском Северо-Востоке. На основе анализа эволюционных трендов и динамики разнообразия ряда широко распространенных в палеозое групп морских животных организмов на европейском Северо-Востоке выявлена важная, а в некоторых случаях определяющая роль в этих процессах событийных явлений. Причиной кризисов в эволюции ископаемой биоты региона, приводивших в большинстве случаев к перестройкам структуры сообществ и вымираниям, являлись, прежде всего, существенные изменения условий обитания или полная ликвидация биотопов в результате колебаний уровня Мирового океана. В целом, выявлено существенно более активное влияние на эволюцию организмов и их разнообразие изменений среды их обитания (рис. 5), нежели влияние организмов на эту среду. Эта тенденция, судя по всему, претерпела коренное изменение только с появлением человека и началом его активной хозяйственной деятельности.

Работа выполнена при поддержке Программы Президиума РАН № 15 «Происхождение биосферы и эволюция гео-биологических систем» (Проекты № 09-П-5-1010, № 09-П-5-1012).

Литература

1. Безносова Т.М. Сообщества брахиопод и биостратиграфия верхнего ордовика, силура и нижнего девона северо-восточной окраины палеоконтинента Балтия. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 218 с.
2. Опорные разрезы пограничных отложений силура и девона западного склона севера Урала / Отв. ред. В.С. Цыганко, В.А. Чермных. Сыктывкар, 1983. 103 с.
3. Ордовик Приполярного Урала. Палеонтология. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. 242 с.
4. Першина А.И., Цыганко В.С., Боринцева Н.А. Биогеографическое районирование Европейского Севера СССР (девонский период). Л.: Наука, 1976. 103 с.
5. Соболев Д.Б. Остракоды и биостратиграфия турнейского яруса севера Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 113 с.
6. Цыганко В.С. Девонские ругозы севера Урала. Л.: Наука, 1981. 220 с.

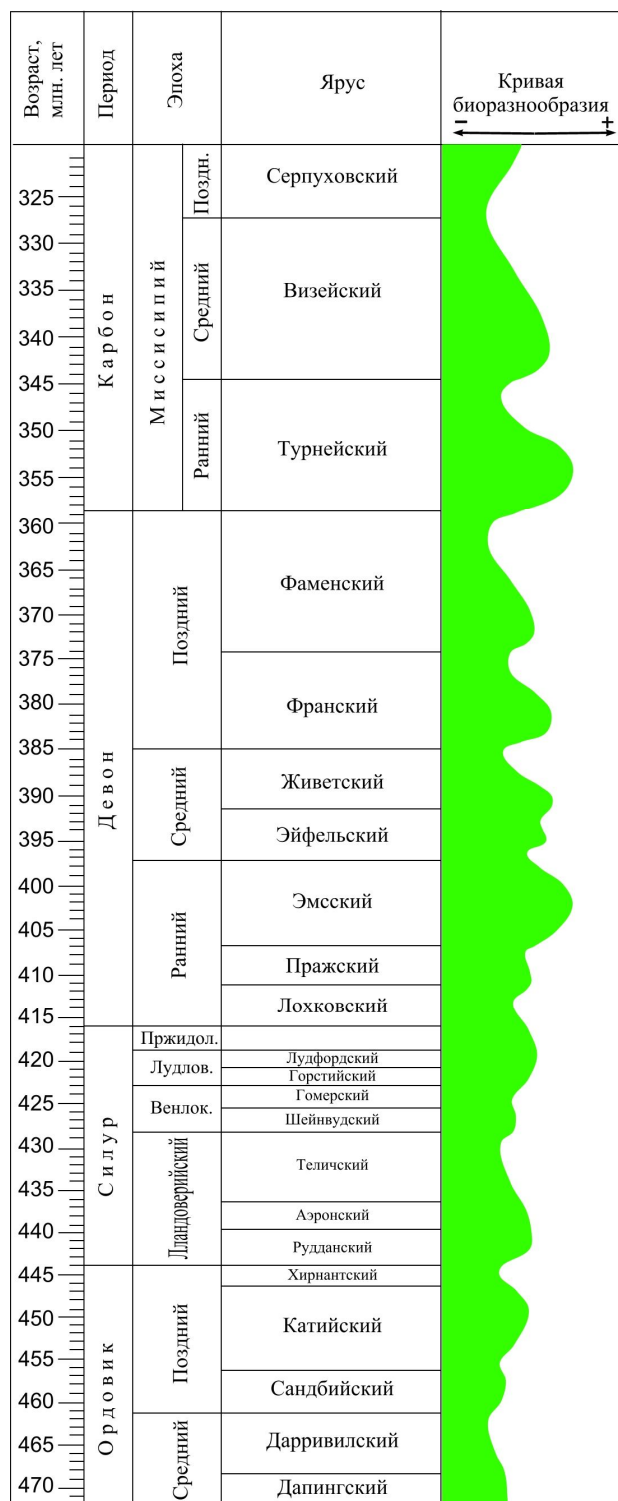


Рис. 5. Сводный график биоразнообразия палеозойской биоты на европейском Северо-Востоке в течение среднего ордовика–раннего карбона.

7. Цыганко В.С. Цикл событийных явлений на рубеже среднего и верхнего отделов девона // Доклады РАН, 2009. Т.428. № 4. С. 505-507.
8. Blumenstengel H. Die Ostrakoden fauna der Wocklumeria-Stufe (Oberdevon) bei Saalfeld im Thuringer Schiefergebirge // Zeitschrift geol. Wiss., 1979. Bd. 7. H. 4. S. 521-557.

ПРОБЛЕМА ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ МЕДНЫХ РУД СРЕДНЕГО ТИМАНА

О.С. КОЧЕТКОВ, О.В. СОЛОВЬЕВА

*Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта
oksana.miki@rambler.ru*

Охарактеризованы особенности литофациального состава туфоосадочных меденосных отложений кыновского пестроцветного горизонта франского яруса верхнего девона (Цилемская рудоносная площадь) на Среднем Тимане. Выделены 12 литологических типов меднорудных пород, преимущественно с тонкодисперсной рудной вкрапленностью. Дана методическая схема минералогическо-геохимического и технологического исследования подобных пород. Предложена экспериментально проверенная методика термической обработки пород с тонкодисперсной минерализацией с целью выделения синтетических фаз сегрегации металл – интерметаллид. Рудоносный потенциал пород с тонкодисперсной меднорудной минерализацией определяется нами в 1%, что делает проведенные исследования практически весьма значимыми.

Ключевые слова: Средний Тиман, руды, базальт, верхний девон, медь

O.S. KOCHETKOV, O.V. SOLOVYEVA. TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT PROBLEM OF THIN DISPERSION COPPER ORES OF MIDDLE TIMAN

Features of litho-facial composition of the tuffaceous-sedimentary copper deposits of Kynov variegated horizon of the Upper Devonian (Cillma ore-bearing area) in the Middle Timan were characterized. Twelve lithological types of the copper rocks with thin dispersion ore impregnation were distinguished. The methodical plan of mineralogical-geochemical and technological investigations of similar rocks was given. Experimentally verified methods of the thermal treatment of the rocks with thin dispersion mineralization were proposed to isolate synthetic phases of the segregation «metal-intermetallic». Metalliferous potential of the rocks with thin dispersion copper mineralization are determined as one per centage and conducted research are very important practically.

Key words: Middle Timan, ores, basalt, the Upper Devonian, copper

Вопросы комплексного минералогического анализа тонкодисперсных медных руд в последнее время рассматриваются в качестве обязательного компонента геологоразведочных работ [1], поскольку его результаты существенно дополняют (включая минеральные образования на наноуровне) методику обогащения и объемы выделяемого полезного минерала и его спутников, качество минерального сырья для дальнейшей переработки концентрата.

В пределах Тиманского кряжа на примере полисульфидных руд верхнедевонского вулканосадочного литокомплекса Северного и Среднего Тимана мы рассматриваем тонкодисперсные медные руды [2, 3]. Они тесно связаны с проявлениями конкреционных желваковых руд в составе дельтовых осадочных фаций при наличии продуктов базальтового вулканизма в виде туфолав и пирокластолитов с первичной тонкодисперсной рудной минерализацией. Фациальное разнообразие вулканосадочных пород (от туфолав до туфопсаммитов) обуславливает неоднородность распределения рудной минерализации. В пределах Цилемской площади Среднего Тимана нами выделено 12 литотипов рудоносных пород (таблица).

Для оценки технологических свойств рудоносных пород первоначально необходимо детально

изучить выделяемые различные литотипы рудоносных пород. Поэтому нами уделено особое внимание вопросам методики их вещественного изучения (рисунок). Для контроля производится подсчет меднорудных минеральных зерен в аншлифах, учитывая занижение в некоторых случаях (в пробах, обогащенных железом) содержания меди при спектральном анализе.

В кыновском пестроцветном горизонте туфопороды образуют мощные до 10 м и более пачки туффитов (от пелито- до псаммозернистых), заключающих линзы псаммитов в 4-5 м мощностью и 10-30 м протяженностью.

Микроскопическое изучение вулканосадочных пород на Цилемской площади показало широкое распространение, помимо трапповых покровов, в бассейне р. Цильмы базальтовых вулканических и пирокластических пород, варьирующих от туфолав до туффитов. Последние сложены преимущественно кристаллокластическим материалом кварцполевошпатового состава и хлопьевидными пирокластами зеленого и зеленовато-коричневого паланигитизированного вулканического стекла, образующих цементирующую массу. В туффитах пирокластическая составляющая составляет 50-60% объема породы, которая в остальной части сложена кластическим материалом.

Литологические типы меднорудных осадочных пород

Описание литотипа	Меднорудные минералы. Их типоморфные признаки	№ образцов
1. Красно-коричневый аллювиальный псаммолит, неслоистый, с обломками красного пелитолита	«Фитоморфозный» халькозин, замещающий растительный углистый детрит	18 (92)
2. Пестроцветный, серо-красный аллювиально-дельтовый туфопсаммолит, с мелкой разнонаправленной слоистостью (окраска первичная)	1) Борнит-халькозиновая вкрапленность с хризokolлой; 2) Халькопирит, аутигенный, лапчатый, «фитоморфозный». Иногда обломочные зерна;	51, 86, 67, 106
3. Сероцветный псаммолит, горизонтально- до косослоистого, за счет темно-серых слоев, обогащенных рудными зернами	Халькопирит, борнит, халькозин в обломочных зернах Гипергенный малахит, тенорит	5, 12a(92)
4. Сероцветный туфопсаммолит, неслоистый	1) «Фитоморфозный» халькозин, халькопирит; 2) Халькопирит и хризokolла в обломочных крупных зернах;	50, 39, 9, 103
5. Желтовато-серый псаммолит с обильным углистым детритом	«Фитоморфозный» халькозин с обломочными зернами борнита Гипергенный малахит	58, 1(92), 2(92)
6. Красноцветный пелитолит (с включениями крупных углистых обломков).	«Фитоморфозный» халькозин и выделения хризokolлы	92, 97
7. Красноцветный туфопелитолит, псаммитистый	«Фитоморфозный» халькозин и выделения хризokolлы	34, 18, 9(92)
8. Зеленоцветный до сероцветного оглееный пелитолит, с растительным детритом	1) «Фитоморфозный» халькозин; 2) «Борнитизированные» углистые обломки;	65
9. Темно-зеленовато-серая с красновато-коричневыми пятнами туфолава	Прожилково-вкрапленный халькопирит, борнит с хризokolлой	70, 16, 4, 6
10. Халькозиновые фитоморфозы в виде «желвакового» горизонта в зеленовато-серых оглееных озерно- лагунных пелитолитах	Фитоморфозы халькозина с пиритом и халькопиритом по крупным обломкам стеблей плаунововидных растений	без нумерации
11. Темно-зеленый туффит с «запечатанной» ихтиофауной. Подводный эксплозивный биолит	Рассеянная вкрапленность халькопирита, борнита	69, 89
12. Серый псаммолит, косослоистый, с обломками остатков ихтиофауны и растений. Эксталяционно-потоковый дельтовый	Замещение костных и углистых обломков халькопиритом, борнитом, халькозином Гипергенный малахит	54, 8(92), 14(92), 15(92)



Рис. Схема комплексного вещественного исследования пород.

Когда ее объем превышает 90%, туффит переходит в туф. Туфолавам свойственна флюидальная или мелкопузыристо-флюидальная текстура.

Также в разрезе толщи присутствуют туфопсаммолиты, туфоалевролиты и туфопелитолиты. Главными породообразующими минералами в них служат: кластогенные – кварц, полевые шпаты, вулканическое стекло; аутигенные – кальцит; второстепенными являются гетит, гематит, гидрослюда. Акцессорные рудные минералы представлены сульфидами меди, преимущественно халькозином, который локально цементирует субстрат и одновременно замещает в нем обломочные зерна углестого детрита, образуя микрофитоморфозы. Присутствуют также хризоколлы, замещающая вулканическое стекло, и лейкоксен.

В псаммолитах, которые имеют разные окраски, распределение вкрапленности сульфидов неоднородно. Пятнистые сгущения сульфидов вплоть до цементации свойственны неслоистым сероцветным псаммолитам, а послойное распределение характерно для сероцветных и пестроцветных псаммолитов с горизонтальной или мелкой косой слоистостью, к которым и приурочена сульфидная минерализация.

В пестроцветных псаммолитах «фитоморфозный» процесс халькозинизации тесно связан с более общим наложенным процессом оглеения и осветления породы, обуславливая проявление халькозиновой цементации в пределах глеевых пятен. Кроме того, в породе присутствуют обломочные зерна борнита, халькозина, халькопирита.

В красноцветных туфопелитолитах заметна реликтовая туфовая текстура с палагонитом и рассеянными рудными зернами алевритовой размерности, сложенными преимущественно халькозином, а также хризоколлой. Образование перечисленных минералов имеет явно первичный постмагматический характер.

Базальтовые вулканы в бассейне р. Цильмы представлены кайнотипными базальтами, а также диабазами и диабазовыми мандельштейнами. Эти три типа вулканитов зачастую связаны взаимопереходами, поэтому для разделения их по возрасту нет оснований. Мандельштейны и долериты, выделяемые согласно классификации А.Н. Заварицкого, сложены зеленым вулканическим стеклом, плагиоклазом, авгитом, титаномагнетитом [4]. В мандельштейнах миндалины выполнены или радиально-лучистым раскристаллизованным палагонитом, цеолитами, кальцитом или халцедоном. Главная составная часть – палагонит. Долеритам часто свойственна прекрасно различимая даже визуально полнокристаллическая структура. Палагонит в них занимает лишь интерстиции между лейстами плагиоклаза и кристаллами авгита, которые составляют главную массу породы. Нами в ряде случаев зафиксирована в пластовых вулканитах мелкозернистая вкрапленность минералов меди, в первую очередь халькопирита, халькозина и борнита. Аналогичная вкрапленность обнаружена и в долеритовой дайке по правому берегу р. Цильмы, вблизи устья р. Рудянки.

Привлечение к исследованиям микрозондового анализа на сканирующем микроскопе JSM-6400 позволило открыть в вулканитах новые мед-

норудные и другие рудные минералы микронных размерностей [5]: такие как электрум (смесь золота, серебра и меди), медистое золото, TR- сплав, самородные цинк, серебро, медь, никель, вольфрам, алюминий и олово, выявить новые рудные фазы гомеоатомного, интерметаллидного составов, которые, с одной стороны, могут рассматриваться как парагенные минералы меди в вулканогенном минералообразовании, а с другой – могут характеризоваться как альтернативные, по парагенетическим связям, микрорудные фазы. К последним могут быть отнесены W, Sn, Al, самородные, и TR - сплавы. При этом одни выделения имеют эвгедральные формы микронной размерности, а другие, напротив, ангедральные формы выделений.

Одна из наиболее вероятных версий объяснения механизма выделения упомянутых фаз такова. Эвгедральные формы кристаллизации определяются сравнительно высокими их концентрациями в базальтоидах и медленной скоростью роста кристаллов.

Ангедральные формы отвечают случайным фазам ассимиляционного «захвата» магмой минеральных частиц, вероятно, попавших в магматический расплав из внешней среды. Так, например, включения TR-сплава, скорее всего, связаны с попаданием в магму из водоема коллофанитовых обломков TR- содержащей ихтиофауны. При растворении ее в расплаве фосфор ассимилируется магмой, при этом наиболее высокие по своей энергетике редкие земли образуют самородные стяжения. Тем же ассимиляционным путем попавшие в магму обломочные зерна бокситов, очевидно, были преобразованы в самородный алюминий. Таким образом, по данной версии, идиоморфизм минеральных выделений повышается при геохимическом «родстве» (высокие кларки) металлов типу магмы. Соответствующий парагенезис рудных минералов свидетельствует о мантийном источнике «родственных» металлов, в том числе и меди в составе базальтов. Геохимически альтернативные металлы попадают в число ассимилированных металлов из вмещающей магматиты среды.

В технологическом плане обработки проб нами были проведены экспериментальные работы по извлечению меди и сопутствующих металлов из пород путем термической обработки с последующим гидравлическим отделением рудной составляющей [5].

Включения минералов и техногенных фаз также были диагностированы с помощью микрозондового анализа, что позволило расширить спектр имеющихся природных металлических и интерметаллических фаз за счет новых синтетических.

Проба размалывалась и растиралась механическим способом, как и активированный уголь. Затем порошки смешивались с образованием исходной для нагревания шихты, которая была прокалена при разных температурах (от 500 до 1000 °C). В дальнейшем из всех полученных порошков были сделаны аншлифы.

После прокаливания с активированным углем до 900 °C образцов фазы металл – интерметаллид остаются, возможно, несколько увеличиваясь в объеме за счет стяжения рассеянного в породе металлического самородного вещества и его спекания.

Наличие в исходной шихте добавки активированного угля способствовало при нагреве в интервале (700 - 900) °С сгоранию последнего, частичному окислению железа и переходу $Fe^{+2} \rightarrow Fe^{+3}$ с образованием магнетита. В другом образце, где была температура 1000 °С (максимальная), и сгорание активированного угля наиболее полное, почти все Fe^{+3} перешло в новую синтетическую фазу – гематит (Fe_2O_3) – бордовая окраска, но с небольшой примесью магнетита. Эти две фазы представляют конечные продукты перекристаллизации исходного тонкодисперсного гидрооксидного и оксидного железа при высоких температурах, как преобладающего металла в минеральном субстрате [5].

Таким образом, в результате эксперимента получены в свободном виде самородные железо, медь, свинец и интерметаллические сплавы различного состава (электрум, медистое серебро и новая редкоземельнофосфатная фаза), которые в значительной степени следует рассматривать как новые синтезированные фазы. Последние отражают переход в результате термообработки рудных компонентов с нанометровой размерностью на более высокую (гранулометрический уровень), легко диагностируемую и выделяемую.

Значительная часть синтезированной меди связана с восстановлением тонкодисперсных вкраплений меднорудных минералов. Новые синтезированные фазы – это явные продукты стяжения в восстановительной среде изоморфно рассеянных рудных компонентов. Проведенный эксперимент позволил убедиться в технологической рациональности термической обработки исходной тонкодисперсной руды для выделения полезных компонентов.

Меднорудный потенциал верхнего девона кыновского литокомплекса на Цилемской площади достаточно велик, причем нижний предел содержания меди в рудоносной пачке составляет 1%, и, сле-

довательно, можно говорить о его промышленной значимости с учетом попутных компонентов этого литокомплекса по аналогии с Джезказганским месторождением. Вместе с тем мы находим здесь все признаки вулканического источника меди, что, несомненно, повышает перспективу открытия месторождения тонкодисперсных медных руд, требующих специфичной технологии выделения и разработки.

Работа выполнена в рамках проекта 09-Т-5-1012 “Развитие научных основ эффективных технологий глубокой и комплексной переработки труднообогатимых руд и углей” Программы ОНЗ РАН № 3.

Литература

1. *Пирогов Б.И.* В развитии нанотехнологий тонкодисперсного минерального сырья – будущее технологической минералогии / Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, 2008, №2. С. 12-17.
2. *Кочетков О.С., Микитенко О.В., Филиппов В.Н.* О результатах термической обработки медистых туфолов (река Цильма) // Материалы VIII научно-технической конф.; Ч. I. Ухта: УГТУ, 2008. С. 18-22.
3. *Кочетков О.С.* Древние коры выветривания базитов и связь с ними полезных ископаемых Канино-Тиманской провинции // Труды VII геологической конференции Коми АССР; Т. II. Сыктывкар, 1973. С. 330-333.
4. *Заварицкий А.Н.* Изверженные горные породы. М.: АН СССР, 1955. 480 с.
5. *Кочетков О.С., Колониченко Е.В., Повонский В.И., Филиппов В.Н.* Минерогения меденосных формаций Тимана // Материалы XIV геологического съезда Республики Коми; Т. II. Сыктывкар: Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, 2008. С. 282-284.

УДК 553.874

ПРОБЛЕМЫ РАДИОПРОЗРАЧНОСТИ И РАДИОПОГЛОЩЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ СО СТРУКТУРОЙ КОРУНДА (СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ)

Б.А. ГОЛДИН, Ю.И. РЯБКОВ, Н.А. СЕКУШИН, Л.Ю. НАЗАРОВА

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

Приведены результаты исследования структуры и радиофизических свойств в диапазоне частот 8 – 12 ГГц композиционных материалов, приготовленных из природного ильменита, и алюмооксидной керамики с различным содержанием примесей. Рентгеноструктурный анализ показал, что в обоих случаях преобладает структурный тип корунда. Обнаруженный эффект сильного влияния примесей на радиофизические характеристики позволяет синтезировать как радиопрозрачные, так и радиопоглощающие материалы с одинаковой кристаллической структурой.

Ключевые слова: радиопрозрачность, радиопоглощение, корунд, ильменит

B.A. GOLDIN, Yu.I. RYABKOV, N.A. SEKUSHIN, L.Yu. NAZAROVA.
**PROBLEMS OF RADIOLUCENT AND RADIO ABSORPTION OF CERAMIC
AND COMPOSITIONAL MATERIALS WITH CORUNDUM STRUCTURE
(COMPARATIVE ANALYSIS)**

Research results of the crystal structures and radiophysical properties at frequency range 8 – 12 GHz of compositional materials prepared from natural ilmenite and oxide aluminum ceramics with different admixtures are given. X-ray crystal analysis showed that structural type of corundum is predominated in both cases. Strong influence of admixtures on radiophysical properties is discovered that allows to synthesize radiolucent as well as radioabsorptional materials with identical crystal structure.

Key words: radiolucent, radio absorption, corundum, ilmenite

В настоящее время существует потребность в недорогих радиопоглощающих и радиопрозрачных материалах, которые могут быть использованы для изготовления защитных стенок, экранов и корпусов различных радиотехнических устройств: радиотелефонов, микроволновых печей, радиолокационных станций и др. Это в свою очередь привело к возникновению нового направления в материаловедении, связанного с разработкой функциональных материалов для сверхвысокочастотной (СВЧ) техники. Ниже приведены результаты исследования радиофизических свойств двух материалов: корунда и ильменита, относящихся к одинаковому структурному типу (решетка ромбоэдрическая R3), но совершенно по-разному взаимодействующих с СВЧ излучением.

Электромагнитная волна при падении на керамическую или композиционную пластину частично отражается, что характеризуют коэффициентом отражения ($K_{отр}$). Проходящее через образец СВЧ излучение может поглощаться материалом по двум механизмам. Присутствующие в материале свободные носители заряда переводят энергию элек-

тромагнитного излучения (ЭМИ) в тепло, что можно описать независимым от частоты коэффициентом диффузного поглощения ($K_{полл}$). Второй тип поглощения связан с квантовыми переходами между магнитными уровнями примесных ядер. У диэлектрических материалов диффузное поглощение практически равно нулю ($K_{полл} = 0$). Такие материалы считаются радиопрозрачными [1]. Радиопоглощающие материалы, напротив, имеют высокий коэффициент поглощения ($K_{полл} \approx 1$). Эти материалы пропускают лишь несколько процентов от падающей мощности ЭМИ. Однако они могут иметь довольно высокий $K_{отр}$. Поэтому за эффективность радиопоглощения следует принимать долю потерянной энергии при одном акте отражения. Если $K_{отр} = 0,6$, а коэффициент пропускания $K_{пр} = 0$, то потеря составляет 40%, что является достаточно высоким показателем для радиочастотного поглотителя. В радиопоглощающих материалах необходимо минимизировать электронную составляющую проводимости, поскольку электроны способны экранировать объемную часть образца. Чем меньше электронная проводимость, тем на большую глуби-

ну способна проникать электромагнитная волна. В них также должны присутствовать магнитные моменты, способные взаимодействовать с ЭМИ. Поэтому в радиопоглощающих материалах должны существовать гексаферритовые фазы. Квантовые переходы между магнитными уровнями значительно усложняют картину взаимодействия ЭМИ с веществом. В этом случае все коэффициенты ($K_{отр}$, $K_{полл}$ и $K_{пр}$) становятся зависящими от частоты. При этом из-за явления «накачки» энергии возможно нарушение баланса в потоках энергии: $K_{отр} + K_{полл} + K_{пр} \neq 1$.

Отмечено, что присутствие изоморфных примесей как в радиопрозрачных, так и в радиопоглощающих материалах оказывает значительное влияние на процесс пропускания, поглощения и отражения электромагнитных волн.

На рис. 1 показана в упрощенном виде элементарная ячейка радиопрозрачного материала (корунда Al_2O_3) и радиопоглощающего материала (ильменита $(Ti, Fe)_2O_3$). Выделены в виде фрагментов октаэдров атомные группы Al_2O_3 и $(Ti, Fe)_2O_3$ [2]. В кристаллической структуре корунда имеются две различные позиции атомов алюминия. Радиопоглощающий материал возникает при гетеровалентном замещении: $Al^{3+} \rightarrow Ti^{4+} (Nb^{5+})$ и $Al^{3+} \rightarrow Me^{2+} (Fe, Mn, Mg)$, в результате чего формируется магнитная подрешетка, способная активно взаимодействовать с ЭМИ.

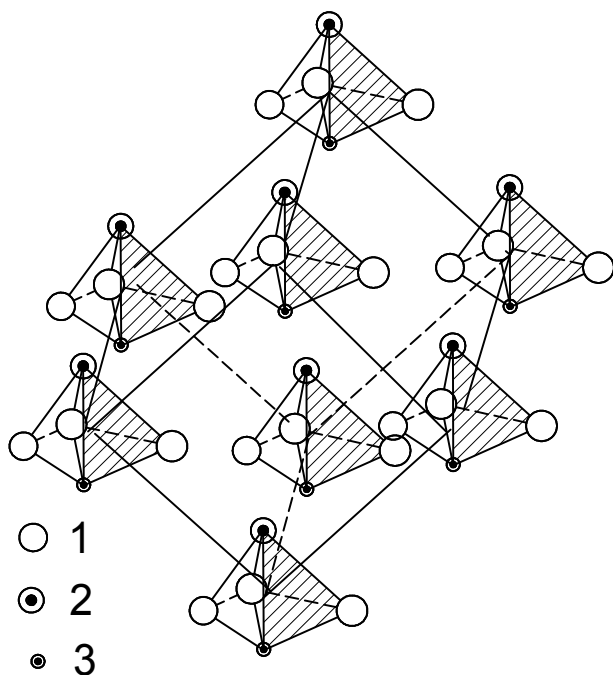


Рис. 1. Элементарная ячейка корунда (тригональная ромбоэдрическая сингония, пространственная группа $R\bar{3}c$ [2]): 1 – атом кислорода; 2 – атом Al в корунде или Fe в ильмените; 3 – атом Al (Cr, Fe) в корунде или Ti в ильмените.

Кристаллическая структура типичного гексаферрита, являющегося хорошим поглотителем ЭМИ [3], построена из шпинельных блоков, разделенных блоками гексагональной структуры. Гексагональные блоки благодаря присутствию в них магнитно активных ядер Fe, Nb вносят основной вклад

в поглощение ЭМИ. Решетку гексаферрита также можно представить как ромбоэдрически деформированную решетку типа $NaCl$.

Установлено, что на коэффициенты пропускания, поглощения и отражения электромагнитных волн в радиопрозрачных и радиопоглощающих материалах влияют примесные фазы ромбической структуры – псевдобрукит Fe_2TiO_5 , колумбит $FeNb_2O_6$, силлиманит Al_2SiO_5 [3].

Были исследованы образцы, полученные по керамической технологии из шихты следующего состава: Al_2O_3 –91,8%, SiO_2 –4,4%, TiO_2 –2,5%, Cr_2O_3 –0,2%, Fe_2O_3 –1,1%. Рентгенофазовый анализ (Shimadzu XRD-6000) материала показал, что при определенных условиях обжига образуется твердый раствор $(Al, Cr, Fe)_2O_3$ со структурой корунда, при этом значительный объем занимает аморфная фаза. В небольших количествах наблюдаются примесные фазы – силлиманит Al_2SiO_5 и псевдобрукит Fe_2TiO_5 . Иначе говоря, образуется твердый раствор $(Al, Cr, Fe)_2O_3$ с искаженной гексагональной структурой, содержащей ромбическую надструктуру псевдобрукита Fe_2TiO_5 и силлиманита Al_2SiO_5 .

Исследование прохождения электромагнитного излучения в диапазоне частот 8–26 ГГц показало, что коэффициент пропускания в среднем составляет около 60 %. Вместе с тем, были обнаружены узкие окна пропускания, через которые проходит до 90 % энергии. На рис. 2 приведены спектры отражения и пропускания корундовой керамики в диапазоне частот 8–12 ГГц.

Появление тонкой структуры, включающей интенсивные полосы пропускания, можно объяснить нелинейными эффектами взаимодействия электромагнитной волны со спинами магнитно-активных ядер. Следует отметить, что исследованная корундовая керамика имеет высокие прочностные характеристики. Прочность на изгиб составляет более 250 МПа. Испытания на ударную динамическую прочность показали, что этот материал можно использовать для изготовления систем индивидуальной бронезащиты (СИБ).

Для получения радиопоглощающих материалов использовалось несколько видов природного железо-титанового сырья. Представительный химический состав исходного сырья: FeO – 35,26%; Fe_2O_3 – 13,36%; TiO_2 – 44,62%; MnO – 5,36%; SiO_2 – 1,75%; Al_2O_3 – 0,99%. Были изучены образцы, полученные с использованием эпоксиполимерной связки. Методом РФА установлено, что в образце в качестве главного компонента присутствует ильменит – фаза со структурой корунда. На рис. 3 приведены спектры отражения и пропускания образцов ильменита в диапазоне частот 8 – 12 ГГц. Из полученных данных следует, что ильменит обладает высокой радиопоглощающей способностью. При каждом акте отражения теряется 30 – 40 % энергии электромагнитной волны. Полученные результаты подтверждают известное из теоретической физики положение о том, что процессы поглощения и рассеивания ЭМИ имеют общую природу. Эта связь для линейных систем отражена в известных соотношениях Крамерса – Кронига [4]. Вероятно, взаимозависимость между поглощением и рассеянием в случае нелинейных процессов также имеет место.

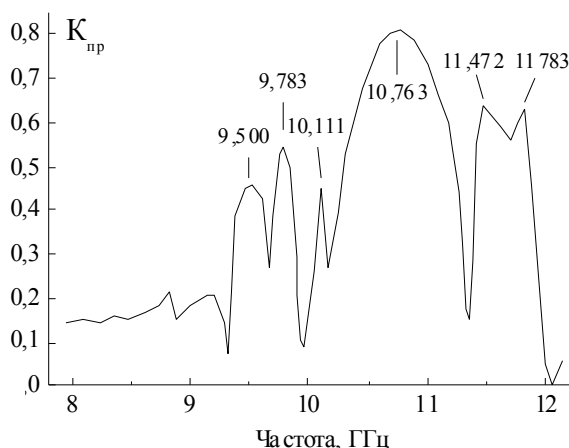
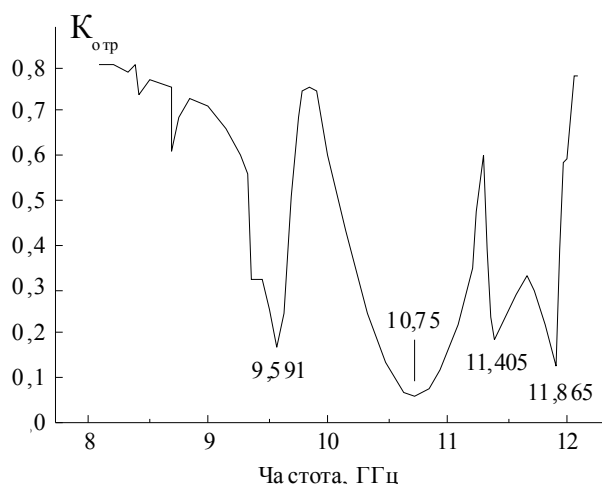


Рис. 2. Спектры отражения и пропускания корундовой керамики.

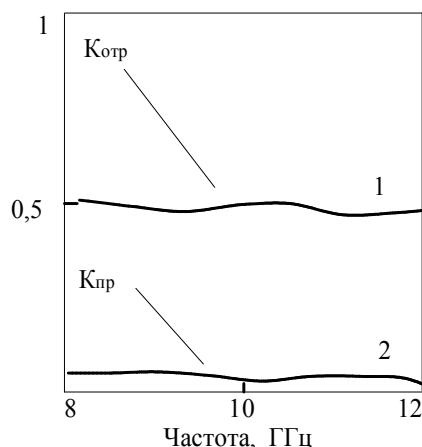


Рис. 3. Частотные зависимости коэффициентов отражения $K_{отр}$ (1) и пропускания $K_{пр}$ (2) ильменита.

Корреляцию между рассеянием и поглощением для исследованных материалов можно объяснить следующим образом. В диэлектрических материалах ЭМИ взаимодействует главным образом с магнитными ядрами, которые в упорядоченных материалах формируют магнитную подрешетку. В результате взаимодействия магнитная подрешетка приобретает повышенную температуру (так называемая, спиновая температура). Радиочастот-

ные свойства системы зависят от того, насколько эффективно магнитная подрешетка способна передать энергию всей кристаллической структуре (спин-фононное взаимодействие). В случае корунда магнитная подрешетка слабо взаимодействует со структурой, что приводит к накоплению энергии (накачке), с последующим ее выбросом. В этом случае будут наблюдаться процессы рассеяния, для которых характерно наличие резонансов (рис.2). В ильмените, который является гексаферритом, напротив, магнитная подрешетка сильно взаимодействует со структурой. В результате этого энергия ядерных спинов передается фононам, что приводит к эффективному поглощению ЭМИ. В этом случае резонансы не проявляются, поскольку накопления энергии не происходит.

Таким образом, радиочастотные свойства керамических и композиционных материалов на основе корунда и ильменита характеризуются одновременным проявлением как рассеяния, так и поглощения. Появление тонкой структуры спектров отражения характерно для твердых растворов со сложным химическим составом. Поэтому для получения радиопрозрачных материалов необходимо минимизировать количество примесей. При синтезе радиопоглощающих материалов, напротив, необходимо вводить магнитоактивные примеси, формирующие диэлектрическую ферритоподобную структуру. Синтезированные из природного ильменита материалы могут быть использованы в качестве поглотителей ЭМИ, а на основе корундовой керамики, содержащей активные примеси, можно производить СВЧ фильтры, пропускающие ЭМИ в узком диапазоне частот.

Литература

1. Гуртовник И.Г., Соколов В.И., Трофимов Н.Н., Шалгунов С.Г. Радиопрозрачные изделия из стеклопластиков. М.: Мир, 2002. 368 с.
2. Ормонт Б.Ф. Структуры неорганических веществ. М.,Л.: Гос.изд-во технико-теоретической литературы, 1950. 986 с.
3. Справочник по электротехническим материалам. В 3-х тт. / Под ред. Ю.В.Корицкого и др. Т.3. Изд.2-е. Л.: Энергия, 1976. 896 с.
4. Левич В.Г. Курс теоретической физики. Т.1. М.: Наука, 1969. 912 с.

ОЦЕНИВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПО НЕКВАДРАТИЧНЫМ КРИТЕРИЯМ ПРИ ОГРАНИЧЕНИЯХ В ФОРМЕ РАВЕНСТВ

М.В. ХОХЛОВ

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

Представлены численные методы оценивания состояния электроэнергетических систем по неквадратичным критериям с учетом ограничений в форме равенств. Показано, что задача эффективно решается методами функции Лагранжа, модифицированной функции Лагранжа и расширенной системы Хачтеля. Приведены результаты экспериментальных исследований разработанных методов на стандартных тестовых схемах электроэнергетических систем.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, оценивание состояния, неквадратичный критерий, ограничения типа равенств

M.V. KHOHLV. NONQUADRATIC CRITERIA BASED POWER SYSTEM STATE ESTIMATION WITH EQUALITY CONSTRAINTS

Solution techniques for nonquadratic criteria based power system state estimation subject to equality constraints are presented. It is shown that the problem is effectively solved using Lagrangian method, augmented Lagrangian method and Hachtel's augmented matrix method. Numerical results are given for standard test power systems

Key words: power system, state estimation, nonquadratic criteria, equality constraints

Решение аналитических задач оперативного контроля и управления электроэнергетическими системами (ЭЭС) возможно лишь при наличии оперативной модели ЭЭС, формируемой в темпе процесса по данным измерительной информации о положении коммутационной аппаратуры и значениях параметров режима. Эта модель необходима для анализа надежности ЭЭС, оптимизации и коррекции режимов, проведения различных имитационных расчетов, связанных с проверкой различных прогнозируемых ситуаций и т.д. Ключевым этапом построения оперативной модели ЭЭС является оценивание ее состояния, подразумевающее нахождение статистических оценок параметров режима, удовлетворяющих некоторому критерию качества. Выбор критерия определяется предположениями о вероятностных свойствах и характеристиках ошибок измерений, неизбежно присутствующих в исходной информации. Традиционно в качестве критерия качества оценок используют минимум суммы взвешенных квадратов невязок измерений, полагая, что ошибки следуют нормальному закону распределения. Благодаря удобным для использования методам минимизации вычислительным свойствам квадратичной функции эта постановка получила самое широкое развитие в работах как отечественных, так и зарубежных исследователей [1-3].

В Отделе энергетики ИСЭиЭПС Коми НЦ УрО РАН разрабатываются методы оценивания состояния ЭЭС по неквадратичным критериям. В отличие

от оценок наименьших квадратов, неквадратичные оценки обладают важным с практической точки зрения свойством робастности [4]: они малочувствительны к нарушениям исходных предположений о распределении ошибок, в том числе к появлению больших непредсказуемых ошибок, возникающих в результате отказов элементов или сбоев в системе сбора и передачи измерительной информации. Вместе с тем, вычислительные свойства задачи существенно отличаются от свойств задачи с квадратичным критерием. В работе [5] был представлен численный метод, демонстрирующий высокую скорость и надежность сходимости вычислительного процесса минимизации неквадратичной функции невязок измерений, основанный на модификации метода Ньютона и применении процедуры расчета оптимального шагового множителя. В данной работе выполнено развитие метода для решения задачи оценивания состояния ЭЭС с ограничениями в форме равенств.

Введение в задачу ограничений в форме равенств вызвано наличием в информации о режиме функционирования ЭЭС детерминированных компонент, таких как нулевые инъекции транзитных узлов. В этих узлах нагрузка и генерация отсутствуют. Таким образом, значения активной и реактивной мощности в них тождественно равны нулю, $P_i \equiv 0$, $Q_i \equiv 0$. Большое количество ограничений-равенств возникает при разворачивании расчетной схемы ЭЭС до уровня коммутационных схем отдельных станций и подстанций, связи соединений в

которых имеют сопротивление либо ноль (выключатель замкнут), либо бесконечность (выключатель разомкнут). Моделирование таких связей в задаче оценивания состояния ЭЭС соответствует заданию тождеств $\Delta U_{ij} = 0$, $\Delta \delta_{ij} = 0$ в первом случае и $P_{ij} = 0$, $Q_{ij} = 0$ во втором, где ΔU_{ij} и $\Delta \delta_{ij}$ – разность модулей и фаз напряжений по концам связи $i-j$, P_{ij} и Q_{ij} – перетоки активной и реактивной мощности через выключатель [6].

Методы учета ограничений, излагаемые ниже, следуют подходу, основанному на использовании множителей Лагранжа. Эти методы хорошо себя зарекомендовали для решения задачи оценивания состояния ЭЭС по критерию наименьших квадратов [7, 8] и могут быть эффективно применены при использовании неквадратичных критериев. Представленный материал ограничен рассмотрением неквадратичного критерия Хьюбера. Обобщение на другие критериальные функции, имеющие непрерывную кусочно-линейную функцию производной, не представляет труда.

Формулировка задачи

Для известных топологии и параметров расчетной схемы ЭЭС модель измерения имеет вид:

$$\bar{y} = y(x) + \xi,$$

где $\bar{y}$ – m -мерный вектор измерений, состоящий обычно из измерений перетоков активных P_{i-j} и реактивных Q_{i-j} мощностей по связям, активных P_i и реактивных Q_i мощностей нагрузки и генерации, модулей напряжений U_i на шинах и др.; x – n -мерный вектор истинного состояния ЭЭС, в качестве компонент которого обычно рассматривают составляющие комплексов напряжений, а также перетоки мощности через выключатели; $y(x)$ – m -мерная нелинейная векторная функция зависимости измеряемых параметров от вектора состояния x ; ξ – m -мерный вектор ошибок, обусловленных погрешностью измерительных трансформаторов, преобразователей, возникновением помех в каналах передачи и пр. Ограничения в форме равенств представляются в виде множества уравнений вида:

$$c(x) = 0,$$

где $c(x)$ – s -мерная нелинейная векторная функция.

Задача оценивания состояния ЭЭС заключается в нахождении оценок состояния вектора $\hat{x}$, который минимизирует неквадратичную функцию взвешенных невязок измерений и удовлетворяет ограничениям $c(x) = 0$, т.е.

$$\text{минимизировать } \sum_{i=1}^m \rho \left(\frac{\bar{y}_i - y_i(x)}{\sigma_i} \right) \quad (1)$$

$$\text{при ограничениях } c(x) = 0, \quad (2)$$

где σ_i – среднеквадратичное отклонение ожидаемой ошибки i -го измерения; $\rho(\cdot)$ – неквадратичная функция Хьюбера:

$$\rho(r) = \begin{cases} \frac{r^2}{2}, & \text{при } |r| \leq a, \\ |r| \cdot a - \frac{a^2}{2}, & \text{при } |r| > a, \end{cases} \quad (3)$$

где $a > 0$. В общем случае слагаемые под знаком суммы, как и аргументы функции (3), могут иметь различные весовые коэффициенты, улучшающие робастные свойства оценки в условиях неоднородности параметров сети и неравноточности измерений [4].

Решение задачи осуществляется итеративным путем. Переход к очередному приближению вектора состояния в соответствие с вычислительной формулой

$$x_{k+1} = x_k + t_k p_k, \quad (4)$$

где k – номер итерации, включает нахождение направления поиска p_k и длины шага t_k , с которым надо двигаться вдоль этого направления.

Расчет направления поиска

Рассмотрим три варианта определения направления p_k , когда задача оценивания состояния ЭЭС содержит ограничения в форме равенств. Все они приводят к различным системам линейных уравнений относительно p_k .

Метод функции Лагранжа. Для задачи (1-2) введем функцию Лагранжа

$$L(x, \lambda) = \sum_{i=1}^m \rho(r_i(x)) - \lambda^T c(x),$$

где λ – вектор множителей Лагранжа, $r_i(x) = (\bar{y}_i - y_i(x)) / \sigma_i$. Тогда необходимые условия оптимальности задачи записываются в виде условий Куна-Таккера:

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial x} = -H^T R^{-1/2} \psi(r) - C^T \lambda = 0, \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} = -c(x) = 0, \end{cases} \quad (5)$$

где $H = \partial y(x) / \partial x$ и $C = \partial c(x) / \partial x$ – матрицы Якоби уравнений измерений и ограничений соответственно, $R = \text{diag}(\sigma_i^2)$ – дисперсионная матрица ошибок измерений, $\psi(r) = [\psi(r_1), \dots, \psi(r_m)]^T$ – вектор-функция, образованная из функций $\psi(r_i) = \rho'(r_i)$

Для решения системы нелинейных уравнений (5) применим модифицированный метод Ньютона [5]. Линеаризуем (5) в окрестности текущей точки

x_k , полагая, что матрицы Якоби в процессе линеаризации постоянные, т.е. $H(x_k + p_k) \approx H_k$ и $C(x_k + p_k) \approx C_k$:

$$y(x_k + p_k) \approx y(x_k) + H_k p_k,$$

$$\psi(r(x_k + p_k)) \approx \psi(r(x_k)) - \tilde{D}_k R^{-1/2} H_k p_k,$$

$$c(x_k + p_k) \approx c(x_k) + C_k p_k,$$

где $\tilde{D} = \text{diag}(\tilde{d}_i(r)) \approx \text{diag}(\rho''(r))$ и получим систему линейных уравнений

$$\begin{bmatrix} H_k^T R^{-1} \tilde{D}_k H_k & C_k^T \\ C_k & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_k \\ -\lambda_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_k^T R^{-1/2} \psi(r(x_k)) \\ -c(x_k) \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Замена функции второй производной $\rho''(r)$ неквадратичного критерия ее положительной аппроксимацией $\tilde{d}(r)$ [5]:

$$\tilde{d}(r) = \begin{cases} 1, & \text{при } |r| \leq a, \\ \alpha \cdot a/r, & \text{при } |r| > a, \end{cases} \quad (7)$$

где $0 < \alpha \leq 1$, обеспечивает несингулярность матрицы коэффициентов при неизвестных p_k и λ_{k+1} .

Заметим, что матрица коэффициентов в (6) симметричная, но знаконеопределенная. Это исключает возможность непосредственного применения традиционных LDL^T -алгоритмов решения разреженных систем уравнений с предварительным символьным упорядочением, используемых при оценивании состояния ЭСС без ограничений, и требует применения специальных методов численной факторизации.

Метод модифицированной функции Лагранжа. Рассмотрим модифицированную функцию Лагранжа, расширенную за счет добавления квадратичного штрафа:

$$L(x, \lambda) = \sum_{i=1}^m \rho(r_i(x)) - \lambda^T c(x) + \frac{1}{2} c^T(x) R_c^{-1} c(x),$$

где R_c^{-1} – положительная диагональная матрица штрафных коэффициентов. В этом случае система нелинейных уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial x} = -H^T R^{-1/2} \psi(r) + C^T R_c^{-1} c(x) - C^T \lambda = 0, \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} = -c(x) = 0, \end{cases}$$

линеаризация которой дает следующую систему линейных уравнений:

$$\begin{bmatrix} H_k^T R^{-1} \tilde{D}_k H_k + C_k^T R_c^{-1} C_k & C_k^T \\ C_k & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_k \\ -\lambda_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_k^T R^{-1/2} \psi(r(x_k)) - C_k^T R_c^{-1} c(x_k) \\ -c(x_k) \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Обозначим $F_k = H_k^T R^{-1} \tilde{D}_k H_k + C_k^T R_c^{-1} C_k$, тогда

матрица коэффициентов в (8) $K_k = \begin{bmatrix} F_k & C_k^T \\ C_k & 0 \end{bmatrix}$. Для

наблюдаемой ЭЭС F_k является положительно определенной матрицей, тогда как в методе функции Лагранжа она может быть вырожденной, если среди ограничений имеются критические по условию наблюдаемости ЭЭС. Эта особенность позволяет в полной мере использовать процедуры факторизации с предварительным символьным упорядочением, не опасаясь появления нулевых диагональных элементов в процессе численного разложения матрицы коэффициентов K_k . Запишем треугольную факторизацию

$K_k = LDL^T$ в виде (индекс номера итерации опущен):

$$\begin{bmatrix} F & C^T \\ C & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_1 & 0 \\ L_3 & L_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_1 & 0 \\ 0 & D_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_1^T & L_3^T \\ 0 & L_2^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_1 D_1 L_1^T & L_1 D_1 L_3^T \\ L_3 D_1 L_1^T & L_3 D_1 L_3^T + L_2 D_2 L_2^T \end{bmatrix}, \quad (9)$$

откуда получаем выражения для вычисления факторов:

$$F = L_1 D_1 L_1^T, \quad (10)$$

$$C = L_3 D_1 L_1^T, \quad (11)$$

$$-L_3 D_1 L_3^T = L_2 D_2 L_2^T. \quad (12)$$

Поскольку F положительно определенная матрица, разложение (10) существует. Из (11) находим $L_3 = C L_1^{-T} D_1^{-1}$. После подстановки в (12) имеем

$L_3 D_1 L_3^T = C L_1^{-T} D_1^{-1} D_1 D_1^{-1} L_1^{-1} C^T = C L_1^{-T} D_1^{-1} L_1^{-1} C^T = C F^{-1} C^T$ и, учитывая, что матрица C имеет полный строчный ранг (ее строки соответствуют нулевым инъекциям в различных узлах), заключаем, что разложение (12) также существует.

Метод расширенной системы Хачтеля.

Задача (1-2) может быть сформулирована в виде:

$$\begin{aligned} &\text{минимизировать} \quad \sum_{i=1}^m \rho(r_i) \\ &\text{при ограничениях} \quad r = R^{-1/2}(\bar{y} - y(x)), \end{aligned} \quad (13)$$

$$c(x) = 0. \quad (14)$$

Составим функцию Лагранжа:

$$L(x, \lambda, \mu) = \sum_{i=1}^m \rho(r_i) - \lambda^T c(x) - \mu^T (r - R^{-1/2}(\bar{y} - y(x))),$$

где λ и μ – векторы множителей Лагранжа, соответствующие ограничениям (14) и (13), и запишем необходимые условия оптимальности задачи, вытекающие из условий Куна-Таккера:

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial \mu} = r - R^{-1/2}(\bar{y} - y(x)) = 0, \\ \frac{\partial L}{\partial r} = \psi(r) - \mu = 0, \\ \frac{\partial L}{\partial x} = H^T R^{-1/2} \mu + C^T \lambda = 0, \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} = -c(x) = 0. \end{cases}$$

Система линейных уравнений, требующая решения на каждом шаге итерационного процесса (4), принимает вид:

$$\begin{bmatrix} \tilde{D}_k^{-1} & R^{-1/2} H_k & 0 \\ H_k^T R^{-1/2} & 0 & C_k^T \\ 0 & C_k & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mu_{k+1} \\ p_k \\ \lambda_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{D}_k^{-1} \psi(r_k) \\ 0 \\ -c(x_k) \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Матрицу коэффициентов в (15) называют *расширенной матрицей Хачтеля*. Заметим, что если преобразовать систему (15) путем исключения множителя μ_{k+1} , она становится идентична системе (6). Размерность (15) значительно выше, чем (6), однако обусловленность расширенной матрицы потенциально лучше, обеспечивая вычислительному процессу большую численную устойчивость. Это связано с тем, что в (15) отсутствует произведение $H^T R^{-1} \tilde{D} H$, число обусловленности которого равно квадрату числа обусловленности матрицы $\tilde{D}^{1/2} R^{-1/2} H$.

Определение длины шага

При определении длины шага t_k в задаче оценивания с ограничениями значение целевой функции не может служить оценкой качества нового приближения как в [5]. Для оценки качества шага в

теории условной оптимизации используют функцию выигрыша $\phi(x)$, значения которой отражают (обычно конфликтующие) стремления к уменьшению целевой функции и соблюдению ограничений. Это достигается добавлением к целевой функции слагаемых, чьи значения в недопустимой области положительны и имеют смысл «штрафов» за нарушение ограничений. В качестве функции выигрыша здесь принимается следующая:

$$\phi = \sum_{i=1}^m \rho(r_i(x)) + \eta \sum_{i=1}^s |c_i(x)|, \quad (16)$$

где $\eta > 0$ – параметр штрафа. Отличительная особенность абсолютной штрафной функции в том, что существует конечное значение $\bar{\eta}$, такое, что для любого $\eta > \bar{\eta}$ любое решение x^* исходной задачи является точкой минимума функции выигрыша [9]. По этой причине функцию выигрыша вида (16) называют точной. В [9] доказано, что нижняя граница для параметра штрафа $\bar{\eta} = \|\lambda\|_{\infty} = \max \{|\lambda_i^*|\}$, где λ^* – вектор множителей Лагранжа, соответствующий ограничениям $c(x) = 0$ в точке решения x^* исходной задачи. Поскольку λ^* заранее неизвестен, используется его оценка λ_{k+1} , получаемая на k -м шаге итерационного процесса. Таким образом, значение параметра штрафа η в (16) задается как

$$\eta = q \|\lambda_{k+1}\|_{\infty}, \quad (17)$$

где $q > 1$.

Шаг t_k , обеспечивающий максимальное убывание функции выигрыша (16) вдоль направления p_k , определяется в результате решения задачи одномерной оптимизации:

$$t_k = \arg \min_t \phi(t), \quad (18)$$

где $\phi(t) = \phi(x_k + tp_k) = \sum_{i=1}^m \rho(r_i(x_k + tp_k)) + \eta \sum_{i=1}^s |c_i(x_k + tp_k)|$.

Метод решения аналогичен предложенному в [5] и заключается в решении уравнения

$$\phi'(t) = K_1 t^3 + K_2 t^2 + K_3 t + K_4 = 0, \quad (19)$$

кусочно-постоянные коэффициенты которого определяются по формулам:

$$K_1 = 2 \sum_{i \in \Omega} A_i^2,$$

$$K_2 = 3 \sum_{i \in \Omega} A_i B_i,$$

$$K_3 = \sum_{i \in \Omega} (2A_i r_i(x_k) + B_i^2) + 2a \sum_{i \notin \Omega} \text{sgn}(r_i(t)) A_i + 2\eta \sum_{i=1}^s \text{sgn}(c_i(t)) A_i', \quad (20)$$

$$K_4 = \sum_{i \in \Omega} B_i r_i(x_k) + a \sum_{i \notin \Omega} \text{sgn}(r_i(t)) B_i + \eta \sum_{i=1}^s \text{sgn}(c_i(t)) B_i',$$

где $\Omega = \Omega(t) = \{i \mid r_i(t) \leq a\}$ – множество индексов активных невязок измерений; A_i , B_i , A_i' , B_i' – коэффициенты разложения функции невязок измерений $r_i(t) = r_i(x_k + tp_k)$ и ограничений $c_i(t) = c_i(x_k + tp_k)$ в ряд Тейлора второго порядка, т.е. $r_i(t) = r_i(x_k) + B_i t + A_i^2 t^2$ и $c_i(t) = c_i(x_k) + B_i' t + A_i'^2 t^2$ соответственно. При использовании в качестве компо-

нент вектора x действующих и мнимых составляющих комплексов напряжений, разложение для мощностей P и Q точное.

Путем решения $(2m + s)$ квадратичных уравнений находим множество

$$\Gamma = \{\tau_j \mid r_i(x_k + \tau_j p_k) = \pm a, i = 1, \dots, m; c_i(x_k + \tau_j p_k) = 0, i = 1, \dots, s\}$$

точек $0 \leq \tau_1 \leq \tau_2, \dots, \leq \tau_N$ пересечения траектории поиска p_k с границами областей, в которых коэффициенты (20) постоянны. Начиная с первой точки τ_1 , проверяем значение производной $\phi'(\tau_j)$ и выделяем интервал $[\tau_{l-1}, \tau_l]$, такой что $\phi'(\tau_{l-1}) < 0$, $\phi'(\tau_l) > 0$. Решением кубического уравнения (19) находим наименьший действительный положительный корень, который принимаем за искомым t_k . Если корень интервалу $[\tau_{l-1}, \tau_l]$ не принадлежит, значит, в точке τ_l происходит смена знака невязки одного из ограничений. В этом случае решением (18) является $t_k = \tau_l$.

Заметим, что число арифметических операций при расчете длины шага сокращается, когда функции $c_i(x)$ линейные. В этом случае $A_i' \equiv 0$. Поэтому уравнения (2) для транзитных узлов при расчете в прямоугольных координатах эффективнее записывать в форме баланса активных и реактивных токов:

$$I_a(U', U'') = 0, \quad I_r(U', U'') = 0.$$

Результаты численных экспериментов

Описание тестовых примеров. Характеристики четырех измерительных систем, сформированных для оценивания состояния четырех тестовых схем ЭЭС¹, содержащих транзитные узлы, представлены в табл.1. Для каждой схемы состав измерений, обеспечивающий наблюдаемость ЭЭС, сгенерирован случайным образом. К значениям измеряемых параметров установленного режима добавлены случайные ошибки, распределенные по нормальному закону $\xi_i \rightarrow N(0, \sigma_i^2)$. Для моделирования неравноточности измерений, дисперсия σ_i^2 каждого

Таблица 1

Характеристики тестовых примеров

Характеристика	Схема ЭЭС			
	IEEE-30	IEEE-118	IEEE-300	TVA-444
Узлов/ветвей	30/41	118/179	300/411	444/560
Состав измерений:				
Всего	109	487	986	1891
Инъекций P/Q	7/7	19/18	56/50	100/91
Перетоков P/Q	40/40	214/186	400/400	696/704
Напряжений U	15	50	80	300
Число нулевых инъекций P/Q	6/6	10/10	63/63	48/48
Число неверных измерений	5	20	35	72

¹ Параметры сети и режима каждой тестовой ЭЭС приведены на сайте Отдела энергетики ИСЭиЭПС Коми НЦ УрО РАН <http://energe.komisc.ru/>

измерения была задана как псевдослучайное число из диапазона $[0,25\sigma_u^2, 2,25\sigma_u^2]$. Величина σ_u устанавливалась в зависимости от класса напряжения сети $\sigma_u = U_{ном}/200$. Таким образом, в сети низкого напряжения значения дисперсий задавались меньшими, чем в сети высокого напряжения. Например, в схеме IEEE-300 для параметров режима сети 0,6 кВ дисперсии ошибок измерений $\sigma_i^2 \approx (0,3 \div 2) \times 10^{-5}$, тогда как в сети 345 кВ – $\sigma_i^2 \approx 0,7 \div 7$. К некоторым измерениям были добавлены случайные большие величины из диапазона $\pm[10\sigma_i, 50\sigma_i]$, имитирующие грубые ошибки.

Описание реализации методов. Используем следующую мнемонику для обозначения численных методов, в которых нулевые инъекции транзитных узлов обрабатываются как ограничения в форме равенств: $\alpha L57$ – метод функции Лагранжа; αLm – метод модифицированной функции Лагранжа; $\alpha H57$ – метод расширенной системы Хачела. Для сравнения рассматривается также метод, в котором нулевые инъекции транзитных узлов представляются как псевдоизмерения высокой точности ($\sigma_i^2 = 10^{-8}$, $i = 1, \dots, s$) и вводятся в целевую функцию наряду с имеющимися измерениями. Обозначим его как αGN .

Для LDL^T -факторизации знаконеопределенных матриц линейных систем (6) и (15) методов $\alpha L57$ и $\alpha H57$ использовалась программа MA57 версии 3.2.0 библиотеки HSL 2004 [10]. Исследование в [11] различных математических пакетов, предназначенных для решения разреженных симметричных неопределенных систем, показало, что MA57 на сегодняшний день является одним из лучших как по быстродействию и точности, так и по устойчивости факторизации. Код программы предоставлен разработчиками библиотеки².

Для разложения положительно определенных матриц, формируемых в методах αLm и αGN , применялась стандартная LDL^T -факторизация. Предварительное упорядочение этих матриц, направленное на уменьшение числа ненулевых элементов в факторе L , осуществлялось с помощью программы AMD³ версии 2.0, реализующей приближенный алгоритм минимальной степени [12].

Следующие параметры использовались в расчетных исследованиях. Точка перегиба функции Хьюбера (3) $a = 1,4$. Параметр α модификации метода Ньютона (см.(7)) на k -й итерации $\alpha_k = 0,5e^{-k/2}$. Матрица штрафных коэффициентов модифицированной функции Лагранжа $R_c^{-1} = I \times 10^{-2}$. Коэффициент q в определении параметра штрафа (17) функции выигрыша $q = 1,05$. Параметры настройки алгоритма MA57 – по умолчанию.

Оценивание состояния ЭЭС выполнялось в прямоугольных координатах переменных состояния.

В качестве начального приближения x_0 использовался плоский старт $U' = U_{ном}$, $U'' = 0$. Уравнения (2) для нулевых инъекций транзитных узлов записывались в форме баланса мощностей. Итеративный переход (4) сопровождался коррекцией второго порядка [9]: $x_{k+1} = x_k + t_k p_k + \hat{p}_k$, где корректирующая поправка $\hat{p}_k = C_k^T (C_k C_k^T)^{-1} c(x_k + t_k p_k)$. Критерием останова служило выполнение условий $\left| \frac{f(x_{k-1}) - f(x_k)}{(1 + f(x_k))} \right| \leq \varepsilon_1$, $\|c(x_k)\|_1 \leq \varepsilon_1$ или $K_4 \geq -\varepsilon_2$, где $f(x_k)$ – значение целевой функции на k -й итерации, $\varepsilon_1 = 10^{-8}$, $\varepsilon_2 = 10^{-6}$. Расчеты выполнялись на ПЭВМ класса Celeron 1.60 GHz.

Обсуждение результатов. Результаты исследования сопоставляемых методов на примере оценивания состояния тестовых ЭЭС представлены в таблицах 2-4. Их анализ показывает следующее.

Таблица 2

Обусловленность итерационных матриц, $\log_{10}(cond)$

Метод	Схема ЭЭС			
	IEEE-30	IEEE-118	IEEE-300	TVA-444
αGN	11	12	13	17
$\alpha L57$	4	4-5	6	8-9
αLm	4	4-5	6	8-9
$\alpha H57$	3	3	5	7-8

1) Выделение уравнений фиксированных параметров режима (нулевых инъекций) в систему ограничений в форме равенств обеспечивает существенно более высокую численную устойчивость решения задачи оценивания состояния ЭЭС, чем их обработка в виде псевдоизмерений высокой точности. В последнем случае плохая обусловленность матрицы коэффициентов системы линейных уравнений (табл. 2) может приводить к потере точности вычисления направления p_k и отказу вычислительного процесса, что наблюдается при оценивании состояния системы TVA-444 (табл.3).

Таблица 3

Число итераций сходимости методов

Метод	Схема ЭЭС			
	IEEE-30	IEEE-118	IEEE-300	TVA-444
αGN	8	12	14	отказ
$\alpha L57$	9	10	15	19
αLm	9	10	15	17
$\alpha H57$	9	10	15	19

2) Использование ограничений в задаче оценивания состояния ЭЭС не ухудшает скорость сходимости итерационного процесса. Число итераций сходимости всех методов практически одинаково (табл.3).

3) Основное различие между методами αLm , $\alpha L57$ и $\alpha H57$ проявляется в вычислительной трудоемкости выполнения одного шага итерации, которая заметно выше, чем в методе αGN (табл.4).

² Официальный сайт разработчиков библиотеки HSL – <http://www.cse.scitech.ac.uk/nag/hsl/hsl.shtml>

³ Код программы AMD доступен на сайте разработчика проф. Т.Девиса <http://www.cise.ufl.edu/research/sparse/amd>

Таблица 4

Соотношение вычислительных характеристик методов

Метод	Схема ЭЭС			
	IEEE-30	IEEE-118	IEEE-300	TVA-444
Размер матрицы коэффициентов				
α GN	59 x 59	235 x 235	599 x 599	887 x 887
α L57	71 x 71	255 x 255	725 x 725	983 x 983
α Lm	71 x 71	255 x 255	725 x 725	983 x 983
α H57	180 x 180	742 x 742	1 711 x 1 711	2 874 x 2 874
Число ненулевых элементов матрицы коэффициентов				
α GN	729	2 717	8 101	8 629
α L57	689	2 657	7 985	8 813
α Lm	961	3 065	10 171	10 125
α H57	1 191	4 807	11 490	18 199
Число ненулевых элементов L -фактора				
α GN	422	1 818	5 422	5 838
α L57	445	1 844	6 153	6 377
α Lm	752	2 904	23 025	16 007
α H57	995	4 088	10 509	15 305
Время LDL^T -разложения, мс				
α GN	0,06	0,27	0,85	0,85
α L57	0,34	1,38	4,98	5,75
α Lm	0,27	0,99	16,92	9,02
α H57	0,78	3,72	9,81	16,10

Причины увеличения времени счета различны. В методе α Lm повышение трудоемкости обусловлено увеличением числа ненулевых элементов фактора L из-за очень плотной матрицы $L_3 D_1 L_3^T$, факторизуемой в (12). В методах α L57 и α H57 в связи с необходимостью выбора ведущего блока применяется реализуемая в MA57 динамическая факторизация. Это приводит к увеличению числа логических операций и числа операций работы с памятью.

Из результатов сравнения следует, что при прочих равных условиях (обусловленность линейной подзадачи, скорость сходимости) метод α L57, основанный на функции Лагранжа, эффективнее метода α H57, использующего расширенную систему Хачтела. Учитывая, что время решения треугольных систем пропорционально числу ненулевых элементов матрицы L , преимущества первого возрастают. Тем не менее, представляется, что применение расширенной матрицы, как имеющей лучшую обусловленность, обеспечивает более высокую надежность сходимости итерационного процесса при расчете схем с сильно неоднородными параметрами сети и неравноточными измерениями.

Метод α Lm модифицированной функции Лагранжа использует типовой алгоритм факторизации с предварительным упорядочением, и это дает преимущество с точки зрения практической реализации. Наблюдаемое увеличение числа ненулевых элементов в процессе разложения (9), может быть преодолено разработкой более совершенных алгоритмов упорядочения, предназначенных для матриц такого типа.

Заключение

В работе предложены численные методы оценивания состояния ЭЭС по неквадратичным критериям, обеспечивающие надежную и быструю сходимость вычислительного процесса. Это достигается за счет: 1) обработки детерминированных компонент исходной информации как ограничений в форме равенств; 2) модификации метода Ньютона при решении систем нелинейных уравнений; 3) использования разработанной процедуры оптимизации шага. Расчеты, выполненные на тестовых ЭЭС, показали, что лучшей численной устойчивостью обладает метод расширенной системы Хачтела. Менее трудоемким с точки зрения затрат машинного времени является оценивание состояния методом функции Лагранжа. Повышение вычислительной эффективности метода модифицированной функции Лагранжа связано с разработкой более совершенных алгоритмов упорядочения итерационных матриц.

Литература

1. Гамм А.З., Герасимов Л.Н., Колосок И.Н. и др. Оценивание состояния в электроэнергетике. М.: Наука, 1983. 320 с.
2. Monticelli A. State estimation in electric power systems – a generalized approach. Norwell, MA: Kluwer, 1999. 390 p.
3. Abur A. Power system state estimation: Theory and implementation. New York: Marcel Dekker, Inc., 2004. 330 p.
4. Хохлов М.В. Пороговые свойства робастного оценивания состояния электроэнергетических систем // Электричество, 2010. № 4. С.2-12.
5. Хохлов М.В. Модифицированный метод Ньютона для задачи оценивания состояния ЭЭС по неквадратичным критериям // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики, 2008. № 11-12/1. С.149-158.
6. Monticelli A. Modeling circuit breakers in weighted least squares state estimation // IEEE Transactions on Power Systems, 1993. Vol. 8. No. 3. P. 1143-1149.
7. Holten L., Gjelsvik A., Aam S., etc. Comparison of different methods for state estimation // IEEE Transactions on Power Systems, 1988. Vol. 3. No. 4. P. 1798-1806.
8. Monticelli A. Electric power system state estimation // Proceedings of the IEEE, 2000. Vol. 88. No. 2. P.262-282.
9. Nocedal J., Wright S. Numerical optimization. New York: Springer Science+Business Media, LLC, 2006. 664 p.
10. Duff I.S. MA57 – A code for the solution of sparse symmetric definite and indefinite systems // ACM Transactions on Mathematical Software, 2004. Vol. 20. No. 2. P.118-144.
11. Gould N., Scott J., Hu Y. A numerical evaluation of sparse direct solvers for the solution of large sparse symmetric linear systems of equations // ACM Transactions on Mathematical Software, 2007. Vol. 33. No. 10. Article 10.
12. Amestoy P.R., Davis T.A., Duff I.S. Algorithm 837: AMD, an approximate minimum degree ordering algorithm // ACM Transactions on Mathematical Software, 2004. Vol. 30. No. 3. P.381-388.

УДК 31:39(470.1)

«РУССКИЙ СЕВЕР» В ЭТНОКУЛЬТУРНОМ И ЭТНОДЕМОГРАФИЧЕСКОМ ИЗМЕРЕНИИ

Ю.П. ШАБАЕВ

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

shabaev.hist@mail.komisc.ru

Анализируются демографические и миграционные процессы на европейском Севере РФ, а также рассматривается общая этническая ситуация. Обобщаются не только данные переписей и текущей статистики, но и результаты целого ряда массовых опросов населения, проведенных как в Республике Коми, так и в Архангельской и Мурманской областях. Особое внимание уделено тому, как меняется восприятие категории «этническая принадлежность», и рассмотрению этнических и гражданских идентичностей.

Ключевые слова: идентичность, этническая группа, межэтническое взаимодействие, территориальное сообщество

YU.P. SHABAEV. "RUSSIAN NORTH" IN ETHNOCULTURAL AND ETHNODEMOGRAPHIC DIMENSION

The demographic and migratory processes in the European North of the Russian Federation are analyzed, and the general ethnic situation is considered. Not only the data of censuses and the current statistics, but also the results of a number of mass public-opinion polls conducted both in the Komi Republic and Arkhangelsk and Murmansk Regions are generalized. Special attention is given to how the perception of a category of «ethnic belonging» and consideration of ethnic and civil identities is changing.

Key words: identity, an ethnic group, interethnic interaction, territorial community

В научной литературе и в восприятии российских интеллектуалов России европейский Север рассматривается как историческая провинция, именуемая «Русским Севером» и ее значение в процессе формирования Русского государства и русской ментальности оценивается весьма высоко. Современный образ европейского Севера как культурной и социальной периферии полностью противоположен культурному мифу о севере как о заповеднике «русскости» и особом сакральном пространстве [1]. В этой связи представляется полезным оценить как этнокультурные трансформации, которые имеют место на европейском Севере, так и некоторые особенности демографических процессов.

Русский Север

Вновь поставим вопрос: что представляет собой Русский Север не в географическом, не в административном и не в экономическом, а в культурном плане?

На этот вопрос есть несколько ответов. Один из них сформулировали еще предшествующие поколения исследователей и в первую очередь историки, фольклористы и этнографы. Они, как уже ска-

зано, считали Русский Север единой историко-культурной провинцией. При этом Русский Север воспринимался интеллектуальной элитой не только как историческая провинция России, но и как регион, сыгравший важную роль в формировании и поддержании этнической идентичности русских, как сугубо «русский» регион. Характерно, что в масштабном научно-популярном издании XIX в. – «Живописная Россия», изданном М.О.Вульфом, в первых же томах были даны этнографические описания северных и западных регионов и лишь затем – центральных. На роль типичного великоросса и наиболее яркого выразителя «русскости» во второй половине названного столетия исследователи нередко предлагали региональные группы населения Русского Севера [2, с. 176-186].

Что касается последних нескольких десятилетий, то здесь весьма показательно замечание академика Д.Лихачева: «Самое главное, чем Север не может не тронуть сердце каждого русского человека, – это то, что он самый русский. Он не только душевно русский – он русский тем, что сыграл выдающуюся роль в русской культуре. Он спас нас от забвения русские былины, русские старинные обы-

чаи, русскую деревянную архитектуру...» [3, с.7]. Многие современные исследователи согласны с предшественниками в оценке культурного значения региона [4], но пишут не только о «заслуге Русского Севера в развитии культуры и образования» [5, с. 258], а также и о «метафизике Севера», его «сакральной географии», сущность которой состоит в понимании Русского Севера как «сакрального, русского, православного центра», вокруг которого формируется остальной мир [1, с. 5].

Но мифологизация культурного пространства европейского Севера есть лишь попытка создания некой искусственной модели, которая возможно ценна гносеологически, но малопродуктивна в плане анализа социальной среды. Более того, культурный миф о «Русском Севере» очевидно был важен для формирования общерусской идентичности, но европейский Север никогда не был сугубо «русским», а был и остается полиэтническим регионом, который является исторической родиной для карел, саамов, вепсов, ненцев, коми. Это регион, где уже 90 лет существуют этнотерриториальные автономии, а этнический состав населения последовательно изменяется и усложняется.

Безусловно, русские являются крупнейшей этнической группой во всех регионах европейского Севера: в Архангельской и Вологодской областях их доля, согласно данным переписи населения 2002 г., превышает 90%, а в других она почти повсеместно растет (см. табл. 1), хотя абсолютная чис-

Таблица 1

Изменение доли русских в составе населения регионов европейского Севера по данным переписей населения, %

Регионы европейского Севера	1970 г.	1979 г.	1989 г.	2002 г.
Архангельская обл.	92,1	92,4	92,2	95,2
Вологодская обл.	97,6	97,2	96,4	96,6
Мурманская обл.	84,6	83,8	82,9	85,3
Ненецкий АО	64,5	65,8	65,6	62,4
Республика Карелия	68,2	71,3	73,5	76,6
Республика Коми	53,1	56,7	57,7	59,6

ленность населения уменьшается как по причине отрицательного сальдо миграции, так и из-за превышения смертности над рождаемостью. Снижение численности населения северных регионов – устойчивая тенденция, причем этот процесс начался во всех регионах европейского Севера примерно в одно и то же время, например, в Вологодской области снижение населения идет неуклонно, начиная с 1988 г., а в Республике Коми с 1990 г. С 1989 по 2002 г. Мурманская область потеряла 23% своего населения, Ненецкий автономный округ – 24%, Республика Коми – 18,6% [6, с. 6]. За указанный период население Архангельской области сократилось на 14,6%, а в последние годы ежегодная убыль населения Архангельской области в среднем составляет 10 тыс. чел. [7], не меньшие потери населения имеют место в Республике Коми [8], значительны они и в Мурманской области [9]. Несколько лучше демографическая ситуация в Каре-

лии и Вологодской области, но и здесь устойчиво снижается число постоянных жителей. По прогнозам демографов, в ближайшие годы миграционный отток будет стабильно выше встречных миграционных потоков на европейском Севере в целом [10].

По существу ныне происходит процесс *деколониализации европейского Севера*, в результате которого деградируют и перестают существовать не только многие села и деревни, но и поселки, а в ближайшей перспективе вопрос стоит о ликвидации крупных поселений и целых городов.

Миграционный отток населения из регионов европейского Севера не только порожден причинами социально-экономического порядка, которые снизили привлекательность севера для мигрантов, но стимулируется и будет стимулироваться усиливающейся «миграционной готовностью» населения. Об этом в частности свидетельствуют результаты опроса населения Мурманска, Архангельска и Сыктывкара, осуществленного нами в марте 2010 г. Согласно данным опроса, 35,5% жителей Архангельска, 38,8 – Мурманска и 39,6 – Сыктывкара хотели бы уехать из своих городов и регионов навсегда или на длительное время, а среди молодежи в возрасте от 18 до 25 лет доля потенциальных мигрантов составляет уже 51,4%.

В этническом отношении среди выезжающих с севера преобладают представители славянских народов, т. е. численно доминирующих этнических групп. Это позволяло предположить, что доля титульных этнических групп в составе населения двух национальных республик и одного автономного округа, входящих в состав региона, именуемого «Русским Севером», будет возрастать. И результаты микропереписи населения 1994 г. делали эти предположения небезосновательными. Но перепись населения 2002 г. показала, что доля русских во всех регионах, за исключением НАО, возросла. Таким образом, в *статистическом отношении* европейский Север РФ продолжает оставаться «русским», поскольку русские численно доминируют во всех областях, республиках и округах. Русское население формируется не только посредством естественного прироста, но, как и в предшествующие эпохи, отчасти за счет ассимиляции этнических меньшинств, которые являются аборигенным населением региона. Так, к примеру, опрос учащейся молодежи, проведенный в Коми в 1998 г., показал, что пятая часть городских школьников (возраст 16-17 лет), у которых оба родителя коми, называли себя русскими [11, с. 91-112]. Процессы ассимиляции в последующие годы не ослабевали, о чем свидетельствовали результаты переписи 2002 г., показавшей весьма заметное сокращение численности карел, коми, вепсов, которое невозможно объяснить только превышением смертности над рождаемостью, имевшим место в последние годы [12; 13].

Вообще на европейском Севере очевиден некий культурный парадокс, суть которого состоит в том, что крупные этнические меньшинства, расселенные в пределах своих республик и имеющие развитые культурные институты, оказываются менее стабильными этническими группами, чем уступающие им по численности и культурным ресурсам

группы меньшинств [14]. Так, коми и карелы, численность которых значительна и проблема сохранения этничности которых является центральным звеном региональных моделей этнополитики, не только численно сократились между переписями 1989 и 2002 г., но имеют и существенно худшие демографические показатели (соотношение полов, медианный возраст, семейная структура и т.д.), чем ненцы и саамы, численность которых возрастает, хотя сами эти группы невелики и сталкиваются с многочисленными проблемами в своем культурном развитии. Этот парадокс отчасти порожден разницей в статусе этнических групп, поскольку последние из названных групп официально отнесены к коренным малочисленным народам севера, но в большей мере он связан с символической ценностью этничности и теми ресурсами, доступ к которым открывает этнический статус. Эти ресурсы различны у разных этнических групп, и поэтому, к примеру, относительно недавнее включение вепсов в официальный перечень коренных малочисленных народов, вряд ли, способно остановить процесс их добровольной и осознанной ассимиляции. Однако названный культурный парадокс не является единственным, когда мы оцениваем этнические процессы и межкультурное взаимодействие на европейском Севере Российской Федерации.

Восприятие этничности и межэтническое взаимодействие

Значимость этнических определителей для представителей северных сообществ меняется. Во-первых, идет активный процесс смены этнического самосознания у представителей этнических меньшинств и, прежде всего молодежи. Во-вторых, меняется само отношение к категории этничности. В-третьих, этничность все более начинает оцениваться с точки зрения ее рациональной ценности. В-четвертых, этнические идентичности все очевиднее начинают конкурировать с гражданскими.

Русская колонизация европейского Севера начинает проследиваться по историческим источникам с X–XI вв., когда славянами было освоено Белозерье. Движение на север осуществлялось двумя путями: из Новгорода и Ростово-Суздальской земли. Уже в XII в. летописи сообщают о контактах славян с аборигенным населением [15]. Роль чудского населения в формировании великорусской народности и северорусского населения оценивается исследователями по-разному [16], но очевидно, что это не был простой односторонний процесс ассимиляции чуди славянами, ибо само пространство европейского Севера сохранило преимущественно финно-угорскую и самодийскую топонимию [17–19], а анклавы расселения финно-угорских и самодийских народов, хотя и сократились, но остаются и ныне значительными. При этом, несомненно, что славяне изначально оценивали себя как доминантную культурную группу, а свое окружение воспринимали как культурную периферию. Следствием такого восприятия и стало формирование этноцентричной модели мира, которая «отразилась и на восприятии земель Севера, населенных «инородцами», как иного, потустороннего мира, в котором, говоря языком русских стран-

ников, «все напротив». Поэтому вся этническая периферия Русского Севера наделялась характеристиками антимира...» [1, с. 5]. Культурная дистанция между русским и иноэтничным населением европейского Севера была довольно устойчивой и проявлялась в восприятии представителей этнических меньшинств как «чужих», культурно отличных жителей севера. Такое отношение до сих пор сохраняется у старожильского населения Мезенского района Архангельской области или Усть-Цилемского района Республики Коми применительно к ненцам. Но еще более показателен в этом смысле пример с «чудью». Деревни, где проживают дальние потомки ассимилированных в ходе колонизации Севера финских племен, на протяжении нескольких столетий жители соседних селений упорно называют «чудскими», а наиболее распространенной формулой для характеристики их населения является «там чужь живет» [20–22].

Названный этноцентризм проявился и в том, что уже позднее, когда на севере сформировалась поморская идентичность, всех пришлых называли «чужанами». В XX столетии местное население на европейском Севере противопоставляло себя «вербованным», т.е. прибывшим на заработки по орнабору. Таким образом, очевидно, что культурная оппозиция «свой» – «чужой» на севере весьма устойчива.

На современный состав населения европейского Севера и характер межэтнического взаимодействия весьма существенно повлияли сталинские репрессии 1930–1950-х гг., в результате которых в регион не только массово ссылали спецпереселенцев (в основном раскулаченных крестьян, немцев Поволжья, финнов-ингерманландцев), но и многочисленных «противников» режима, для содержания которых были созданы сотни лагерей, лагпунктов и других учреждений системы ГУЛАГа [23–27]. Огромный поток вынужденных переселенцев существенно изменил не только этнический состав населения республик и округов, но и соотношение между местным и пришлым населением. Казалось бы, возникли условия для формирования новых региональных идентичностей, для преодоления культурных дистанций между этническими группами. Однако местное население и мигранты в 1930–1950-е гг. представляли собой две разные и даже противостоящие друг другу социальные группы. Миграция носила в основном вынужденный характер, и подавляющую массу мигрантов составляли спецпереселенцы и заключенные лагерей ГУЛАГА, с которыми местному населению контакты были запрещены. Кроме того, из числа местных жителей набирались охранники лагерей, спецпереселенцы нередко вынуждены были из-за постоянного недоедания совершать кражи на огородах местных жителей, официальная пропаганда изображала спецпереселенцев и заключенных как «врагов общества», и тем самым создавались новые культурные барьеры и культурные оппозиции. После того как значительная часть заключенных была освобождена, и многие из них осели на севере, культурные стереотипы, сформировавшиеся во время «расцвета» ГУЛАГА, переместились в бытовую сферу [28].

Вместе с тем, усилившиеся во второй половине XX в. процессы урбанизации и унификации

**Распределение ответов на вопрос об отношении
к национальности
(этнической принадлежности), %**

1. Национальность дана человеку от природы или от Бога и менять ее нельзя	24,6
2. Благодаря национальной принадлежности у людей сохраняется память о предках, о Родине и ее истории	22,7
3. Каждый нормальный человек должен гордиться своей национальностью	21,5
4. Национальность – это то, что объединяет людей, позволяет им добиваться общих целей	6,8
5. Не только в будущем, но уже сейчас понятие национальности в значительной мере устарело	10,1
6. Человек вправе сам выбирать себе национальность	8,2
7. Национальность – это то, что разъединяет людей, противопоставляет их друг другу	6,1

образа жизни, неизбежно вели к интенсификации взаимодействия между мигрантами и старожилищеским населением, между представителями разных этнических групп, последовательно нивелировали культурные различия и формировали новое отношение к ним. Важную роль в процессах культурной миксации играли и идеологические установки советского режима, нацеленные на формирование «новой исторической общности людей» и «дружбу народов». В сознании людей все более закреплялись стереотипы восприятия этнической идентичности как «вторичной» и «незначимой», при этом все более очевидной становилась гражданская, общесоветская идентичность («мы все советские люди»). Эта идентичность не была фантомной, как порой пытаются доказывать некоторые отечественные исследователи и многочисленные этнические антрепренеры постсоветской эпохи. Но очевидно, что характер и глубина идентификации с «новой исторической общностью» у разных людей была различной и заметно различалась она по республикам СССР, что позволяет выдвигать неорасистский концепт об «имперском сознании» русских и некоторых других народов и противопоставлять им «природную склонность к демократии» у других.

Распад СССР и так называемый «кризис идентичностей», сопровождавшийся в политическом плане процессами суверенизации и явлением, которое получило название «национальное возрождение», казалось бы, создавали почву для актуализации этничности, и неслучайно многие исследователи писали, что место советской идеологии заняла идеология национализма, в том числе этнического национализма, а советскую идентичность успешно вытеснила этническая идентичность.

Однако перед выборами 1993 г., т. е. спустя два года после того, как СССР перестал существовать, был осуществлен российско-американский исследовательский проект «Предвыборная ситуация в России». В рамках этого проекта в Коми был проведен общереспубликанский опрос населения. Тогда только 6,9% респондентов в Коми признавали, что распад СССР был полезен, и 11,1% отмечали, что он «скорее полезен, чем вреден», а подавляющее большинство респондентов признавало его вредным. При этом 23,2% респондентов отметили, что считают родиной СССР, 35,5% назвали родиной Россию, 35,8% – Республику Коми, остальные затруднились дать ответ. Сходные ответы были получены и во многих других регионах РФ [29].

Три года спустя, когда процессы так называемого «национального возрождения» достигли своего апогея, по программе социально-психологического мониторинга в РК проведен общереспубликанский опрос, в ходе которого выяснялось, в частности, отношение респондентов к этничности (табл. 2).

Очевидно, что в сознании большинства респондентов преобладало позитивное отношение к категории этнической принадлежности, хотя ее восприятие было неоднозначным. При этом характер этнической идентификации у представителей разных этнических групп населения республики существенно различался. Более однозначная этническая идентичность характерна для русских, ибо 72,6% русских респондентов назвали себя предста-

вителями только своей национальности. У коми таковых было 51,9%, у украинцев – 31,8, среди представителей других этнических групп – 40,0% [30, с.24-25], т.е. можно говорить о том, что значительные доли представителей всех этнических групп обладают множественной этнической идентичностью или находятся на стадии смены одной идентичности другой. Особо стоит заметить, что и значительная доля «русских» имеет множественную идентичность. И в данном случае можно сослаться на точное замечание С. Соколовского: «...Неопределенность *Других*, позволяющая в любой момент включить в эту категорию любое число новых членов, свидетельствует о протейном характере русскости, впрочем, как и о характере любой доминирующей общности...» [31, с. 42-43].

В плане оценки изменений, связанных с отношением к категории национальность (этническая принадлежность), показательны результаты опроса «Этнокультурный потенциал регионов как фактор формирования российской нации», который был проведен в двух городах СЗФО Архангельске и Сыктывкаре в июне 2008 г. (в каждом городе опрошено по 500 чел.). Опрос проводился по заказу Министерства регионального развития не только в Архангельской области и в Коми, но и в других регионах РФ.

Важным показателем, характеризующим этническое самосознание и культурные стереотипы, стали ответы на вопрос «Как вы понимаете «национальность»?»

Лишь 8,3% в Коми и 13,3 в Архангельске заявили, что это «то, что в советские времена обозначалось в паспорте», на основании чего можно было предположить, что советское понимание термина, когда этническая принадлежность и национальность были синонимами, практически ушло в прошлое. Но 61,2% в Архангельске и 65,8 в Сыктывкаре или абсолютное большинство все же считают, что «национальность» – это категория, связанная с происхождением родителей и предков (а 40,8% и 42,1 соответственно указали, что оно является производным от языка и культуры). Иными словами, понимание категории «национальность» не как гражданского определителя, а как этнического остается доминирующим. Вместе с

тем, следует отметить, что достаточно значительная доля респондентов (24,7% в Архангельске и 19,3 в Сыктывкаре) понимает категорию «национальность» как гражданство, т.е. таким же образом, как и в других странах, что является свидетельством заметного сдвига в массовом сознании населения, которое начинает активно оперировать теми же категориями, что и в развитых странах Запада. Отчасти это, видимо, можно объяснить также и тем, что большая часть респондентов хоть раз, но выезжала за пределы страны (никогда не выезжали только 38,5% в одном случае и 38,3 – в другом).

Отношение к этнической принадлежности (или «национальности») как к культурной характеристике, если его сравнивать с советской традицией, меняется еще и потому, что само понимание этнической принадлежности становится иным. Люди отказываются от «этнического крепостного права», когда человека можно было помимо его воли раз и навсегда приписать к какой-то одной этнической группе. Об этом свидетельствует тот факт, что 15,0% опрошенных в Архангельске и 18,4 в Сыктывкаре согласны с тем, что человек может иметь две или более «национальностей», а еще около трети в обоих городах допускают такую возможность «в некоторых случаях» (30 и 40% выступают против этого). Почти треть (30,9 и 31,4%) признают, что человек может менять «национальность» в течение жизни. Таким образом, за 12 лет число тех, кто допускает свободный выбор этнической принадлежности самим человеком, выросло в четыре раза, если судить по Республике Коми. Правда, необходимо признать, что на селе общественное мнение более консервативно, но, вряд ли, данные по селу смогли бы существенно изменить картину перемен в массовом сознании, ибо наши исследования показывают, что позиции, к примеру, сельской коми молодежи меняются очень заметно.

Этничность на Севере сегодня нельзя рассматривать только как культурный феномен. Она представляет собой и политический ресурс [32], и символический капитал, который успешно используется в борьбе за статус и ресурсы. С целью получения максимальных выгод от эксплуатации названного символического капитала этнические антрепренеры и некоторые политики стимулируют своей деятельностью процессы актуализации идентичностей, реидентификации и переосмысления этнических категорий. Данные процессы проанализированы в отдельной статье [33], хотя ситуация внутри рассмотренных нами культурных групп развивается столь динамично, что важно будет проводить дополнительные исследования.

При этом необходимо заметить, что межэтнические отношения на европейском Севере нельзя назвать образцом толерантности. Здесь весьма показательными являются ответы на вопрос о недавних этнических мигрантах. Сначала опрашиваемым предлагалось выделить этнические группы населения РК, которые, по их мнению, возникли недавно, затем определить свое отношение к данным группам. Среди таких групп на первом месте по упоминаемости находятся «кавказцы», на втором азербайджанцы, на третьем армяне, затем

идут китайцы и вьетнамцы. Последние группы, конечно, являются мифическими, ибо количество и тех и других ничтожно, но в массовом сознании, видимо, уже прочно сформировано представление об угрозе из Азии, о предстоящем «нашествии» китайцев и вьетнамцев, а потому данные группы по упоминаемости обошли реально формирующиеся группы, такие, например, как таджики, выходцы из Средней Азии в целом. О своем положительном отношении к «новым этническим группам» заявили 10,1% и 13,7 опрошенных архангелогородцев и сыктывкарцев, о нейтральном – 59,9% и 64,6, об отрицательном – 30,0% и 21,7 соответственно.

Слабость и неакцентированность региональных идентичностей приводят к тому, что конфликты идентичностей, которые вписываются в две культурные оппозиции «свои» – «чужие» и «северяне» – «южане» становятся все более многообразными.

Свидетельством тому становится высокий уровень ксенофобии. Этот уровень одинаково высок в Коми, Карелии, в Архангельской и Мурманской областях, о чем свидетельствуют результаты целого ряда социологических исследований, в том числе и результаты опроса в марте 2010 г.: менее половины опрошенных в Мурманске, Архангельске и Сыктывкаре заявили, что для них нет народов, к представителям которых они относятся с недоверием. Остальные респонденты указывали на наличие подобных групп, что создает условия для устойчивого воспроизводства в массовом сознании образов «других» и «чужих» и для поддержания межэтнической напряженности в местных сообществах. Причем межэтническое противостояние и даже конфликты могут иметь место не только в крупных городских центрах с полиэтническим составом населения, но и в самых глухих поселках. К примеру, в ненецком пос. Хорей-Вер несколько лет назад жители высказывали недовольство в связи с тем, что состав педагогов школы стал «калмыцким», а прилетевших сюда торговать цыган местная администрация даже не выпустила из самолета, а в пос. Харута их постарались побыстрее выдворить [34, с. 321]. А длительная и активно дискутировавшаяся в местной прессе «проблема» выселения из Архангельска цыган, отстроивших себе десяток домов на одной из городских окраин [35], вообще стала показательной в плане иллюстрации настроений интолерантности, которые характерны сегодня и для населения европейского Севера. Особо ощутимо неприятие «кавказцев» и вообще всех «южан», о чем свидетельствуют как наши собственные исследования [36], так и результаты других исследовательских проектов [37-39]. Конфликт между «южной» и «северной» идентичностями, вероятно, связан с разными культурными образами тех этнических групп, которые явно или опосредованно ассоциируются респондентами с названными идентичностями. Отчасти об этом свидетельствует и опрос, проведенный в Архангельске, Мурманске и Сыктывкаре, ибо в качестве основного отличия «северян» от остального населения называются психологические и поведенческие характеристики, при этом, когда в эту оппозицию вносятся этнические значения, сущность ее не меняется [40, с. 139]. Здесь следует согласиться с

И.Разумовой, которая замечает: «Взаимные представления этнолокальных групп друг о друге в пределах российского пространства и поведенческие стереотипы создаются также в соответствии с расширенным спектром геополитических, этнических, характерологических и прочих значений, которыми наделяются оппозиционные понятия “севера” и “юга”, “востока” и “запада”» [41, с. 120].

В числе «прочих значений», безусловно, заслуживают особого внимания локальные, региональные и гражданские идентичности. Эти идентичности выражены на севере слабо, но данная проблема требует отдельного рассмотрения.

Очевидно одно: европейский Север сегодня – это север российский, но маркировать его как «русский» будет неверно. Основанием для подобного утверждения служит тот факт, что северная идентичность является наиболее выраженной из всех культурных идентичностей на европейском Севере (северянами себя называли, по данным опроса 2010 г., около 70% респондентов). А второй по значимости идентичностью является общероссийская гражданская идентичность.

Работа подготовлена в рамках реализации проекта «Территориальные сообщества, региональные идентичности и этничность на европейском Севере РФ: исторические и культурные основания процессов этнической дифференциации и межкультурной интеграции», выполняемого по Программе фундаментальных исследований РАН «Историко-культурное наследие и духовные ценности России». Направление 5. Традиции и новации в культуре народов России.

Литература

1. *Теребихин Н.М.* Метафизика Севера. Архангельск, 2004. 272 с.
2. *Деготь Е.* Пространственные коды «русскости» в искусстве XIX в. // Отечественные записки, 2002. №6.
3. *Лихачев Д.С.* Предисловие // Гемп К.П. Сказ о Беломорье. Архангельск, 1983. С. 7-8.
4. *Русский Север: этническая история и народная культура. XII–XX вв.* М., 2004. 580 с.
5. *Булатов В.* Русский Север. Кн. 3: Поморье. Архангельск, 1999. 336 с.
6. *Шабаев Ю.П.* Этнодемографическое развитие коми в контексте демографических процессов у финно-угорских народов Российской Федерации: Доклад на пленарном заседании Всерос. науч. конф. «Этнодемографические процессы на Севере Евразии (XI–XX вв.)». Сыктывкар, 2005. 30 с.
7. *Русский Север* становится безлюдным // www.kominarod.ru.
8. *Шабаев Ю.П.* Коми // Этническая ситуация в России и сопредельных государствах в 2008 г. Ежегодный доклад Сети этнологического мониторинга и раннего предупреждения конфликтов. 2008. М., 2009. С. 221–232.
9. *Население* // Кольская энциклопедия // www.kolaenc.gov-murman.ru.
10. *Север: проблемы периферийных территорий* / Отв. ред. В.Н.Лаженцев. Сыктывкар, 2007. 420 с.
11. *Шабаев Ю.П.* Время кризиса и этнополитические воззрения представления молодежи // Идентификация идентичности. М., 1998. Т.2. С. 91–112.
12. *Шабаев Ю.П.* Республика Коми: этническая ассимиляция или культурный плюрализм? // Этнокультурный облик России: перепись 2002 года / Отв. ред. В.В.Степанов, В.А.Тишков. М., 2007. С. 79–92.
13. *Клементьев Е.И.* Республика Карелия в зеркале переписи 2002 г. // Этнокультурный облик России: перепись 2002 года / Отв. ред. В.В.Степанов, В.А.Тишков. М., 2007. С.68–78.
14. *Shabaev I.* Paradoxes in the Social and Cultural Transformation of the European North of Russia // *Sibirica*. Spring, 2010. Vol. 9. No.1.
15. *Власова И.В.* Этническая история и формирование населения Русского Севера // Этнопапарама, 2005. №1–2. С. 14–23.
16. *Рябинин Е.А.* Проблема финно-угорского субстрата в древнерусской (русской) народности (обзор историографии XIX –20–30-х гг. XX в.) // Современное финно-угроведение. Опыт и проблемы. Л., 1990. С. 100–109.
17. *Матвеев А.К.* Субстратная топонимика Русского Севера // Вопросы языкознания, 1964. №2. С. 11–26.
18. *Матвеев А.К.* Субстратная топонимия Русского Севера. Екатеринбург, 2001. 320 с.
19. *Керт Г.М., Вдовицын В.Т., Веретенин А.Л., Луговая Н.Б.* Компьютерный банк топонимии европейского Севера России. TORIS // www.krc.karelia.ru.
20. *Дранникова Н.В.* Локально-групповые прозвища в традиционной культуре Русского Севера. Архангельск, 2004. 432 с.
21. *Дранникова Н.В.* Чудь в устной традиции Архангельского севера. Архангельск, 2008. 148 с.
22. *Предания Русского Севера* / Сост. Н.А.Криничная. СПб., 1991. 226 с.
23. *Земсков В.Н.* Судьба «кулацкой ссылки» // Отечественная история, 1994. №1.
24. *Пашков В.Я.* Раскулачивание в СССР и судьбы спецпереселенцев, 1930–1954 гг. Мурманск, 1996. 176 с.
25. *Морозов Н.А.* ГУЛАГ в Коми крае. 1929 – 1956 гг. Сыктывкар, 1997. 170 с.
26. *Полян П.* Не по своей воле...История и география вынужденных миграций в СССР. М., 2001. 209 с.
27. *Коротяев В.И.* На пороге демографической катастрофы: принудительная колонизация и демографический кризис в Северном крае в 1930-е годы XX века. Архангельск, 2004. 184 с.
28. *Шабаев Ю.П.* Республика Коми: меняющиеся лики мигрантского сообщества // Этнографическое обозрение, 2007. №5. С. 39–53.
29. *Губогло М.Н.* Идентификация идентичности: Этносоциологические очерки. М., 2003. 630 с.
30. *Вячеславов В., Ковалев В., Шабаев Ю., Ярошенко С.* Время и бремя кризиса. Республика Коми осенью 1996 года (по материалам социологического опроса) // Вестник Государственного Совета Республики Коми. Специальный выпуск. 1997.

31. Соколовский С.В. Образы Других в российской науке, политике и праве. М., 2001. 235 с.
32. Шабает Ю.П., Чарина А.М. Финно-угорский национализм и гражданская консолидация в России (этнополитический анализ). СПб., 2010. 275 с.
33. Шабает Ю.П., Дронова Т.И., Шаранов В.Э. Коми-ижемцы, поморы и усть-цилемы: модели культурных трансформаций // Этнографическое обозрение, 2010. №5. С.173-190.
34. Ненецкий автономный округ. Современное состояние и перспективы развития. СПб., 2005. 223 с.
35. Шабает Ю.П. Цыганская тема в архангельских СМИ // Бюллетень сети этнологического мониторинга и раннего предупреждения конфликтов, 2004. №58. С. 28-31.
36. Шабает Ю.П. Территориальное сообщество и этнополитические воззрения населения Коми // Социологические исследования, 2004. № 11. С. 75-83.
37. Змеева О.В. Кавказцы на Кольском Севере: к проблеме трансформации этнической идентичности // Этнодемографические процессы на Севере Евразии: Сб. науч. трудов. Москва-Сыктывкар, 2007. Вып. 4. Ч. 2. С. 135-141.
38. Разумова И., Виноградова С. Кольские саамы в этнокультурном пространстве // Бюллетень Сети этнологического мониторинга и раннего предупреждения конфликтов, 2006. №69. С. 49-53.
39. Укконе А. Прощание с «кулинарным интернационализмом» // www.kominarod.ru.
40. Змеева О.В. «Зона этнической бесконфликтности» и особенности регионального самосознания «северян» // Вестник Поморского университета. Серия «Гуманитарные и социальные науки», 2009. №6. С.114-126.
41. Разумова И. «Миграционный текст» в постсоветской России (на материалах Северо-Западного региона) // Этнодемографические процессы на Севере Евразии: Сб. науч. трудов. Москва-Сыктывкар, 2007. Вып. 4. Ч.2. С. 112-134.

РАСКЛАДКА РЕКРУТСКОЙ ПОВИННОСТИ В РОССИИ: ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ О «СПРАВЕДЛИВОСТИ»

Ф.Н. ИВАНОВ

Сыктывкарский государственный университет, г. Сыктывкар
fedor-ivanoff@mail.ru

Статья посвящена изменению взаимоотношений населения России и государственной власти в сфере раскладки рекрутской повинности со времени ее введения в начале XVIII в. до отмены в 1874 г. Основное внимание уделяется проблеме взаимопроникновения регламентировавшего подготовку и проведение рекрутских наборов законодательства и сложившихся среди податных сословий обычаев исправления рекрутской повинности. Анализу подвергаются процессы постепенного перехода государства от практики возможно более полного учета народных обычаев в XVIII в. к практике создания в XIX в. нового, ориентированного на более полный учет интересов государства, законодательства и соответствующие взаимоотношения между государственной властью и податными сословиями страны.

Ключевые слова: распределение рекрутской повинности, законодательство, народные обычаи

F.N.IVANOV. THE REDISTRIBUTION OF RECRUITING DUTY IN RUSSIA: LEGISLATION AND POPULATION CONCEPTION OF "JUSTICE"

The article is devoted to change of mutual relations of the population of Russia and the state power in the sphere of recruiting duty since its introduction in the beginning of XVIII century to its cancellation in 1874. Basic attention is given to the problem of interpenetration of the legislation regulating the preparation and implementation of recruitment and the customs of recruiting duty correction formed among tax-paying estates. The process of gradual transition of the state from practice of probably more complete assessment of folk customs in the XVIII century to the practice of creation the new legislation oriented at more complete assessment of state interests in the XIX century and appropriate mutual relations between state power and tax-paying estates of the country are analyzed.

Key words: redistribution of recruiting duty, legislation, folk customs

В XVIII – XIX вв. российские вооруженные силы комплектовались на основе рекрутской повинности. Устанавливаемая и направляемая государством рекрутчина порождала целый комплекс связанных с ее реализацией взаимоотношений между государственной властью и податными сословиями. На всем протяжении своей истории рекрутская повинность подвергалась постоянной модернизации, и вместе с самой рекрутчиной изменялось все то, что было тесно с ней связано. Важным направлением модернизации являлось стремление государства к регламентации всех аспектов раскладки (перераспределения) рекрутской повинности и постепенное создание им соответствующей системы контроля. Мы хотели бы обратить внимание на один из появившихся в ходе этого процесса аспектов взаимоотношений между государством и народом – на взаимопроникновение в XVIII – XIX вв. законодательства, регламентировавшего подготовку и проведение рекрутских наборов, и сложившихся среди податных сословий обычаев, определявших исправление рекрутской повинности. Данный сюжет в том ключе, как это рассматривается в предлагаемой статье, практически не затрагивается исследователями, притом, что и само законодательство по

рекрутской повинности, и соответствующие народные обычаи не обделены вниманием историков [1–13].

Необходимо особо оговорить, что для анализа взаимоотношений населения России и государственной власти в сфере рекрутской повинности мы использовали материалы по европейскому Северу страны. Рекрутская повинность была очень важной для государства и болезненной для населения, что побуждало государство к максимально возможной ее регламентации (через общее для всей страны законодательство) и жесткому контролю над ее раскладкой и исполнением (при помощи унифицированной системы управления, центрального, регионального и местного). В Вологодской губернии в данном отношении вся работа строилась на основе общего законодательства, в Архангельской губернии – тоже, но имелись законодательно же утвержденные особенности в раскладке повинности и связанные с ними отличия в проведении наборов, не существенные в данном случае. С другой стороны, рекрутская повинность распространялась не на все регионы, народы и сословия империи, что было сделано в том числе и для того, чтобы армия была более однородной. В этом плане

Вологодская губерния имела сходное с другими регионами по своему составу население, обязанное отбывать рекрутскую повинность, Архангельская губерния, за некоторыми исключениями – тоже [13–15]. Все это позволяет считать выводы, полученные на основе законодательных актов и региональных материалов по европейскому Северу страны, в целом, корректными и для описания общероссийских реалий. В основу источниковой базы исследования положены законодательные акты, опубликованные в Первом и Втором собраниях Полного Собрания законов и в Своде законов Российской империи, и делопроизводственные материалы, отложившиеся в фондах Российского государственного исторического архива и архивов Архангельской и Вологодской областей.

Институт рекрутской повинности в России в основных своих чертах оформился в первой четверти XVIII в., и с того времени, вплоть до ее отмены в 1874 г., рекрутчина была повинностью общинной, срок службы – длительным (первоначально – пожизненным, с 1793 г. – 25 лет, впоследствии подвергался сокращению), нормативы наборов и отчасти порядок раскладки повинности определялись заново перед каждым набором [4]. В дальнейшем эта повинность, в особенности способы ее реализации, существенно изменялись. На практике реализация рекрутской повинности производилась через систему ее раскладки – механизм трансформации военно-организационных мероприятий в повинность податного населения выставлять рекрутов, который складывался постепенно и со временем претерпевал серьезные изменения [15]. Перемены обуславливались стремлением государства поставить все этапы распределения рекрутской повинности под свое прямое руководство с тем, чтобы повысить эффективность системы комплектования войск: империя вела активную внешнюю политику, и ее растущие численно войска остро нуждались в новобранцах, набор которых также неуклонно увеличивался. В самих же войсках была повышенная смертность от плохого питания, тяжелых условий службы и низкого качества медицинского обслуживания, частыми были побеги солдат. Именно поэтому одной из важных задач системы раскладки рекрутской повинности было соблюдение баланса между стремлением к укреплению вооруженных сил и интересами социально-экономического развития страны [16]. Необходимость этого сознавалась достаточно отчетливо уже в XVIII в. Так, генерал-фельдмаршал П.А. Румянцев в своей докладной записке об организации армии, поданной императрице Екатерине II в мае 1777 г., указывал на то, что «мы [россияне] ...должны ...соразмерно способам и доходам своим ополчаться, и весьма уважать их источник, который мы поныне один к содержанию воинских сил имеем: я разумею народ, дающий для войска и людей и деньги, чтобы несоразмерными и бесповоротными взиманиями оный не оскудить, и братья за средства такие, чтобы к поре грозящей и запас в деньгах иметь и силы наши не чувствительно для самих умножать мы могли» [17]. Таково было общее понимание проблемы, которая постепенно решалась государством несколькими путями – при помощи большей

регламентации и усиления контроля и при помощи предоставления населению разных «послаблений». Введение последних, впрочем, было направлено на достижение одной цели – обеспечения армии новобранцами при наиболее возможном сохранении налогоплательщиков [15].

В самой раскладке рекрутской повинности можно выделить три уровня (этапа): первый – общегосударственный (перераспределение повинности между податными сословиями и регионами империи), второй – региональный (перераспределение повинности по рекрутским участкам в составе губерний), третий – местный, на котором производилось перераспределение повинности в самих участках («практическая раскладка»). Формирование системы раскладки рекрутской повинности характеризовалось последовательным установлением государственного контроля над всеми уровнями раскладки – от первого к третьему и сопровождалось упорядочиванием всех элементов распределения повинности и проведения рекрутских наборов. Так, к концу XVIII в. на втором уровне раскладки были введены постоянные «пятисотские участки» (состоящие из 500 ревизских душ мужского пола) взамен прежних временных, образовывавшихся заново перед каждым набором; рекрутов с податных сословий теперь требовалось собирать «с каждой особи»; были учреждены рекрутские присутствия. С вступлением в силу Рекрутского устава 1831 г. государство завершило создание системы раскладки рекрутской повинности, охватывающей все три ее уровня, и начало полностью определять ее работу [15].

Серьезные изменения происходили на третьем уровне раскладки рекрутской повинности – там, где непосредственно и происходило взаимодействие государственной власти и населения. Остановимся на них более подробно. Интерес вызывает то обстоятельство, что до 1831 г. определение кандидатов в новобранцы из числа жителей рекрутских участков длительное время фактически не регламентировалось. На военную службу принимались, как то было зафиксировано законодателем в Генеральном учреждении о сборе рекрутов 1766 г., все, «кого отдатчики в отдачу объявят и поставят, только б были годные ростом и летами» [18]. Строго следили только за тем, чтобы рекруты не были из беглых крепостных. Известно, что правителям Российской империи было присуще стремление к регламентации многих сторон жизни общества, и исправление такой важной для государства и болезненной для народа повинности, как рекрутчина, несомненно, должно было строго регламентироваться. Эволюция рекрутской повинности в России в XVIII–XIX вв. достаточно убедительно показывает, что такое стремление у государственной власти было и, в конечном итоге, поставленная цель была достигнута. Однако вплоть до конца XVIII в. государство еще не могло, да и не хотело определять «практическую раскладку» рекрутской повинности. Дело в том, что, в данном случае имелись определенные трудности, связанные с необходимостью создания условий для более полного контроля над рекрутской повинностью в участках, что требовало больших финансовых затрат. С другой стороны, государство, выдвигая общинам требования о вы-

ставлении рекрутов и практически не вмешиваясь в то, как они будут выполнены, тем самым облегчало рекрутскую повинность, поскольку общины имели возможность избавляться от нерадивых своих членов, отличавшихся «всяким буйством», «непрочностью в хозяйстве» или не плативших налогов. В интересах общины была и замена своего члена – исправного налогоплательщика на «человека со стороны» (годного в рекруты по происхождению и состоянию здоровья).

В течение XVIII в. у крестьян и мещан постепенно, в соответствии с народными представлениями о справедливости, выработался так называемый «очередной порядок». Данные Г.С. Сидоренко позволяют уточнить, как понималась эта «справедливость» в общинах при исправлении рекрутской повинности. Так, считалось важным, чтобы повинность отбывали все семейства участка, для чего устанавливалась очередность всех семейств. При этом очередное семейство, если в нем не оказывалось годных в рекруты мужчин, должно было принять участие в текущем наборе, выплачивая «миру» деньги на собранных рекрутов, даже если им самим через несколько лет предстояло выставить рекрутов [19]. Другим важным условием была т.н. «уравнительность», для достижения которой учитывалась «рабочая сила» семейств (число мужчин и число работников в семействе). В целом, очередная система была нацелена на то, чтобы она «возможно менее расстраивала благосостояние семейств, а следовательно, и всего общества; а так как благосостояние семьи зависело главным образом от числа рабочих рук, то в рекруты сдавались предпочтительно члены многорабочих семейств, которые от этого не подвергались такому разорению» [4]. Распределение рекрутских очередей и определение кандидатов в рекруты проводилось самими общинами. На первую очередь семьи, в которых насчитывалось больше работников (к примеру, «семерники»), на вторую очередь ставились семьи, в которых работников было меньше – «шестерники», на третью – «пятерники» и так далее вплоть до «одиночек» (семей с одним работником). Рекрутов ставили из числа тех, кто стоял на первой очереди. Если их оказывалось недостаточно, то к набору привлекали тех, кто был на второй очереди, затем – на третьей и так далее вплоть до «двойников». До «одиночек», как правило, очередь не доходила.

На рубеже XVIII–XIX вв. государство, испытывая необходимость в улучшении комплектования армии, причем, лучшими людьми, постепенно начало ставить под свой контроль «практическую раскладку», ограничивая самостоятельность общин и, таким образом, лишая их возможности полной реализации заложенных обычаями принципов «справедливости». Так, в 1798 г. император Павел I запретил принимать в рекруты «разных наций людей из бродяг, поведение коих никому неизвестно», повелев вместо них принимать непременно «российских подданных» [20]. С 1805 г. казенные и удельные селения (затем и мещане) были обязаны предоставлять мирские приговоры об отдаче людей в рекруты губернским казенным палатам и удельным экспедициям для проверки [10]. Как правило, гу-

бернские казенные палаты должны были наблюдать, «дабы назначение и поставка рекрут проведено было по составленным на сей предмет «пятисотских» участков из больших семейств – совершенно на очереди стоящих, а не малосемейных, одиноких и чтобы при представлении волостных правлений приговоров, головы рассматривали оные и поверяли с очередными книгами в правлениях, и когда окажется семейство на очереди, тогда и приговор свидетельствовали» [21]. Правда, на практике чиновники, например, архангельской и вологодской казенных палат не только наблюдали, но и неправомочно (на что указывало даже их вышестоящее начальство) пытались прямо «назначать» людей в рекруты и самостоятельно определять «практическую раскладку» [22–25]. Кроме этого, 28 апреля 1808 г. был издан указ, регламентировавший отдачу мирским обществом в рекруты своих членов за «дурное поведение». Теперь общественные приговоры крестьян или рапорты городских дум с приложенными к ним общественными приговорами должны были пройти проверку в казенных палатах и получить утверждение губернатора. Случаи, когда мирским обществам отказывали в их просьбах, были нередкими [26–28]. Затем в 1823 г. особым законом были существенно ограничены возможности для семейных разделов. Тем не менее, на масштабное вмешательство в «практическую раскладку», которое могло бы ее значительно изменить в разрез с устоявшимся обычаем, государство еще не решалось. Так, в 1796 г. стало известно, что по распоряжению архангельского генерал-губернатора Тутомлина установленные участки по 500 ревизских душ мужского пола при сборе рекрутов разделялись на 10 частей («жеребьев») по 50 чел. Основываясь на том, что при таком порядке «малосемейные несут равную участь с большими семьями», император Павел I повелел «разделение пятисотных участков на десятки уничтожить», что и было сделано специальным Сенатским указом от 11 декабря 1796 г. [29]. Следовательно, в начале XIX в. правительство признало выработанную в народе «очередную систему» и поставило ее под свой контроль. Но в то же время, пока центральные органы власти вплоть до 1831 г. не шли дальше установления контроля за определением мирскими обществами кандидатов в рекруты, на местах начался процесс «огосударствления» практической раскладки чиновниками. Об этом свидетельствуют, например, действия архангельских и вологодских губернских властей, не просто контролировавших, но стремившихся определять все аспекты «практической раскладки».

Наконец, в 1831 г. выработанные в народе принципы «очередной системы» были положены в основу закрепленного в Рекрутском уставе порядка отбора рекрутов в участках. В соответствии с правилами «очередной системы» семейства в составе участка, «от рекрутства неизъятые», заносились в так называемый «посемейный список». Семьи, в которых насчитывалось больше работников, заносились в начало этого списка и, таким образом, «ставились на рекрутскую очередь». Из их состава и набирали рекрутов. Система подсчета рабочей силы семейств была очень сложной – здесь боль-

шую роль играло не только число наличных душ мужского пола, но и число работников (тех, кто по закону признавался работником). С одной стороны, использование привычного уже обычая способствовало облегчению тяжести повинности для населения, но, с другой – теперь все вопросы определялись и жестко контролировались государством. Как мы могли видеть ранее, «очередная система» в свое время создавалась для того, чтобы сохранить общину и составлявшие ее семейства от разорения или минимизировать получаемый урон от изъятия рабочей силы, и основывалась на народных представлениях о «справедливости». В новых условиях «огосударствленная» система должна была служить более широким задачам, когда сохранение рабочей силы семейств и общины, в целом, занимало второе место после более четкого набора рекрутов, а народные представления о «справедливости» были заменены соображениями о «пользах и выгодах» государства. Так, государством были впервые установлены льготы и «изъятия» от рекрутчины и определено, какие категории населения не должны входить в число работников. Ранее работниками по закону считались все мужчины в возрасте от 18 до 60 лет, независимо от состояния здоровья. В соответствии с Рекрутским уставом 1831 г. при определении рекрутской очереди семейства из числа его работников исключались умершие и лица, сосланные на поселение, лица, безвестно отсутствовавшие в течение пяти лет, калеки, а также члены семьи, получившие личную льготу от рекрутчины (в качестве награды за службу, по профессиональной принадлежности, по переходу в другое сословие и т.д.) [30]. Все это шло в разрез со сложившейся ранее практикой, когда к отбытию повинности привлекались все семейства вне зависимости от наличия в нем годных в рекруты людей и качеств работников.

Однако созданный порядок оказался слишком сложным и неудобным как для государственной власти, так и для податных сословий. С 1834 г. в России началось создание военно-обученного запаса (срок службы солдат был сокращен на пять лет, которые они проводили в «бессрочном отпуску» – запасе). По действующим правилам рекрутской повинности в армию поступали люди разных возрастов, что снижало ее боевые возможности и ограничивало возможность по формированию запаса. Поэтому в 1838 г. в России началось постепенное и осторожное введение «жеребьевого порядка отправления рекрутской повинности» для государственных крестьян, с 1853 г. – в «обществах мещан». Теперь все семейства рекрутского участка, в зависимости от числа работников, разделялись на два (впоследствии – три) разряда. В первый попадали те из них, в которых было больше работников, а также бездомные и бессемейные «одиночки». Соответственно, во второй разряд попадали семейства с меньшим числом работников, в третий – «малорабочие». Очень важным было также наличие молодых людей необходимого возраста. К жеребью призывали молодых людей в возрасте от 21 до 35 лет не более семи человек на одного рекрута, и в первую очередь младшие возрасты – по разрядам. В случае недостатка 21-летних к жеребью

призывали 22-летних, затем – 23-летних и так далее. Сутью «жеребьевого порядка» являлся отбор рекрут из числа молодых людей преимущественно 21–23-летнего возраста, что было особенно важно, поскольку запас в этом случае получался более однородным и молодым по возрасту и лучшим по состоянию здоровья солдат. Как можно видеть, льготы были сохранены, и процесс отхода от всеобщности продолжился. Но при этом учет «рабочей силы семейств» сохранился, и тяжесть рекрутской повинности теперь стала распределяться более равномерно между различными семействами.

В дальнейшем из числа работников были исключены некоторые категории лиц по медицинским показаниям – те, кто не мог владеть рукой или ногой вследствие паралича или иной болезни (по приговору общества до выздоровления), лица, лишенные умственных способностей, которых нельзя привлечь ни к каким работам или занятиям, «доставляющим выгоду или пособие их семействам» (по приговорам обществ), при наличии глухонемого от рождения работника в семействе «двойников» семейство переводилось в разряд одиночек. Кроме того, из числа работников были исключены лица, представившие за себя в рекруты «наемника или безвозмездного охотника из чужих семейств» или заменившее себя представлением рекрутской зачетной квитанции [31–33]. В феврале 1844 г. в развитие ст. 92 Рекрутского устава мнением Госсовета было установлено, что «при определении... первенства рекрутской очереди, принимаются в счет лета не всех работников семейства, но одних годных по возрасту к службе, а именно работников, имеющих от 20 до 35 лет» [34].

Таким образом, установление приоритета государственных «польз и выгод» способствовало заметному отходу от принципов прежней «справедливости» народного обычая, в соответствии с которой рекрутчину должны были отбывать все без исключения семейства и первыми из них те, где было формально больше мужчин и работников. Это несоответствие прежнего обычая и созданного на его основе нового порядка приводило к определенной путанице, порождало различные недоразумения внутри общин, осложняло взаимодействие населения с органами управления. Примечательно, что представители податных сословий часто подавали жалобы на своих соседей по селу или волости, семейства которых долго не отбывали рекрутскую повинность. Например, в 1856 г. государственный крестьянин Вологодской губернии Родион Сергеев Попиков «явился с словесною жалобой о том, что семейство Федора Васильева Баруздина в прошедшие наборы освобождено от рекрутской повинности, тогда как семейство это состоит из трех работников и одного подростка» (по справке 1851 г. в семействе этом состояли сам Федор Васильев 38 лет и его дети Иван 18 лет, Игнатий 14, Арсений 12, Андрей 9 и Евгений 6 лет), несмотря на то, что в течение двух предшествовавших наборов Иван Васильев был освобожден «правильно» как единственный работник при отце [35].

Вместе с тем, установление государством льгот на уровне «практической раскладки» и новых правил учета «рабочей силы», несомненно, спо-

собствовало минимизации потерь отдельных семейств и снижению тяжести рекрутской повинности для населения. Имелся еще один существенный момент. Считается, что даже во второй половине XIX в. крестьяне были очень слабо знакомы с нормами формального законодательства [11]. Однако рекрутская повинность, в данном случае, является исключением. Крестьяне и мещане в ходе рекрутского набора использовали предоставленную законом возможность рекрутской замены (покупка квитанций, поиск наемников, в Архангельской губернии – откуп). Также вполне естественно, что представители податных сословий, имевшие право на льготы и «изъятия», стремились их реализовать. В этом случае им приходилось подтверждать свое право на «льготы», либо же бороться с чиновниками за признание своих прав. Если крестьяне и мещане считали решения чиновников и «сельских выборов» по постановке на рекрутскую очередь и жеребьевке «несправедливыми», они могли обжаловать их в вышестоящих инстанциях. Интересно посмотреть на статистику по жалобам «на неправильную отдачу» рекрутов, рассматривавшихся «начальником Вологодской губернии». Так, в 1843–1849 гг. жители Вологодской губернии подали 299 таких жалоб (в среднем 60 за один набор). В 1870–1873 гг. количество жалоб возросло на несколько порядков – до 1546 прошений (в среднем 515 за один набор). Интересно, что если в 1840-е гг. население Вологодской губернии обжаловало прием 299 рекрутов (3,2 % от их общего числа), то в 1870–1873 гг. – уже 1546 чел. (21,5 % всех рекрутов). Между тем, в 1845–1849 гг. были признаны ошибки в неправильном приеме 43 чел. (0,4 % от общего числа рекрутов). В пореформенное время в «первобытное состояние» возвращен 391 чел. (5,4 % от общего числа рекрутов). На их место после расследования были приняты новые рекруты [36–43]. Как можно видеть, в 1840-е гг. население не очень активно отстаивало свои интересы и проявляло слабое знакомство с требованиями закона, что было связано как с недостатком грамотности, так и с тем, что новые порядки, привнесенные в «практическую раскладку» Рекрутским уставом 1831 г., не были усвоены населением.

В пореформенное время картина существенно меняется: незначительное прежде количество жалоб увеличилось почти в семь раз, а количество признанных государством ошибок в практической раскладке рекрутской повинности выросло почти в десять раз. Увеличившееся число ошибок свидетельствует не только о сложностях, с которыми столкнулся механизм комплектования армии, но и о том, что население стало лучше разбираться в требованиях законодательства. Причина таких перемен кроется в том, что применявшиеся государством правила набора в рекруты основывались на народном обычае – «очередном порядке» и поэтому были в своей основе знакомы и понятны населению, а тяжелый характер рекрутской повинности подталкивал представителей податных сословий к изучению появлявшихся новшеств, в первую очередь тех, которые могли улучшить их положение. Однако при этом необходимо помнить, что процесс ознакомления податных сословий с законодатель-

ством был долгим и сопровождался сложностями, поскольку законодательные акты по рекрутской повинности (в особенности, устав) были довольно-таки объемными и ежегодно дополнялись новыми нормами.

Как можно видеть, в XVIII–XIX вв. в рамках рекрутской повинности происходило изменение взаимоотношений населения и государственной власти. В силу усложнения внешнеполитических условий и ряда причин внутреннего характера государство стремилось создать надежную и бесперебойную систему комплектования войск. Однако, учитывая тяжесть рекрутской повинности для населения и важность в жизни крестьян и мещан обычного права и традиций, государство первоначально не вмешивалось в сферу «практической раскладки» рекрутской повинности – отбор рекрутов внутри общин, однако впоследствии постепенно на рубеже XVIII–XIX вв. поставило этот процесс под свой контроль и через некоторое время, с 1831 г. и вплоть до отмены рекрутской повинности в 1874 г., стало его осуществлять самостоятельно. При этом существовавший в народе обычай отбора рекрутов был положен в основу законодательно зафиксированной системы отбора рекрутов и впоследствии изменялся по мере государственной необходимости.

С этого времени в рамках рекрутской повинности стали более заметны усиливающиеся расхождения между обычаем и нормами писанного права, что, несомненно, осложняло взаимодействие населения с органами управления и различные недоразумения внутри общин. С другой стороны, льготы и новые правила учета «рабочей силы» способствовали снижению тяжести рекрутской повинности для населения. В целом, появившиеся в XIX в. в «практической раскладке» рекрутской повинности новшества, при их общей направленности на обеспечение интересов государства, учитывали выработанные в народе принципы «справедливости» и вводились постепенно. Поэтому население, испытывая в том настоятельную необходимость, имело возможность приспособиться к нововведениям в сфере рекрутской повинности, усвоить требования законодательства и использовать предоставленные ему законом возможности.

Литература

1. Корсунов А. Опыт истории отправления личной воинской повинности в России от начала государства до издания Рекрутского устава, с 862 г. по 1831 г. Соч. действительного студента прав Александра Корсунова. СПб., 1850. 141 с.
2. *Столетие военного министерства 1802–1902*. Главный штаб. Исторический очерк. Комплектование войск в царствование императора Александра I. Т. IV. Ч.1. Кн.1. СПб., 1902. С. 1–166.
3. *Столетие военного министерства 1802–1902*. Главный штаб. Исторический очерк. Комплектование войск в царствование императора Николая I. Т. IV. Ч. 2. Кн.1. СПб., 1907. С. 1–12, 152–211.
4. Редигер А. Комплектование и устройство вооруженной силы. Ч.1 Комплектование армии. СПб., 1913. С. 130–139.

5. *Иванов А.Г.* Рекрутчина в низовьях Печоры. Архангельск, 1911. 11 с.
6. *Статистик.* Наем рекрута в половине XIX столетия в Архангельской губернии. Архангельск: Губ. тип., 1912. 10 с.
7. *Бескровный Л.Г.* Русская армия и флот в XVIII в. М.: Воениздат, 1958. 643 с.
8. *Бескровный Л.Г.* Русская армия и флот в XIX в. Военно-экономический потенциал России. М.: Наука, 1973. 616 с.
9. *Дружинин Н.М.* Государственные крестьяне и реформа П.Д. Киселева. Т. 1. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1946. 631 с.
10. *Александров В.А.* Сельская община в России (XVII – нач. XIX в.). М.: Наука, 1976. 323 с.
11. *Шатковская Т.В.* Закон и обычай в правовом быту крестьян второй половины XIX века // Вопросы истории, 2000. № 11-12. С. 96 – 105.
12. *Вапилин Е.Г.* Депутат Государственной Думы В.В. Шульгин: «Как будто преданность верховной власти есть функция роста: все большие – монархисты, все маленькие – республиканцы». Политические и национальные аспекты комплектования армии в XVIII – начале XX в. // Военно-исторический журнал, 2001. № 10. С. 20-26.
13. *Дьяконов М.В.* История рекрутской повинности // Курский край. Науч.-ист. журнал, 2005. № 10 (73). С. 43-48.
14. *Вакулова Л.Е.* Рекрутские наборы в Тамбовской губернии в XIX в.: автореф. дис. ... канд. ист. наук : 07.00.02. - Саратов, 2007.
15. *Иванов Ф.Н.* Эволюция государственной политики в сфере рекрутской повинности в XVIII – XIX вв. // Российская политика: прошлое, настоящее, будущее: Сборник трудов / Под ред. Г.Ф. Доброноженко, И.А. Гончарова. Сыктывкар: Сыктывкарский госуниверситет, 2006. Вып. 2. С. 164-176.
16. *Иванов Ф.Н.* Льготы и «изъятия» от рекрутской повинности в России в XVIII – XIX вв. // Вестник Тюменского государственного университета, 2010. №1. С. 21-27.
17. *Докладная записка П.А.Румянцева* Екатерине II об организации армии // Русская военная мысль, XVIII век: Сб. / Сост. В. Гончаров. М.: ООО «Издательство АСТ», СПб.: Terra Fantastica, 2003. С. 99-100.
18. *Генеральное учреждение* «О зборе в государстве рекрут и о порядках, какие при наборах исполнять должно, также и о штрафах и наказаниях, кто как в приеме, так и в отдаче не истинною поступать будет». [Конфирмовано 29 сентября 1766 года]. СПб.: [Тип. Морск. кад. корпуса, 1776]. 38 с.
19. *Сидоренко Г.* Рекрутская повинность. Значение ее в ряду систем формирования и комплектования войск и историческое развитие ее в России. Киев, 1869. С. 123.
20. *Высочайший рескрипт* от 17 мая 1798 г. на имя Его императорского высочества государя наследника и великого князя Александра Павловича // Полное собрание законов Российской империи. Собрание первое. Т. XXV. СПб., 1830. № 18 526.
21. *Государственный архив* Вологодской области (далее – ГАВО). Ф. 671. Оп. 1. Д. 41. Л. 18 об.-19 об.
22. ГАВО. Ф. 31. Оп. 1. Д. 68. Л. 6-11 об.
23. *Государственный архив* Архангельской области (далее – ГААО). Ф. 1367. Оп. 1. Д. 272. Л. 35, 36-40, 410-410 об.
24. ГААО. Ф. 1367. Оп. 1. Д. 48. Л. 17-17 об.
25. ГААО. Ф. 1. Оп. 3. Д. 1433. Л. 8.
26. ГАВО. Ф. 18. Оп. 1. Д. 614. Л. 1-11.
27. ГАВО. Ф. 388. Оп. 1. Д. 8149. Л. 1-8.
28. ГААО. Ф. 1367. Оп. 1. Д. 96. Л. 2 – 27.
29. *Сенатский указ* от 11 декабря 1796 г. «О неразделении пятисотных рекрутских участков на десятки» // Полное собрание законов Российской империи. Собрание первое. Т. XXIV. СПб., 1830. № 17 633.
30. *Рекрутский устав 1831 г.* // Полное собрание законов Российской империи. Собрание второе. Т. VI. СПб., 1831. № 4677.
31. *Общий устав рекрутский* // Свод законов Российской империи. Т. IV. СПб., 1842.
32. *Общий устав рекрутский* // Свод законов Российской империи. Т. IV. СПб., 1857.
33. *Свод уставов рекрутских.* СПб., 1862.
34. ГАВО. Ф. 18. Оп. 1. Д. 1047. Л. 70.
35. ГАВО. Ф. 276. Оп. 1. Д. 1006. Л. 1-8 об.
36. *Российский государственный исторический архив* (далее – РГИА). Ф. 1263. Оп. 1. Д. 1637. Л. 647.
37. РГИА. Ф. 1263. Оп. 1. Д. 1780. Л. 432.
38. РГИА. Ф. 1263. Оп. 1. Д. 1934. Л. 813 об.
39. РГИА. Ф. 1263. Оп. 1. Д. 2015. Л. 662 – 663.
40. РГИА. Ф. 1263. Оп. 1. Д. 2101. Л. 1290.
41. РГИА. Ф. 1263. Оп. 1. Д. 3552. Л. 321 – 321 об.
42. РГИА. Ф. 1263. Оп. 1. Д. 3595. Л. 245 об.
43. РГИА. Ф. 1263. Оп. 1. Д. 3722. Л. 189 об.

УДК 338.439:639.2(470.1-922)

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА В ЗОНЕ АРКТИКИ

А.М. ВАСИЛЬЕВ¹, О.Н. ЗАБОЛОТСКИЙ²

¹ *Институт экономических проблем Кольского НЦ РАН, г.Мурманск*

² *Баренцево-Беломорское территориальное управление Федерального
агентства по рыболовству, г.Мурманск*

vasiliev@pgi.ru

Представлена динамика социально-экономических показателей в рыбном хозяйстве европейского Севера России под влиянием перестроечных процессов 1990-х гг. Дана оценка законодательных нововведений в области рыбного хозяйства. Рассмотрены основные направления технического и экономического развития рыбного хозяйства.

Ключевые слова: Северный бассейн, рыбная отрасль, социально-экономические показатели

A.M. VASILYEV, O.N. ZABOLOTSKY. SOCIAL AND ECONOMIC ASPECTS OF THE FISHERIES DEVELOPMENT IN THE ARCTIC ZONE

Dynamics of social and economic indicators in Fishing Industry of the European North of Russia under the influence of reorganization processes of the 1990-s is considered. The estimation of legislative innovations in the field of Fishing Industry is given. The basic directions of technical and economic development of Fishing Industry are considered.

Key words: North pool, fishing industry, socio-economic indicators

Признаки кризиса

Советский Союз в 1970–1980-е гг. был мировым лидером по объему вылова рыбы. Однако в 1990-х гг. в рыбохозяйственном комплексе России сложилась кризисная ситуация; улов в 1994 г., по сравнению с 1988 г., уменьшился в 2,4 раза (с 8,4 млн. т до 3,5 млн. т), потребление рыбной продукции населением снизилось более чем в два раза; экспорт же пищевой рыбной продукции увеличился в ~2,0 раза (с ~600 тыс. т до 1300-1332 тыс. т) и составлял ~65-67 % ее производства [1]. Рыбная отрасль вступила в полосу системного кризиса с угрозой полного разрушения.

Негативные последствия экономического кризиса и утраты системного управления в рыбном хозяйстве можно показать на примере Северного рыбопромышленного бассейна и Мурманской области, рыболовный флот которых осуществляет свою деятельность преимущественно в Северной Атлантике. Уже с 1988 г. – со вступлением в силу «Закона о госпредприятии» и ликвидацией Всесоюзного рыбопромышленного объединения (ВРПО «Севрыба») – начали снижаться объемы вылова, резко сокращаться поставки охлажденного рыбного сырья на рыбокомбинат. Отечественные траулеры без морозильных установок, что ограничивало их промысел, были вынуждены сдавать улов на морозильные суда, и эта операция занимала много

времени. Переоборудование траулеров в морозильные началось с большим опозданием; увеличивался вывоз «сырой» рыбы за рубеж, минуя российские порты. При недогрузе имеющихся на нашем берегу перерабатывающих мощностей преждевременно начали создаваться совместные предприятия по переработке рыбы. Вспомогательные и обслуживающие предприятия решали свои проблемы за счет повышения цен и тарифов, что усугубляло ущербность основного производства. В дальнейшем эти тенденции набирали силу; большинство из них наблюдаются и в настоящее время.

Новые цели

Морской доктриной Российской Федерации на период до 2020 г. [2], Концепцией развития рыбного хозяйства Российской Федерации на период до 2020 г. [3] и другими документами, определяющими основные направления развития рыбного хозяйства страны, поставлены следующие цели:

- оптимизация промысла в исключительной экономической зоне Российской Федерации, усиление государственного контроля за выловом рыбы и рациональным использованием рыбопромыслового флота;
- устойчивое функционирование рыбопромышленного комплекса на основе сохранения, воспроизводства и рационального использования водных биоресурсов;

– увеличение участия рыбной отрасли в обеспечении продовольственной независимости страны, в социальном и экономическом развитии прибрежных территорий, источники существования которых зависят именно от прибрежного рыбного промысла;

– создание условий, способствующих извлечению выгоды из морской хозяйственной деятельности населением РФ, особенно ее приморских регионов, а также государством в целом.

Достижение перечисленных целей в решающей мере зависит от количества и состава промыслового флота. Такой вывод основан на том, что на судах производится более 90 % общего объема продукции и, следовательно, типы судов и их количество определяют общий и видовой состав добычи, ассортимент выпускаемой продукции, производительность труда, рентабельность производства, энергоемкость добычи и другие показатели рыбной отрасли.

Проблемная ситуация

Состав океанического рыболовного флота Мурманской области за годы рыночных реформ стал почти полностью морозильным, не зависящим от береговых рыбоперерабатывающих предприятий. Тем самым он приспособился к вывозу уловов за рубеж, полностью прекратил поставки охлажденного рыбного сырья и полуфабрикатов на береговые заводы России, готовой охлажденной продукции для населения. В результате таких трансформаций значительно снизилась роль рыбной отрасли в валовом продукте страны и приморских регионов, в обеспечении продовольственной безопасности России, в занятости населения, в налоговых платежах в бюджетную систему, не выполняются и другие задачи, перечисленные выше.

Динамика некоторых производственных и социально-экономических показателей рыбного хозяйства Северного бассейна и Мурманской области приведена в табл. 1.

Структурные сдвиги в составе флота, наряду с трансформациями в законодательстве и норма-

тивной базе, коренным образом изменили направления выгрузок уловов и рыбопродукции, материальных и финансовых потоков. Если до начала 1990-х гг. выгрузки преимущественно осуществлялись в России, то в настоящее время продукция донных видов рыб на 80-90%, пелагических – в меньшей мере поставляется за рубеж из районов промысла, минуя отечественные порты. В 2007 – 2008 гг. вывоз за рубеж рыбопродукции, произведенной на судах, составлял, соответственно, 52,9 % и 52,1. Выгрузки в порту г. Мурманска определились всего в 44,1 % и 42,2 от общего объема производства на судах. Приведенные пропорции являются неблагоприятными, поскольку потребление рыбопродукции в стране составляет около 2/3 медицински обоснованной нормы, в том числе более 40 % за счет импорта.

Приведенные в табл. 1 данные свидетельствуют о негативном влиянии на рыбную отрасль трансформаций, наблюдавшихся в перестроечные годы. Особо отметим сокращение производственной деятельности в рыболовстве и береговом производстве, уменьшение значения рыбной отрасли в валовом региональном продукте на 21,8% и снижение численности занятых на 77,3%, в том числе за счет интенсификации труда рыбаков примерно на 1/3 [4].

Вследствие вывоза рыбопродукции за рубеж без декларирования, сокрытия доходов и искажения финансовой отчетности фиксируемые денежные потоки в рыбной отрасли в настоящее время не отражают истинное экономическое положение рыбодобывающих организаций. Ситуация усугубляется также и тем, что российские суда закупают за рубежом материально-технические ресурсы, проводят ремонты и после этого не заходят в российские порты, чтобы не оплачивать соответствующие импортные пошлины и НДС.

Технические характеристики

Государственная политика в сфере совершенствования природопользования, в том числе и в рыбной отрасли, должна заключаться в стимулировании рационального использования биоресур-

Таблица 1

Производственные и социально-экономические показатели по рыбному хозяйству Северного бассейна

Показатели	1990г.	2008г.	Отношение 2008г. к 1990г., %
Численность океанического промыслового флота Северного бассейна, ед.	397	266	67,0
В том числе Мурманская область	269	171	63,6
Объем вылова рыбы и морепродуктов, млн.т	1600	734	45,9
В том числе Мурманская область	1200	557	46,4
Количество береговых рыбоперерабатывающих предприятий, ед.	18	61	338,9
В том числе Мурманская область	8	46	575,0
Производство рыбопродукции береговыми предприятиями, тыс.т	141,0	39,1	27,7
В том числе Мурманская область	100,9	25,0	24,8
Экспорт рыбопродукции, тыс.т	24,0	247,9	1032,9
Доля рыбной отрасли в региональном продукте Мурманской области, %	~ 30	8,2	21,8
Численность занятых в рыбном хозяйстве Северного бассейна, чел.	73403	нет	нет
В том числе Мурманская область	59082	данных	данных
Численность занятых в рыбодобывающих предприятиях «Севрыбы», чел.	45256	11040	24,4
В том числе Мурманская область	33990	7728	22,7
Потребление рыбной продукции в Мурманской обл. на 1 чел./год, кг	~ 50	24,2	48,4
Налоговые платежи в бюджетную систему РФ от предприятий Мурманской обл., основной вид деятельности которых «Рыбоводство и рыболовство», млн. руб.	2439,4 (2007 г.)	1348,1 (2009)	55,3

сов. При этом государство, владея водными биоресурсами в 200-мильной экономической зоне, осуществляя их изучение и содействуя развитию промыслового флота, по нашему мнению, имеет право и возможности оказывать воздействие на техническую политику судовладельцев и на формирование структуры флота. Однако с начала рыночных реформ и по настоящее время государственные органы всех уровней не считают необходимым заниматься этой проблемой. В условиях отсутствия экономических стимулов, правовых и административных ограничений в части состава флота в 1990-х и 2000-х гг. наблюдались изменения, не учитывающие государственные интересы: сокращение добывающих мощностей для промысла в открытых водах Мирового океана, избавление от судов, не имеющих морозильных установок, и необоснованный рост численности судов для добычи валютноёмких донных гидробионтов (табл. 2).

Состав промыслового океанического флота европейского Севера России ныне на 80% состоит

шать экономическую эффективность переработки уловов; образовывать значительную добавленную стоимость; перераспределять природную ренту между добычей и переработкой путем проведения переговоров о цене сырья и полуфабриката.

Траулеры с морозильными установками, в основном, также разгружаются и реализуют рыбопродукцию в собственных странах. Часть из нее направляется на более глубокую переработку, а остальная продается на экспорт специальными организациями.

В рыболовстве европейского Севера России, кроме тралов, используются только яруса и удочки. Ими добывается менее 10% общего объема донных видов рыб (с учетом прибрежного лова). Социальная направленность также просматривается слабо.

Биоресурсная экономика

Сформировавшийся на европейском Севере России состав рыболовного флота привел также к разрыву технологической цепочки переработки ры-

бы: промысловые суда – береговые рыбозаводы – торговые предприятия. Среднее звено (береговые предприятия) выпадает из схемы вследствие поставок на берег уже готовой рыбопродукции. Использование производственных мощностей береговых заводов составляет лишь 10-20 %, такие предприятия в Мурманской, Архангельской областях и Республике Карелия нередко закрываются или переходят на переработку рыбы, выращенной в аквакультуре. При этом основные пелагические объекты добычи из Северо-Восточной Атлантики – путассу, сельдь, сайка и другие – в мороженом виде имеют ограниченный сбыт, так

как потребление их в пищу без дополнительной обработки и облагораживания ограничено. Для улучшения ситуации в прошлые годы практиковалось наделение береговых заводов так называемыми заблокированными квотами биоресурсов, что давало определенный эффект – объемы производства рыбозаводов увеличивались. Однако в 2004 г. эта мера была отменена как нерыночная и непрозрачная.

Береговые предприятия, перерабатывающие донные виды рыб, работают преимущественно на охлажденном сырье и полуфабрикатах из прибрежья. Такой вид рыболовства целесообразно расширять за счет биоресурсов 200-мильной экономической зоны и *использовать только суда без морозильных установок*, ибо в противном случае цель прибрежного рыболовства, по нашему мнению, будет полностью дискредитирована. Актуальность критерия доставки рыбы из прибрежных вод только в свежем виде возросла в связи с получением разрешения на реализацию ее населению.

Неоспоримой доказанной реальностью является факт, что промысловый флот Мурманской области осваивает водные морские биоресурсы с низ-

Состав океанического промыслового флота Мурманской области [5,6]

Тип судна	Длина наиб. м	Кол-во, ед.		
		1990г.	2000г.	2008г.
Крупные суда	113,3-120,4	27	20	11
Большие морозильные рыболовные траулеры разных типов (БМРТПТ)	81,0-107,0	118	36	15
Средние морозильные траулеры	45,0-69,0	72	175	135
Средние рыболовные траулеры Западной постройки	~ 60,0	11	36	5
Средние рефрижераторные траулеры	43,7-69,0	52	46	2
Ярусоловы	47,0-59,0	-	2	14
Краболовы	-	-	-	4
Гребешколовы	80,5	-	1	1
Всего	-	269	280	183

Примечание. «-» нет данных.

из траулеров, построенных в советское время, остальные 20% приобретены в разных странах в период перестройки, приблизительно 25 лет назад. Основные типы прибрежных судов: малый рыболовный траулер (МРТ) типа «Балтика», устаревшие сейнеры разных проектов, различные переоборудованные малые и маломерные суда; 60-65% судов длиннее 30 м, в то время как в европейских странах, США и Канаде такие суда составляют по численности не более 5%, в Норвегии 3,3.

В рыболовстве западных стран для добычи массовых видов рыб (мойвы, сельди, скумбрии и др.) преимущественно используется кошельковый лов, который более производитель и менее энергоёмок по сравнению с траловым. На промысле донных гидробионтов, наряду с тралами, широко применяются яруса, сети, снюрреводы и другие орудия лова, позволяющие экономить топливо и вести более селективный промысел. Суда с незаконченным циклом переработки (без морозильных установок), как правило, «привязаны» к береговым перерабатывающим предприятиям. Это позволяет обеспечивать большую занятость населения; сокращать время пребывания рыбаков в море; повы-

кой социальной и экономической эффективностью и не обеспечивает достижение целей, поставленных перед рыбопромышленным комплексом руководством страны, в том числе увеличение участия рыбной отрасли в обеспечении продовольственной безопасности страны, в социальном и экономическом развитии прибрежных территорий, источники существования которых зависят от рыболовства (налоговые платежи за 2008-2009 гг. уменьшились на 45%). Согласно долгосрочному прогнозу Полярного научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ПИНРО) доступные Мурманским рыбакам объемы биоресурсов в Северной Атлантике в ближайшие годы и на перспективу останутся примерно на нынешнем уровне – 630-650 тыс. т в год. Для обеспечения комплексной глубокой переработки биоресурсов в составе флота целесообразно иметь: около 15 единиц трауле-

ров длиной ~41 м, 23 траулера-завода типа «Сев-рыба-2», ~16 многоцелевых траулеров-заводов (для донного и пелагического лова), около 10 сейнер-траулеров проекта 13720 и ~5 сейнер-траулеров с морозильными установками и рефрижераторными танками с RSW для снабжения береговых заводов охлажденным сырьем.

Свою коммерческую политику судовладельцы объясняют отсутствием в России рынка с ценами мирового уровня (кроме Москвы). Однако официальные статистические данные свидетельствуют, что цены на вывозимые виды продукции за рубежом и в Мурманске различаются незначительно (табл. 3). Следовательно, есть и другие причины развития «экспорта». По нашему мнению, они могут заключаться в быстрой оплате рыбопродукции, в возможности кредитов с низкой процентной ставкой на эксплуатационные расходы, в безопасности биз-

Таблица 3

Показатели рыболовства Мурманской области

Показатели	2000г.	2005г.	2006г.	2007г.	2008г.
Вылов, всего, тыс. т:	602,6	578,8	607,0	550,4	556,5
донных видов, тыс.т	261,1	228,7	225,3	206,7	211,5
пелагических, тыс.т	341,5	350,1	381,7	343,7	345,0
Производство пищевой продукции, тыс.т	417,6	513,8	556,6	507,1	510,0
Производство продукции на судах, тыс.т	403,1	486,3	503,2	449,8	475,8
Вывоз рыбы и ракообразных за рубеж, тыс.т	192,8	224,7	280,5	237,9	247,9
млн. дол. США	-	372,7	530,9	591,8	516,6
рыба охлажденная, тыс.т	-	16,3	1,3	1,8	1,2
млн. дол. США	-	4,4	3,0	2,9	1,2
рыба мороженая, тыс.т	-	190,0	256,9	215,9	230,0
млн. дол. США	-	269,2	380,3	418,4	390,7
филе, тыс.т	-	12,1	14,0	10,6	10,7
млн. дол. США	-	50,3	63,6	63,4	65,1
Удельный вес «экспорта» в общем объеме выпуска товарной пищевой продукции, %	47,7	43,7	50,4	46,7	48,6
Стоимость 1т «экспорта», дол. тыс.руб.	1296,9 36391,0	1658,7 46864,9	1892,7 51574,2	2487,6 63782,1	2083,9 50826,3
рыба свежая, охлажденная и мороженая, дол. тыс. руб.	1126,7 31615,2	1326,2 37470,4	1429,2 38944,3	1939,2 49721,1	1695,1 41343,5
филе рыбное и прочее мясо рыб, дол. тыс. руб.	3081,3 86276,4	4157,0 117452,6	4542,9 123788,3	6000,0 153840,0	6084,1 148391,5
Оптовая цена 1кг рыбопродукции в Мурманске, тыс. руб.:					
треска потрошенная без головы	—	52-80	52-95	84-90	85-115
пикша потрошенная без головы	—	45-57	53-60	64-70	45-64
филе трески	—	110-145	110-164	125-180	135-180
филе пикши	—	88-110	87-120	95-130	95-120
Коэффициент «глубины» переработки рыбного сырья на пищевую продукцию на судах (отношение объема пищевой продукции к улову), %	80,2	84,1	83,1	82,7	83,3
Выгрузка рыбопродукции в ММРП, тыс.т	331,2	241,2	230,2	198,3	255,0
Продукция из донных видов рыб, тыс.т	50,9	40,2	54,1	49,1	-

неса, в получении дополнительных доходов за счет заниженного курса рубля и различных непрозрачных схем продаж. Что касается малой емкости внутреннего рынка, то можно констатировать, что он мало изучен, отсутствуют структуры, которые должны заниматься сбытом рыбопродукции. Сложилось так, что российские рыбопромышленники лучше знают зарубежные рынки и, наоборот, иностранцы владеют данными о российских рынках и расширяют свои продажи рыбопродукции.

Заработная плата российских рыбаков в 2008 г. составила в среднем 34,2 тыс. руб. в месяц, что не соответствует тяжести, опасным и некомфортным условиям труда. В европейских же странах, США и Канаде она в несколько раз выше.

Организационно-экономические меры

В целях улучшения состояния рыбной отрасли и, собственно, социально-экономического улучшения положения приморских регионов, увеличения роли рыбного хозяйства в обеспечении продовольственной безопасности в 2007-2008 гг. приняты федеральные законы №333 (от 6 декабря) и №250 (от 3 декабря), внесшие в основной закон о рыболовстве №166 – ФЗ более полусотни поправок, «заработали» 37 постановлений и распоряжений Правительства.

Наиболее важным, по нашему мнению, является решение о наделении хозяйствующих субъектов квотами биоресурсов на 10 лет вместо прежнего 5-летнего срока. Сделано это в целях создания благоприятной обстановки для обновления производственного аппарата и напрямую связано со сроком окупаемости новых судов. Предполагается, что в этом случае у судовладельцев будут возможности для получения кредитов на постройку современных траулеров и для расплаты за них. Однако упускается из вида, что биоресурсы, например на Северном бассейне, в настоящее время распылены между 105 добывающими организациями океанического лова и 124 организациями-прибрежниками, имеющими, соответственно, 184 и 151 судно.

Вследствие недостаточности квот и, следовательно, финансовых ресурсов большинство судовладельцев не имеют возможностей обновлять свои основные фонды. В настоящее время общепризнанным является факт, что для приобретения современного траулера необходимо сконцентрировать не менее 4-5 тыс. т ценных донных гидробионтов и 10-11 тыс. т пелагических. Фактически такие объемы во многих случаях осваивают 5-10 компаний [7]. Добровольно укрупняться «карлики» не желают, а закон и в новой редакции не создает для этого условий. Как и прежде, организации могут объединяться в товарищества, брать суда в аренду и осваивать полученные квоты – закон этого не запрещает. На практике это равносильно получению ренты от владения земельными участками.

Решение данной проблемы при существующей системе распределения квот заключается в законодательном запрещении освоения биоресурсов несобственными судами и выставлении на аукцион не освоенных биоресурсов, в котором будут участвовать только местные рыбаки. В этих целях необходимо осуществлять контроль

выбора квот в разрезе года. Другой метод концентрации биоресурсов – запрещение выхода на промысел судов, не обеспеченных квотами в объемах их реальной годовой производительности. Океаническим промыслом, по нашему мнению, должны заниматься средние и крупные организации, а малые – прибрежным ловом.

Значительное влияние на организацию производственной и коммерческой деятельности добывающих организаций оказывает решение о реализации водных биоресурсов и продуктов их переработки на товарных биржах. Порядок продаж предстоит разработать Правительству РФ, и от него, а также от мест расположения бирж будет зависеть эффект от данного нововведения. Биржи целесообразно располагать в центрах рыбодобывающих регионов – в Мурманске, Владивостоке, Калининграде и Астрахани. Преимущественное право приобретения биоресурсов следует предоставить российским покупателям. В этом случае будет достигнуто увеличение производства рыбной продукции и, возможно, снижение цен (за счет избавления от посредников и ограничения розничных наценок). При уравнивании прав покупателей иностранцев и россиян положение с развитием береговой рыбообработки и насыщением отечественного рынка рыбопродукцией, по нашему мнению, улучшится незначительно. Однако эффект от снижения объема незаконного промысла может быть получен в любом случае.

Пока не совсем ясным являются последствия введения в Закон «О рыболовстве...» положения, обязывающего предприятия ввозить на таможенную территорию Российской Федерации все водные биоресурсы, добытые на отечественном континентальном шельфе. В целях стимулирования этого процесса ставка сборов за биоресурсы в совокупности снижена на 95 %. Можно предполагать, что Правительство РФ надеется достичь нескольких целей:

- достаточно достоверного учета уловов и снижения за счет этого браконьерской деятельности;
- увеличения выгрузок уловов в российских портах, улучшения финансовых результатов их деятельности и роста занятости населения;
- получения мультипликативного эффекта в отраслях, обслуживающих промысловую деятельность;
- насыщения внутреннего рынка белой рыбой по доступным ценам, так как ранее судовладельцы заявляли, что для компенсации потерь, связанных с внутренними ценами, достаточно снизить сборы на 15-20 %.

Однако в условиях выгоды экспорта рыбопродукции, по сравнению с поставками на внутренний рынок, отсутствия налоговой амнистии судовладельцам, приобретавшим и ремонтировавшим траулеры за рубежом, события развиваются по другому варианту. Уловы в значительной мере доставляются на российский берег, и после декларирования на транспорте рыбопродукции она экспортируется. Следовательно, ожидаемый мультипликативный эффект от заходов в порт значительного количества траулеров получен не будет. Наряду с этим, вследствие законодательного умень-

шения сборов за биоресурсы на 90 % и роста операционных затрат за счет доставки рыбопродукции в порт, уже в 2009 г. произошло сокращение налоговых поступлений от промысловой деятельности на 45% по сравнению с 2007 г.

Следует также отметить, что исполнение этого нового положения Закона «О рыболовстве...» рыбаками Северного бассейна в отношении донных видов рыб (наиболее ценных) в значительной мере может быть обойдено путем увеличения промысла трески в Норвежской экономической зоне (НЭЗ), что положительно скажется на запасах рыб и эффективности промысла, так как там ловится более крупная и высокостоящая рыба. По расчетам ПИНРО в 2004 г. прибыль на 1 т трески, добытой судами типа СРТМ в российской экономической зоне (РЭЗ), составляла 796 дол. США, а в НЭЗ – 1412 дол. Таким образом, прибыль от промысла в НЭЗ выше на 77,4 % [8]. Современные цены на треску разной длины свидетельствуют, что выгодность промысла крупной рыбы сохраняется, примерно, на таком же уровне. Резервы увеличения добычи трески в НЭЗ имеются, так как вылов с судов Северного бассейна в последние четыре года в этом же районе составлял, в среднем, 57 % общего объема.

Проблемы прибрежного лова

Одним из действенных и эффективных методов увеличения поставок донных видов рыб и морепродуктов на российский берег является наращивание масштабов прибрежного лова с использованием только судов, не имеющих морозильных установок, и применяющих для добычи преимущественно пассивные орудия лова. Однако поправки, внесенные в Закон «О рыболовстве...» в отношении этого вида деятельности можно рассматривать как шаг назад. Если в прежней редакции Закона (с учетом поправок) район промысла был ограничен мореходными качествами малых судов, то в новой – ограничен внутренними водами, территориальным морем, а также районами континентального шельфа, *определенными Правительством РФ*.

Поскольку в России законодательство в сфере рыболовства строится применительно к Дальневосточным промыслам, то там эта поправка возможна и уместна. Однако условия для развития прибрежного рыболовства по рыбопромышленным бассейнам различаются и это следует учитывать. На Европейском Севере в отдельные периоды года промысловые скопления в 12-мильной зоне незначительны. Поэтому возникает необходимость расширения промысла за ее пределами. Сохранение нынешней трактовки прибрежного рыболовства может привести к существенному снижению масштабов и производительности лова в акваториях Мурманска.

К развитию прибрежного промысла следует подходить комплексно, с учетом судов, орудий лова, производимой продукции и цен на нее. Во всем мире в этих целях используются маломерный флот, преимущественно пассивные орудия лова. Рыба, добываемая ярусами, имеет большую цену и доставляется на берег только в свежем и охлажденном виде. В некоторых странах квотами поощряется доставка на берег уловов в неразделанном виде.

Правительственные органы участвуют в формировании цен на сырье для береговых предприятий. Для успешного функционирования «прибрежки» существуют различные преференции, так как по экономической эффективности она не может равняться с океаническим ловом (если не учитывать в комплексе с береговыми заводами). В российских нормативных актах эти два разных вида деятельности уравниваются по экономическим критериям, техническим и другим признакам. Имеющееся в прежних документах положение о реализации продукции только в охлажденном виде в новой редакции Закона «О рыболовстве...» убрано. Если это не будет срочно исправлено, то нынешние суда будут замещаться морозильными, как это уже произошло с океаническими судами, и прибрежный промысел в районе Мурманска утратит право на существование.

Необходимость наличия в нормативных документах, регламентирующих прибрежный лов, положения о производстве рыбопродукции только в свежем виде важна и по той причине, что она является наиболее ценной в пищевом отношении и стоимость ее должна быть выше, что может несколько усилить позиции прибрежного рыболовства в конкурентной борьбе «за место под солнцем» с океанистами. Так, по данным Токийского оптового рынка Цукидзе, цены на нем складываются по следующей шкале (в баллах): живая рыба – 100, охлажденная – 50, мороженая – 25, соленая – 20 [9]. Такую дифференциацию цен сформировал рынок рыбодобывающих стран. В особом положении находится только Россия, где продажа рыбопродукции осуществляется только в мороженном виде.

Освоение новых объектов рыболовства

Не способствует развитию рыболовства в России положение Закона «О рыболовстве...» о закреплении долей на новые объекты лова через аукционы (ст. 29 п. 7 и др.). В обстановке дефицита промысловых биоресурсов вовлечение в промысел новых гидробионтов должно стимулироваться, так как сопряжено с дополнительными затратами и рисками. Недопонимание этого привело к недоиспользованию сырьевой базы Баренцева моря и сопредельных вод. О новых объектах промысла много сказано и написано, но вовлечения их в оборот не наблюдается. Одним из способов стимулирования начала промысла новых биологических водных объектов могло бы стать, например, увязывание их добычи с объемами квот на основные высокорентабельные – треску и пикшу.

Проблема переработки рыбы

В поручении Правительства РФ в адрес Госкомрыболовства о доработке Концепции развития рыбного хозяйства в стране до 2020 г. (от 24 января 2008 г.) особое внимание уделено разработке «комплекса мер, направленных на развитие предприятий по переработке водных биологических ресурсов, обратив особое внимание их береговой переработке». По нашему мнению, в данном случае вопрос участия рыбной отрасли в решении проблемы обеспечения продовольственной безопасности страны подменяется рассмотрением локального вопроса – увеличения производства рыбопро-

дукции на береговых заводах. По крайней мере, так можно трактовать ситуацию в рыбной отрасли европейского Севера России.

Дело в том, что в различных странах рыбопереработка развивается или преимущественно на береговых предприятиях (например, в Норвегии, Исландии) или преимущественно на судах (Россия). Это происходит под влиянием различных факторов, в том числе зависит и от структуры добывающего флота. На Северном бассейне, как показано выше, уловы в большей мере перерабатываются и замораживаются на добывающих судах. *Следовательно, направления и масштабы развития береговой рыбопереработки предопределяются спросом населения Мурманской области и соседних регионов на соленую, копченую и другую деликатесную рыбопродукцию.* За пределами названных областей возможна продажа лишь оригинальных видов продукции: крабовых палочек, отдельных видов консервов и пресервов, клипфиска, водорослей и продукции из морского гребешка, морского ежа и т.п.

Согласно рекомендациям Академии медицинских наук России годовая норма потребления рыбных продуктов должна составлять около 20 кг на душу населения в год, в том числе 70-80 % в свежем или свежемороженом виде. Увеличивать потребление можно только за счет свежей рыбы. Исходя из этого следует проектировать оптимальное производство копченой, соленой рыбы (с учетом пресервов) и гастрономии для населения Мурманской области в объеме около 4 тыс. т/год, Архангельской – ~6 тыс. т и Республики Карелия ~3,2 тыс. т.

Можно рассматривать вопрос замены капиталозарплатоемкого производства мороженой рыбопродукции, каким является судовое, на менее капиталозарплатоемкое – береговое. При таком подходе необходимо исследовать проблему производительности и экономической эффективности технологической цепочки «суда – ловцы – береговое производство», в сравнении с показателями «траулеры – фабрики». В конечном итоге, проблема может сведена к приобретению судов, например сейнер-траулеров с RSW-танками, обеспечивающих более высокую эффективность добычи гидробионтов.

Если все же считать главной задачей увеличение участия рыбной отрасли в обеспечении продовольственной безопасности России, то возникает необходимость ограничения вывоза рыбопродукции

за рубеж. Для стимулирования этого процесса, как известно, снижены сборы за биоресурсы на 90 % для судов, поставляющих рыбопродукцию на внутренний рынок. Если этого окажется недостаточно, то из экономических мер целесообразно использовать соответствующую политику наделения хозяйствующих субъектов квотами биоресурсов.

Подводя итог исследованию технико-экономических аспектов развития рыбного хозяйства в Северной Атлантике и Арктических районах можно констатировать, что эффективность его с точки зрения общероссийских и региональных интересов низка. Необходимо более тщательно подходить к гармонизации интересов рыбаков, государства и общества, учитывать региональные особенности, обосновывать пути и методы достижения программных целей.

Литература

1. *Зилянов В.К.* Россия и Мировое рыболовство: пути реформирования и интеграции // Рыбное хозяйство, 1994. № 2. С. 9-16.
2. *Морская доктрина* РФ на период до 2020 г. // Рыбное хозяйство, 2001. № 5. С. 3-11.
3. *Концепция развития* рыбного хозяйства РФ на период до 2020 г. // Государственный комитет Российской Федерации по рыболовству. М., 2008.
4. *Васильев А.М.* Повышение эффективности функционирования рыбной отрасли России в Северо-Восточной Атлантике: дис. канд. экон. наук. Апатиты, 2006. 355 с.
5. *Статистический сборник* «Рыболовство и производство рыбной продукции в Мурманской области» / Тер. орган Федеральной службы гос. статистики по Мурманской области. Мурманск, 2006 г.; 2007г.; 2008 г.; 2009 г. 31 с.
6. *Рыбохозяйственный комплекс* Мурманской области в 2008 г. // Отчет департамента по рыболовству Мурманской областной администрации. Мурманск, 2009. 28 с.
7. *Бондаренко В.М.* Бизнес должен быть: самостоятелен, честен и открыт // Рыбные ресурсы, 2006. №2. С. 8-12.
8. *Шевченко В.Т.* Чья это прибыль осталась в Баренцевом море? // Рыбные ресурсы, 2005. №1. С. 33-35.
9. *Студенецкий С.А.* Социальное значение рыбной отрасли для России // Рыбное хозяйство, 1994. №4. С. 3-9.

АНАЛИЗ ВОЗРАСТНОЙ СТРУКТУРЫ ПРОФЕССОРСКО-ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКОГО СОСТАВА РЕГИОНАЛЬНОГО ВУЗА

Г.В. ДАНИЛОВ

Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта

danilov@ugtu.net

На примере Ухтинского государственного технического университета (УГТУ) изучена возрастная структура профессорско-преподавательского состава (ППС) регионального вуза. На фактическом материале описана тенденция старения ППС, особенно его мужской компоненты, приведены меры противодействия этой тенденции в УГТУ. С помощью математико-статистических методов объяснены провалы в возрастных категориях ППС 35-50 лет, получены численные оценки недобора штатных преподавателей в период 1985 – 2009 гг. Обнаружена линейная зависимость от времени (с шагом 12 лет) процесса продвижения по служебной лестнице среднестатистического преподавателя от ассистента до профессора, полезная при планировании своей карьеры начинающему преподавателю вуза.

Ключевые слова: возрастная структура, поло-возрастной состав, математико-статистические оценки продвижения по служебной лестнице

G.V. DANILOV. ANALYSIS OF TEACHING STAFF AGE STRUCTURE AT REGIONAL INSTITUTIONS

According to the example of Ukhta State Technical University (USTU) we studied teaching staff (TS) age structure at regional institutions. On the basis of factual material the tendency of teaching staff aging is described, especially male aging, the countermeasures of this tendency at USTU are shown. By means of mathematical-statistical methods we can explain the collapse of teaching staff aged 35 – 50. The numerical evaluations of lack of teaching staff at USTU for the period 1985 – 2009 are done. We discovered the linear dependence from the time (12 years period) of career development of an average teacher that goes from assistant professor to full professor that is useful to new university teachers in planning their careers.

Key words: Age structure, Sex-age composition, mathematical-statistical estimations of career development, Ukhta State Technical University

На страницах российской вузовской печати традиционно широко освещаются такие вопросы, как качество подготовки специалистов, методические, воспитательные, информационные и научные аспекты образования. Вместе с тем, значительно меньшее внимание уделяется исследованию интеллектуального ядра любого вуза – его профессорско-преподавательского состава (ППС) как профессионального сообщества людей, специфического *социума*. Слабо освещены особенности возрастной структуры ППС, ее гендерные характеристики, мотивационные параметры, наклонности, устремления и предпочтения преподавательских коллективов учебных заведений.

В Ухтинском государственном техническом университете (УГТУ) в 2009 г. были предприняты полномасштабные социологические исследования, касающиеся его профессорско-преподавательского состава, т.е. той части вузовского персонала, которая играет ключевую роль в процессе подготовки квалифицированных кадров. Прежде всего рассмотрена *возрастная структура* ППС. Объясняется это тем, что все необходимые для её характеристики данные сравнительно легко извлекаются из системы

кадрового учета, а сами данные обладают высокой степенью надежности и достоверности.

Ниже представлены первые результаты анализа преподавательских кадров УГТУ, в сравнении с аналогичными данными других вузов Республики Коми.

В Республике Коми функционирует 15 государственных высших учебных заведений, в которых занято 1250 штатных преподавателей, из них 286, т.е. 22,9% сосредоточено в УГТУ (8 тыс. студентов, три филиала, 10 корпусов только в головном вузе). В составе ППС университета доля мужчин 42,65%, женщин – 57,35. Разница в пользу женщин составляет 14,7%, что примерно на треть ниже, чем по республике в целом (21,6%). Это имеет свое объяснение: УГТУ – вуз технический, в то время как в республике наряду с техническими вузами имеется ряд гуманитарных и «смешанных», в которых большую долю составляют преподаватели-женщины.

Средний возраст преподавателя-мужчины УГТУ в 2010 г. – 54,2 года, женщины – 45,1, т.е. в среднем преподаватель-мужчина в университете старше преподавателя-женщины на 9,1 лет. Чем можно объяснить такое различие?

Для ответа на этот вопрос посмотрим на половозрастную пирамиду ППС УГТУ. Как видно из рис. 1, доля пожилых преподавателей среди мужчин заметно выше, чем среди женщин. Расчеты показывают, что соотношение между работающими мужчинами и женщинами пенсионного возраста в структуре УГТУ составляет 57,4% : 37,2%, т.е. доля мужчин в этих возрастных категориях превышает долю женщин более чем в 1,5 раза.

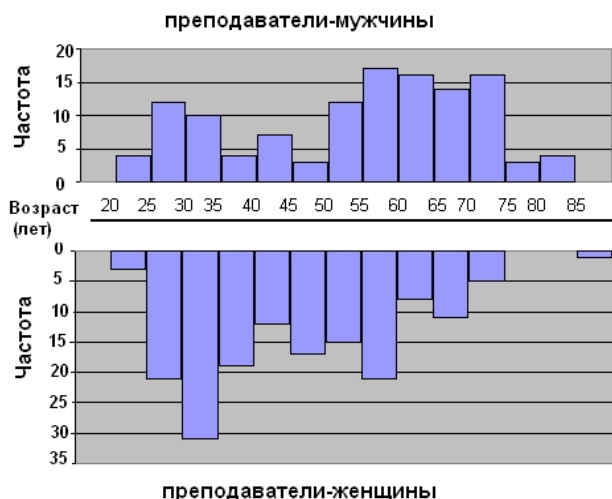


Рис.1. Половозрастная пирамида ППС УГТУ.

Объясняется это тем, что мужчины не торопятся уходить на пенсию. Поскольку их активная жизнь тесно связана с профессиональной деятельностью, они в большинстве своем работают «до упора». В то же время женщины находят себе полезное применение в семье; и многие из них сразу по достижении пенсионного возраста или чуть позже охотно уходят на пенсию.

В более общем плане было бы интересно количественно оценить, насколько «старым» является изучаемый преподавательский коллектив. В демографии такая классификация существует и притом в самых разных вариантах (шкала ООН, шкала Э.Роскета-Ж.Боже-Гарнье и другие). Однако нам эти шкалы не подходят, поскольку они включают в себя такие возрастные группы, как младенческий и подростковый возраст. Будем считать, как это сейчас принято, «молодыми» преподавателями тех, чей возраст не превышает 35 лет, в диапазоне 35-50 лет — «зрелыми», а старше 50 лет — «пожилыми».

Существует точка зрения (и притом, не лишённая логических оснований), что в преподавательском коллективе должны *в равной степени* присутствовать лица этих трех возрастных категорий. В УГТУ молодых преподавателей 28,3%, зрелых — 21,7, пожилых — 50,0.

Таким образом, наличие сильный перекося в сторону старших возрастов — сам по себе уже тревожный факт. А кто больше «виноват» в этом перекосе — мужчины или женщины? Оказывается, у женщин это соотношение составляет, %: 33,5 : 29,3 : 37,2 и отклоняется от оптимального (33,3 : 33,3 : 33,3) не более чем на 4%. Зато у мужчин оно составляет, %: 21,3 : 11,5 : 67,2 — сильнейший перебор «пожилых» и недобор «зрелых» и «молодых»!

Стало ясно, что если не принимать соответствующих кадровых решений, то с годами этот перекося будет только увеличиваться.

Объединяя возрастную информацию о мужчинах и женщинах ППС УГТУ, заключаем, что средний возраст преподавателя в УГТУ (независимо от пола) составляет 49 лет, т.е. почти на два года выше, чем в среднем по государственным вузам Республики Коми (там 47,3 лет) — еще одно напоминание руководству вуза о том, что этой проблеме следует уделить самое пристальное внимание.

Для того, чтобы сломить отмеченную неблагоприятную тенденцию — непрерывное старение преподавательского корпуса — в УГТУ были задействованы все находящиеся в распоряжении администрации механизмы и рычаги:

- введена в действие (запатентованная в 2008 г.) так называемая Индексная система материального и морального стимулирования молодых преподавателей и ученых;

- с 2009 г. в Коллективном договоре между администрацией вуза и работниками предусмотрен широкий комплекс социальных благ и компенсационных надбавок для привлечения и удержания молодежи;

- активно совершенствуется корпоративная университетская среда, создающая благоприятные условия для работы в вузе молодых преподавателей;

- университетским социологическим центром ведется возрастной мониторинг всех категорий работников вуза, в том числе и ППС.

Для более *детального* анализа возрастного спектра преподавателей вернемся снова к рис. 1, обратив внимание на явный провал в диапазоне возрастов 35–50 лет. Он объясняется двумя причинами. Первая — демографическая. С учетом наиболее активного детородного периода женщин 20 – 29 лет, вторая волна военного дефицита пришлась на конец 1960-х гг., которая и дала некоторый спад в 2008 г. в возрастной категории лиц 35 - 50 лет. Вторая причина — социально-экономическая. Начиная с «горбачевской» перестройки и далее в период «дикого» капитализма в России доходы лиц, работающих в коммерческих структурах, стремительно росли по сравнению с зарплатой бюджетников. Естественно, выпускникам вузов более привлекательными стали рабочие места в этих структурах, нежели преподавательская работа. Поэтому, если раньше молодой человек с высшим профессиональным образованием после нескольких (обязательных) лет работы на предприятии (скажем 3-5 лет) решался перейти на преподавательскую работу в вузе (больше свободного времени и научные перспективы), то теперь этот приток в вузы значительно сократился именно по причине низкой заработной платы, а также непрестижности профессии преподавателя. Эти рассуждения общего характера подкрепляются следующими арифметическими выкладками:

2009 г. – 50 (верхняя граница «провального» интервала) + 23 (возраст получения диплома вуза) + 3 (работа на предприятии по распределению) = 1985 г., –

тот самый особый период в России, который и привел к упомянутому спаду в возрастной структуре ППС УГТУ.

Между тем, если бы эти внешние причины отсутствовали, то возрастное распределение скорее всего, подчинялось бы *нормальному закону*, как это имеет место в природе и обществе со многими аналогичными демографическими и социологическими параметрами. Искусственно восполнив провал в возрастном интервале 35 – 50 лет и натянув на полученную таким образом гипотетическую гистограмму, усеченную слева кривую Гаусса [1, с.200], получим следующую картину (рис.2):

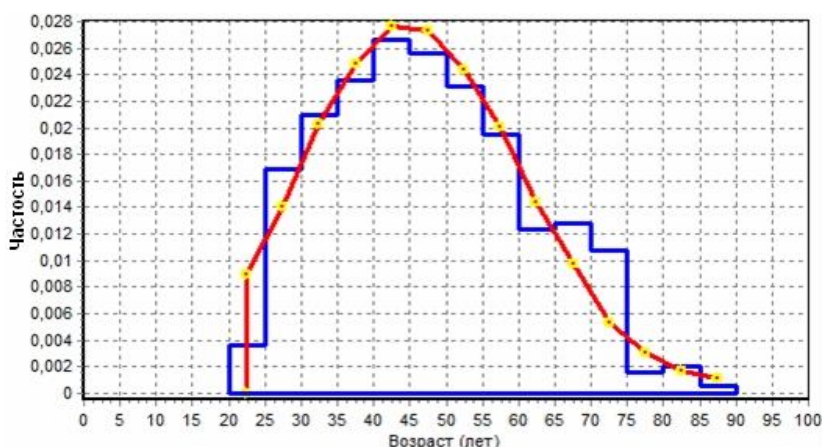


Рис. 2. Гипотетическая гистограмма «Возраст преподавателей УГТУ» с натянутой кривой Гаусса, усеченной слева.

Проверка соответствия теоретической кривой распределения выборочным данным по критерию согласия хи-квадрат Пирсона [1, с.265] дает вполне удовлетворительный результат (конкретные формулы и алгоритмы, использованные при решении этой задачи, приведены в Приложении). Это позволяет количественно оценить тот дефицит специалистов с высшим образованием, который университет испытал в смутные времена перестройки и постперестроечный период. Для этого достаточно сложить все наши искусственные надстройки на рис. 2. Получается, что за все эти годы УГТУ недополучил 104 преподавателя, или четыре-пять – ежегодно. Между прочим, эти оценки удивительно точно совпадают с количеством вакантных должностей в УГТУ в 2009 г., а именно 101 вакансия.

Перед тем как идти дальше, сделаем небольшое отступление. Всем известно крылатое выражение «история не знает сослагательного наклонения». Между тем, мы только что затронули демографические процессы недавнего прошлого, рассуждая при этом как раз в манере «что было бы, если бы ...», и получили заслуживающие доверия количественные оценки интересующих нас параметров. Поэтому вместо того, чтобы абсолютизировать упомянутое изречение и упоминать его всуе, следует энергичнее привлекать квалифицированных математиков и системных аналитиков для моделирования в ретроспективе сложных стохастических процессов в сфере демографии, социологии и других гуманитарных областях, что принесет несомненную пользу для прогнозирования и осмысления ближайшего будущего.

Перейдем к соотношению среднего возраста заведующих кафедрой, деканов и проректоров. Оно составляет (в годах) в УГТУ 55,3 : 54,6 : 47,2.

Как видим, здесь нас ожидает небольшой «сюрприз»: среди преподавателей, занимающих управленческие должности, наиболее молодые в УГТУ – проректоры, постарше – деканы и совсем «старые» – заведующие кафедрой. Таким образом, вместо того, чтобы с возрастом человек естественным образом поднимался *вверх* по ступенькам иерархической лестницы, у нас он, наоборот, спускается вниз. Это объясняется тем, что ректор вуза взял решительный курс на омоложение управленческих кадров и в первую очередь проректоров и деканов.

Распределение возраста преподавателей по должностям в УГТУ и в среднем по вузам республики представлено на следующей диаграмме (рис.3).

Как видим, доценты и профессора УГТУ немного старше, чем в среднем по республике, в остальном картина среднереспубликанская.

Интересно отметить, что диаграмма *почти линейна*, при-

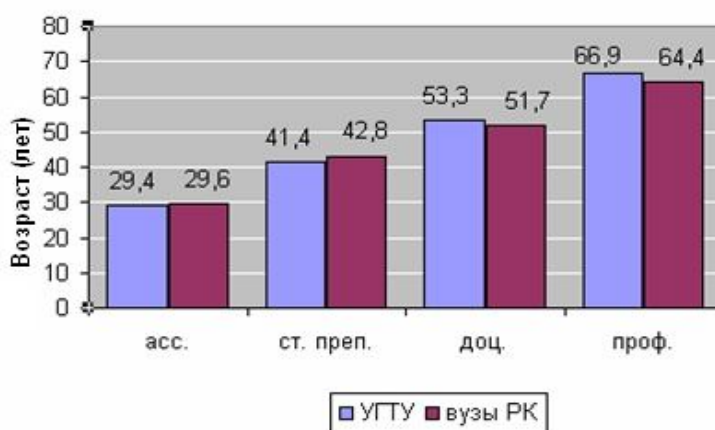


Рис. 3. Средний возраст преподавателей в УГТУ и в вузах Республики Коми по должностям.

чем, как для УГТУ, так и в целом по вузам республики. Это означает, что время «созревания» среднего преподавателя до очередной, более высокой должности примерно постоянно и равно чуть более 12 лет. Этот факт может быть полезен начинающему преподавателю при планировании своей карьеры.

Обратимся теперь, если так можно выразиться, к возрасту «остепенения» преподавателей.

Среднее число ежегодных защит *кандидатских* диссертаций в УГТУ за период 1998 – 2008 гг. составляет 6,5, *докторских* – 1,8, или в 3,6 раза меньше, чем кандидатских. Средний возраст преподавателя-кандидата наук в УГТУ – 53,1 года, средний возраст доктора наук – 64,7 лет, т.е. на 11,6 лет старше среднего кандидата наук. Таким образом, мы наблюдаем еще один неблагоприят-

ный момент: «остепененные» преподаватели, в среднем, пожилые. Средний возраст *защиты* кандидатской диссертации составляет в УГТУ 34,8 лет. Если учесть, что молодой специалист получает высшее образование в среднем в 22,5 года, ему требуется $34,8 - 22,5 = 12,3$ лет, чтобы достичь первой ступени научной карьеры – защиты кандидатской диссертации. Средний возраст *защиты* докторской диссертации составляет в УГТУ 53,5 года. Таким образом, преподавателю, защитившему кандидатскую диссертацию и преследующему цель – защитить докторскую, требуется для достижения этой цели в среднем $53,5 - 34,8 = 18,7$ лет, т.е. примерно в 1,5 раза больше времени, чем для написания кандидатской диссертации. Отметим любопытный момент: средняя разница между защитами докторской и кандидатской диссертациями превышает 18 лет, в то время как средняя разница в *возрасте* доктора и кандидата меньше 12 лет. Как такое может быть? Нет ли здесь ошибки? К счастью, нет. Если бы речь шла только о двух конкретных преподавателях, один из которых защитил в некотором возрасте кандидатскую, а другой, будучи старше его на 18 лет, – докторскую, то с течением времени эта разница, естественно, оставалась бы постоянной вплоть до кончины одного из них, причем, скорее всего – доктора, как более старшего. Но мы имеем дело со средними значениями, усредняя возраст по множеству кандидатов и докторов наук. Все элементы первого множества стареют синхронно с астрономическим временем (прошел год и все на один год стали старше), а во втором, помимо этого естественного процесса, происходит и другой, не менее естественный – процесс смертности, в результате которого наиболее старые замещаются более молодыми. В итоге *наблюдаемое* множество докторов молодеет и, как следствие, разница между средним возрастом докторов и кандидатов уменьшается, достигая, как мы видели, некоторой установившейся величины, равной 11,6 лет.

Приложение

1. Плотность усечённого слева нормального распределения.

$$f(x) = \frac{1}{\gamma\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2} \right], \quad x \geq \alpha,$$

$$\gamma = \frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{\alpha-m}{\sigma}\right), \quad \text{где } \Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{z^2}{2}} dz.$$

α – левая точка усечения.

2. Алгоритм итерационного вычисления оценок максимального правдоподобия параметров m и σ усечённого слева нормального распределения.

$$U_i = \frac{\alpha - m_i}{\sigma_i}, \quad m_{i+1} = \bar{x}^* - \sigma_i \frac{\varphi(U_i)}{0,5 + \Phi(U_i)},$$

$$\sigma_{i+1}^2 = D_x^* + \left(\bar{x}^* - m_{i+1} \right)^2 - \sigma_i^2 \frac{U_i \varphi(U_i)}{0,5 + \Phi(U_i)}.$$

$\varphi(U)$ – плотность вероятности стандартного нормального распределения,

$\bar{x}^*$

x – выборочное среднее,

D_x^* – выборочная дисперсия.

3. Критерий согласия хи-квадрат Пирсона.

$$\chi_{набл}^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(m_i - nP_i)^2}{nP_i}, \quad P_i = F(x_i'') - F(x_i'),$$

$$F(x) = \frac{1}{\gamma} \left[\Phi\left(\frac{x-m}{\sigma}\right) + \Phi\left(\frac{\alpha-m}{\sigma}\right) \right],$$

x_i'

x_i' – левый конец i -го интервала,

x_i''

x_i'' – правый конец i -го интервала.

Литература

1. Вадзинский Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям. СПб.:Наука, 2001. 295 с.

ВЗАИМОСВЯЗЬ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ (ПРИМЕР МЕТОДОЛОГИИ ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ)

В.Н. ЛАЖЕНЦЕВ

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

lazhentsev@iespn.komisc.ru

В основу статьи положен доклад автора, сделанный на совместном расширенном заседании Президиума Коми НЦ УрО РАН и Ученого совета Института социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми НЦ УрО РАН 19 июля 2010 г. Показано, как теоретические знания переводятся в область практики непосредственно через их использование в решении народно-хозяйственных проблем и опосредованно через целенаправленные прикладные научные разработки. Предложены переходы от теории территориально-хозяйственных систем к практике планирования социально-экономического развития региона.

Ключевые слова: практика, теория, наука, проблема, показатели, идеальные и реальные территориально-хозяйственные системы, технологическая схема регионального управления

V.N. LAZHENTSEV. THE RELATIONSHIP OF THEORY AND PRACTICE (AN EXAMPLE OF THE METHODOLOGY OF ECONOMIC-GEOGRAPHICAL RESEARCH)

This article is based on the report made by the author at the joint meeting of the Presidium of the Komi Science Centre, Ural Branch, RAS, and the Scientific Council of the Institute of Social, Economic and Energy Problems of the North, Komi Science Centre, Ural Branch, RAS on July 19, 2010. It is shown how the theoretical knowledge is translated into practical area directly through their use in solving economic problems and indirectly through targeted applied research and development. The transitions from the theory of territorial and economic systems to the practice of regional socio-economic development planning are proposed.

Key words: practice, theory, science, problem, indicators, ideal and real territorial economic systems, technological scheme of regional management

Выбор темы статьи обусловлен ориентацией на научных сотрудников различной специализации и руководителей органов государственного, муниципального и хозяйственного управления; должностными обязанностями автора, связанными с продвижением результатов НИР, полученных в Коми НЦ УрО РАН, в практику; личным интересом к методологии прикладных исследований. Этот интерес возник в начале 1960-х гг., когда активно дискутировался вопрос о роли субъективного фактора в объективном отражении действительности. В естественных науках речь шла, например, о зависимости научного результата от положения исследователя в технологии эксперимента и его приборного оснащения. В общественных – о позиции научного работника относительно реально происходящих социальных и экономических процессов: должен ли он быть их активным участником или же пассивным наблюдателем «ради чистоты картины происходящего?». В географии указанные позиции наиболее ярко нашли отражение в двух фундаментальных изданиях: за чистоту картины в американском [1] и за активное отношение к происходящему – в советском [2].

Из юбилейной публикации [3] видно, как с самого начала научной работы автор соприкасался с

хозяйственной деятельностью конкретных предприятий и числился в них «своим человеком». Активная позиция поощрялась и была полезной, но не бескомпромиссной. Автор неоднократно сталкивался с ситуацией, когда наука привлекалась к составлению предплановых и предпроектных документов ради того, чтобы облегчить труд самих плановиков и проектантов. Быть только поставщиком первичной научной информации и даже научно-аналитических материалов опасно для формирования творческого характера труда исследователя.

Совмещение поисковых исследований, зачастую обусловленное логикой развития самой науки, и непосредственного участия в разработке практических проектов опирается на принципы разделения функций специалистов и научных работников, включенных в единый процесс научно-технического и социально-экономического развития.

В нашей книге [4], посвященной проблематике взаимосвязи географии и практики территориального хозяйствования, зафиксирован момент, когда наука начинает оперировать понятиями, введенными в основном из ранее полученных теоретических знаний в отрыве от реальной жизни, и этот отрыв на определенных этапах исследова-

тельского процесса, с точки зрения гносеологии, выглядит вполне обоснованным. Но научные понятия и сама практика «шагают» параллельно друг другу без видимых противоречий лишь «до поры до времени». Потом конструкция из уже готовых теорий и стереотипов под влиянием изменяющейся действительности рушится. К.П.Космачев показал, как важно своевременно проводить экспертизу научных и практических понятий и устанавливать их соответствие современным жизненным реалиям [5]. Следовательно, речь должна идти не только о принципах, но и о методологии взаимосвязи теории и практики.

Заявленная тема частично является предметом науковедения, к которому автор причастен лишь в малой степени [6]. Не углубляясь в эту сферу, но с учетом философско-методологических объяснений «практики и познания» [7] и методических положений о формировании прикладной географии [8, 9], попытаемся раскрыть некоторые положения взаимосвязи теории и практики сначала в общем виде, а затем применительно к социально-экономической географии и региональной экономике. При этом укажем, что из многочисленных публикаций по вопросам «науки и практики» сделана ссылка только на те, которые послужили первоначальным импульсом для размышлений по поводу места и роли научного работника в практике развития хозяйства.

Практика

В упомянутой работе [4] мною сделано некорректное замечание, что, якобы, практика, как общественное явление, пока слабо изучена с теоретико-методологических позиций. С этим можно было бы согласиться относительно экономико-географической деятельности, но не практики в целом. Последняя, как материальная и духовная деятельность человека и общества, философами и социологами освещена достаточно полно, чтобы иметь общее представление об исходных позициях анализа конкретных практик.

Для экономики и географии наиболее важным является положение о бесконечном многообразии отношений людей с природой и друг с другом в рамках определенных пространственно-временных комбинаций, а также о деятельности по формированию и развитию природно-хозяйственных систем. Это с самого начала является отражением потребности человека в пространственной ориентации, измерении площадей и расстояний, открытии новых земель и ресурсов жизнедеятельности, создании комфортной среды обитания. Расширение и углубление географического разделения общественного труда порождает новые потребности и интересы, в том числе по экономической оценке возможностей преодоления пространственных разрывов между производством и потреблением товаров. Уплотнение расселения населения и хозяйства способствует появлению такой потребности, как охрана окружающей природы и расширение социальных функций географической среды.

В настоящее время экономико-географическая практика оформлена в виде конкретных направлений деятельности: гео- и региональной политики, статистики, геоинформатики и картографии, территориального планирования, районного и ланд-

шафтного проектирования, географической и экологической экспертизы. Содержание указанных видов деятельности раскрыто в многочисленных изданиях научного и нормативного характера, в том числе применительно к регулированию территориального развития в авторских монографиях [10-12].

Особо следует выделить региональную экономику, которую Э.Б. Алаев считал (и автор с этим согласен) «частью социально-экономической географии, ориентированной на решение прикладных, практических проблем народнохозяйственного планирования» [13, с. 44]. Региональная экономика, следовательно, также является экономико-географической практикой.

Метанаучный анализ перечисленных видов практик необходим для совершенствования самой социально-экономической географии как научной дисциплины; прикладной же анализ должен быть нацелен на совершенствование территориальной организации общества. Так, *региональная политика* в настоящее время весьма заинтересована в научном обосновании интегрального районирования нашей страны и ее административно-политического устройства, а также в регионализации норм и нормативов хозяйственной деятельности. В *региональную статистику, геоинформатику и картографию* целесообразно было бы ввести показатели о природно-ресурсных потенциалах и производительных силах; здесь необходимо расширить круг данных о социальных и экономических отношениях, воспроизводственных процессах и межрегиональной интеграции. *Территориальное планирование* необходимо усилить прогнозами динамики общественного воспроизводства с учетом местных особенностей, балансовыми расчетами и нормами согласования отраслей и сфер хозяйственной деятельности. В *районном и ландшафтном проектировании* следовало бы шире использовать геосистемный подход к организации территории, опираясь при этом на результаты исследований самих геосистем, как природных и природно-хозяйственных комплексов [14,15]. Центральной (опорной) частью *региональной экономики* является учение о хозяйственном механизме территориального развития.

Объединить все указанные виды практик в единую систему можно только на основе теории социально-экономической географии.

Теория

Теория – комплекс взглядов, представлений, идей, направленных на научное объяснение каких-либо явлений и процессов. Это высшая форма организации научного знания, программирования практической деятельности и выработки познавательных норм. Такова философско-методологическая трактовка теории. Ее внимательное прочтение позволяет сделать три вывода, существенных для раскрытия нашей темы: 1) теория – единственная составная часть науки, которая противостоит практике (теория и практика – единство противоположностей); 2) теория создает идеальный образ реального мира, практика – сам реальный мир; 3) теорию с практикой соединяют три вида методологий: фундаментальных исследований, прикладных исследований и самой практики (рис.1).

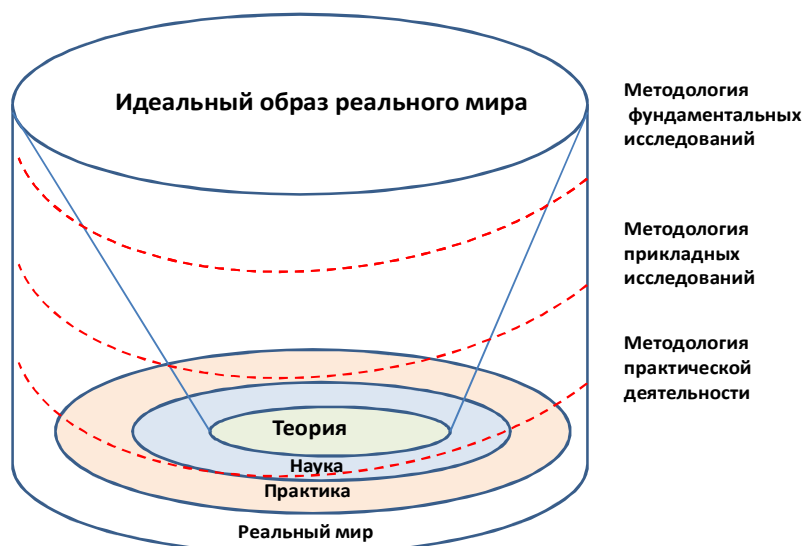


Рис.1. Практика, наука, теория, методология (схема взаимодействия).

При изучении процессов формирования и развития территориально-хозяйственных систем их идеальный образ автор выводит, придерживаясь следующей логической последовательности:

- естественные и общественные производительные силы (в том числе и наука) обладают объективным свойством образовывать территориальные сочетания;

- территориальные сочетания первоначально проявляются более заметно в конкретных хозяйственных сферах: природно-экологической, социальной, экистической (расселение населения), производственной, инфраструктурной, управленческой (административной);

- по мере усиления реального общественного производства производительных сил укрепляется взаимобусловленность и соразмерность отдельных сфер;

- в итоге образуются единые и целостные территориально-хозяйственные системы (ТХС) разного географического масштаба.

На рис. 2 показана идеальная региональная хозяйственная система (РХС) как целостная в государственно-политическом, экономическом и социальном отношениях. Именно взятая в целом, она представляет основ-

ной (крупный) социально-экономический район, самодостаточный для формирования производительных сил и хозяйственных циклов разного характера: природно-экологических, технологических, экономических, социальных и др. В границах такого района производительные силы приобретают общественный характер. Внутри его можно выделить лишь отдельные элементы производительных сил и, соответственно, нижестоящие территориальные хозяйственные системы: домохозяйства, местности, локальные образования, муниципальные округа и районы, экономические подрайоны.

ТХС разного уровня в идеале обладают (или стремятся к этому) свойствами социальной комфортности, полиструктурности, устойчивости, проблемной ориентированности, комплементарности и

саморазвития. Каждое свойство кратко рассмотрено в нашей работе и представлено в форме структурно-функциональных характеристик [12]. Свойства ТХС проявляются наиболее качественно, если базовые общественные отношения – технологические, экономические, социальные, экологические и информационные – приведены в соответствие относительно друг друга.

Теория ТХС включает представления о хозяйственном механизме их формирования, функционирования и развития. Из представленной на рис. 3 схемы вытекает следующее правило: прежде чем принимать законы, акты, инструкции, устанавливать

Управление	домовладение	сход	муниципалитет	низовое звено государственной власти	региональное правительство
Инфраструктура	участок	блок	перегон, магистраль	сеть	каркас
Производство товаров и услуг	домашнее хозяйство	предприятие	узел	территориальный комплекс	экономический район
Расселение населения	дом	село, микрорайон	поселок/куст расселения	малый и средний город/район расселения	большой город, агломерация, мегаполис/область расселения
Социум	семья	жилищный кооператив	община	территориальная общность людей	население
Природа	место	местность	округ	провинция	область
	до 5 км	до 25 км	до 50 км	до 100 км	до 300 км
Радиус деятельности					

Рис. 2. Идеальный (теоретический) образ основанного социально-экономического района.

различного рода нормы экономического регулирования, надо понять общие закономерности социально-экономического развития, связанные с его источниками и движущими силами, и хозяйственными отношениями. Такое в практике случается редко.

Методология

Научный работник любой специализации проходит одинаковые стадии получения и использования знаний: обращение, ознакомление, непосредственное использование, его воспроизводство и, наконец, производство нового знания. То же можно сказать и о стадиях изучения: наблюдение, научное объяснение и конструирование (в широком понимании этого слова). Наблюдение должно вызвать удивление и сомнение, научное объяснение – сформировать идею и вокруг нее «проблемное поле», конструирование – создать способ решения проблемы через достраивание недостающих звеньев существующего или построение чего-то совершенно нового.

Социально-экономическая география (впрочем, как и другие науки) использует философские, общенаучные и конкретные научные знания. Философия помогает уяснить сущностные характеристики организации хозяйства, вытекающие из естественноисторических процессов развития производительных сил и производственных отношений, из взаимосвязи природы и общества. Еще раз обратим внимание на то, что философские основания научной деятельности в нашей стране и за рубежом разработаны достаточно полно. Сформировано такое научное направление, как «философия хозяйства» [16, 17]. Поэтому философию следует держать в поле зрения всех ее аспектов, особенно в части теории познания сложного, синергетики и объяснений содержания междисциплинарных, полидисциплинарных и трансдисциплинарных исследований. Общенаучный подход к изучению «своего» объекта как раз и предполагает интеграцию знаний и методик разных наук для понимания и конструктивного выражения организации хозяйственной деятельности. Обращение к конкретным наукам оказывается особенно полезным, если они являются смежными: экономика, социально-экономическая география, экономическая социология, демография и др. Важно также найти рациональное звено в разнообразных методах измерений и оценок на основе математики, статистики, эконометрики и картографии.

Различают фундаментальные и прикладные науки. Фундаментальными считаются науки, изучающие объективные законы развития природы и общества без изначального приложения к каким-либо практическим задачам. Прикладными – те же науки, но в аспекте строгой нацеленности теории на практику, на решение конкретной народнохозяйственной проблемы. Вопрос о таком разделении не прост. При его рассмотрении возможны различные точки зрения. Но в любом случае желательно иметь представление о том, как теоретическое знание становится прикладным, а затем – составной частью самой практики.

Наша позиция заключается в целесообразности особой структурной организации исследовательской деятельности.

На уровне фундаментального исследования происходит:

- объективизация – научное объяснение содержания объекта исследования;
- систематизация – расположение свойств, качеств и отношений изучаемого объекта в определенном порядке;

- структуризация – аналитическое разделение объекта на части и последующая их группировка по существенным основаниям.

Прикладное исследование включает:

- трансформацию – приспособление теории к практическим нуждам;

- актуализацию – выбор наиболее значимых для практики результатов НИР;

- выявление структур-аттракторов – ведущих факторов перспективного развития изучаемого объекта.

Переход от прикладного исследования к практике осуществляется в последовательности:

- субъективизация – формулировка отношения лица, принимающего решение, ко вновь полученным знаниям;

- организация – ранжирование и последовательность практических действий в направлении достижения поставленных целей;

- формирование оргструктур и институтов – управление процессом освоения нового знания.

Из сказанного следует необходимость учитывать опасность утрированной простоты в понимании взаимосвязи между наукой и практикой. Наука обращается к практике на основе теории, практика к науке – на основе опыта. На стыке возникает особого рода методология получения рецептурного знания о том, как переходить от теории к практической деятельности (табл. 1).

Таблица 1

Методология перехода от теории к практике

Методология	Действия		
	Объективизация	Систематизация	Структуризация
Фундаментальных исследований			
Прикладных исследований	Трансформация	Актуализация	Выделение структур-аттракторов
Практики	Субъективизация	Организация	Формирование оргструктур и институтов

Предложенная схема исследовательской работы представляет лишь формальные рамки. Многогое зависит от насыщения ее содержательными, творческими элементами, используемыми в зависимости от мировоззрения научного работника, его теоретического кредо, сопричастности к определенной научной школе и т.п. Такого рода зависимость можно заметить уже в том, как происходит выбор ценности и цели. Ценностные ориентиры желательно зафиксировать в явном виде, скажем, установление «золотой середины» между экономической эффективностью и социальной справедливостью, устойчивое развитие хозяйственных систем, снижение уровня бедности, равновесие в

стоимостных и ценовых пропорциях расширенного воспроизводства и т.п. Целесообразно также четко сформулировать *целеполагание* – намерения исследователя, *целеопределение* – корректировку намерений под влиянием конкретных обстоятельств, *целереализацию* – выбор специфических средств решения ключевых проблем. При этом важно исходить из философско-методологической трактовки категории «цель» [18].

Обратим также внимание на распространенную упрощенность понимания категории «проблема». Чаще всего проблема и не освещается как категория, а употребляется в виде ничего не значащей «приставки» к названиям научных публикаций. Вместе с тем широко известно, что правильно поставленная проблема предопределяет успех исследовательской работы. В этой связи заметим: проблема возникает лишь на грани знания и незнания и формулируется как существенный вопрос, не имеющий пока однозначного ответа, и она решается только через расширение круга знания и адресуется конкретным распорядительным центрам, которые указаны на рис.2 по строке «управление».

Если следовать приведенной выше схеме исследовательского процесса (от теории к практике), то можно установить три вида проблем: научно-поисковые, научно-прикладные и организационно-экономические. Не обязательно «проблемное поле» формировать в рамках всех трех видов, однако научным работникам часто приходится это делать, чтобы выйти на практическое решение сложных вопросов организации хозяйства и управления.

Многие науки уже установили подходы к классификации проблем. Так, региональная экономика и социально-экономическая география оперируют районно-комплексными, узловыми народнохозяйственными, территориально-отраслевыми проблемами. Последние разделены на межрегиональные, региональные и локальные. Но это лишь форма проблемы, содержание же ее исследователь выявляет самостоятельно.

Результативность научной работы во многом зависит от правильного построения *системы показателей* тех или иных процессов. Первоначально надо понять, является ли конкретный факт достоверной количественной характеристикой того или иного свойства изучаемого объекта. Для такого понимания требуется целенаправленная мыслительная деятельность по преобразованию информационных материалов в действительные показатели. В изучении хозяйственных систем данную деятельность можно обозначить как движение от состава к структуре, от состояния к функционированию, от роста к развитию [19].

Предварительное обдумывание показателей делает сбор информации, необходимой для решения проблемы, творческим процессом. Ясно, что информация должна соответствовать генеральной идее исследования, поэтому данные статистики, отчетности предприятий и учреждений, нормативы и законы, научно-аналитические обзоры, литературные источники должны пройти проверку на достоверность. Нельзя приписывать показателю того, чего он не отражает.

Методология научной и практической деятельности имеет много общих оснований. Но мы рассматриваем вопрос об их взаимосвязи, поэтому важно подчеркнуть наличие у практики собственной методологии. Ориентация лишь на т.н. здравый смысл чаще всего не дает положительного результата. Целесообразно придерживаться определенных правил принятия решений (в нашем случае, общих алгоритмов и логики регулирования формирования и развития территориально-хозяйственных систем). Органы регионального и муниципального управления, а также общественного самоуправления сами должны проводить диагностический и прогнозный анализ, выбирать для решения приоритетные проблемы, составлять концепции, стратегии, программы, проекты, планы, вести мониторинг их выполнения, придавая каждому этапу организационно-управленческой деятельности специфическое содержание: что имеем? что хотим? что делаем? что получили? (табл. 2).

Таблица 2

Организация регулирования территориального развития

Региональный анализ	Ориентиры	Материалы и документы
Диагностический анализ	Ценности	Аналитические доклады, записки
Прогнозный анализ	Цели	Научные и футурологические прогнозы. Концепция
Анализ приоритетных проблем	Проблемы	Стратегия
Анализ выполнения программ	Результат	Программы
Анализ тенденций	Последствия	Электронный паспорт региона

**Наука в системе практики
(вместо заключения)**

Наука приобрела статус важнейшей и полнокровной отрасли народного хозяйства. Она имеет свою учетную и статистическую кодификацию, все необходимые для организации деятельности элементы: основные средства, квалифицированный персонал, финансовые ресурсы, собственность, стоимость реализуемого продукта и др. Наука глубоко погружена в систему общественных отношений и выступает в роли непосредственной производительной силы. В этом она сходна со всеми другими видами хозяйственной деятельности, а потому научный работник имеет равные со всеми другими основания материального обеспечения, правовой и социальной защиты.

Заметим, рынок научной продукции развивается более быстрыми темпами, чем другие рынки, что в конечном итоге проявляется в значительном росте капитализации тех фирм, которые способны на базе новых знаний производить инновационный продукт.

Эффективность труда в науке во многом обусловлена благоприятным отношением к ней общества. Страны высокой культуры специально формируют общественное мнение о науке, как создающей фундамент будущего.

Но это не должно служить поводом для снобизма и исключительности. Ученая степень и звания (конечно, если они получены заслуженно) означают не более, чем класс мастерства. Его можно сравнить с квалификационными разрядами рабочих, менеджеров, врачей, учителей, государственных служащих, деятелей искусства. Вместе с тем, общество заинтересовано в том, чтобы в науку шли люди с повышенным чувством любознательности и ответственности. Ведь не все и не всякие новые знания могут быть сразу материализованы, велика вероятность получения отрицательного результата. Наука – зона повышенного финансового риска, принять который может только государство и (или) крупные корпорации. Хотя такого рода риски – явление закономерное, злоупотреблять этим обстоятельством не следует, иначе научное сообщество может потерять авансированное ему благоприятное отношение.

В целом наука как социальный институт переживает период активной трансформации, в том числе во взаимодействии с практикой. Суть этого процесса можно сформулировать так: 1) наука генерирует не только новые знания, но и новые технологии; 2) высокий уровень экспериментальных работ предопределяет технологии будущего серийного производства. В такой технологичности науки и проявляется ее роль как непосредственной производительной силы. Наука относительно хозяйства инновационна в той мере, в какой она преобразует технологический уклад производства.

Для правильного толкования взаимодействия науки и власти важно понять следующее: 1) в условиях рыночной экономики государство сохраняет роль хозяйствующего субъекта на конкурентных основаниях. Государство хозяйствует там, где частный капитал не проявляет себя должным образом. Это как раз и относится к научно-технической сфере; 2) государство не вмешивается во внутренние дела фирм и не указывает им, какие технологии применять. Но оно обязано «работать» на поле инфраструктурного развития и межотраслевых «стыков». Здесь оно выступает в роли «механизма запуска» исследовательских и внедренческих проектов. Такой механизм срабатывает, если государство нацелено на сохранение целостности всей системы НИОКР.

Первоначально наука проникает во власть, хозяйство, общество в целом через образование и распространение научных знаний (вспомним слова К.А.Тимирязева: «работать для науки, писать для народа»). Затем – через создание особых площадок, где наука обращает внимание на свои достижения. Для взаимодействия науки с властью и бизнесом необходим определенный порядок реализации конституционной нормы совместного (федерации и ее субъектов) ведения наукой и научно-техническим развитием. Порядок необходимо распространить не только на законотворчество, но и на разработку научно-технических программ. Например, для Республики Коми очень актуальным является вопрос о создании трех научно-инновационных центров в Сыктывкаре, Ухте и Воркуте. Кроме того, следовало бы разработать темник научно-исследовательских работ и правила госзаказа на

его исполнение. Было бы целесообразно осуществлять правительственный контроль исполнения заявок Коми НЦ УрО РАН и других исследовательских коллективов на участие в ФЦП по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России.

С учетом современных коллизий, происходящих в научной сфере России, важно понять, что низкий уровень финансового и материально-технического обеспечения государственных академий наук, почти полный упадок отраслевой науки, распад десятилетиями налаженных взаимоотношений в системе НИОКР, сложности рыночных отношений между наукой и хозяйственной практикой, непродуманное реформирование организационной структуры академий – все это и другие проявления негатива неадекватны высокой общественной оценке роли науки в развитии производительных сил нашей страны. Поэтому временные трудности объективного характера и субъективные ошибки в части реформирования науки рано или поздно будут преодолены.

Литература

1. *Американская география: современное состояние и перспективы*: Сб. / Сост. П.Джемс и К.Джонс. М.: Изд-во иностр. литературы, 1957. 549 с.
2. *Советская география: итоги и задачи* / Ред.кол. И.П.Герасимов (пред.) и др. М.: Гос. изд.геогр.литературы, 1960. 635 с.
3. *Лажнецов В.Н.* Изучение проблем территориального развития (сюжеты к 70-летию автора) / Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар, 2010. 56 с.
4. *Лажнецов В.Н., Дмитриева Т.Е.* География и практика территориального хозяйствования. Екатеринбург: УИФ «Наука», 1993. 137 с.
5. *Космачев К.П.* Географическая экспертиза (методологические аспекты). Новосибирск: Наука, 1981. 110 с.
6. *Лажнецов В.Н.* О методологии научно-исследовательской работы (рекомендации молодым) // Экономические и социальные перемены в регионе: факты, тенденции, прогноз. Спец.выпуск (37) к III Рос.науч.-практ.конф. «Дети и молодежь – будущее России». Вологда: ВНКЦ ЦЭМИ РАН, 2007. С.60-64.
7. *Практика и познание* / Отв. ред. Д.П.Горский. М.: Наука, 1973. 360 с.
8. *Сочава В.Б.* Вопросы развития прикладных географических исследований в связи с географическим прогнозом // Актуальные вопросы современной прикладной географии. Иркутск: ИГС и ДВ СО РАН, 1976. С.7-16.
9. *Преображенский В.С.* Поиск в географии. Географические очерки. М.:Мысль, 1968. 315 с.
10. *Лажнецов В.Н.* Экономико-географическая концепция территориального планирования. М.: Наука, 1990. 128 с.
11. *Лажнецов В.Н.* Территориальное развитие: методология и опыт регулирования. СПб: Наука, 1996. 109 с.
12. *Лажнецов В.Н.* Опыт комплексного исследования проблем территориального развития / Коми научный центр УрО РАН. Сыктывкар, 2003. 192 с.

13. *Алаев Э.Б.* Социально-экономическая география. Понятийно-терминологический словарь. М.: Мысль, 1983. 350 с.
14. *Сочава В.Б.* Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 319 с.
15. *Механизм устойчивости геосистем* / Под ред. Н.Ф.Глазовского, А.Д.Арманд. М.: Наука, 1992. 208 с.
16. *Булгаков С.Н.* Философия хозяйства. М.: Наука, 1990. 412 с.
17. *Осипов Ю.М.* Опыт философии хозяйства. М.: Изд. МГУ, 1990. 382 с.
18. *Дмитриева Т.Е., Лаженцев В.Н.* Организация прогнозирования территориального развития // Экономика региона (в печати).
19. *Лаженцев В.Н.* Статистика и экономическая география (исторические и методологические предпосылки взаимного развития) // Изв.РГО, 2006. Вып.2. С.48-55.

ВИТАЛИЙ НИКОЛАЕВИЧ ЛАЖЕНЦЕВ



17 июля 2010 г. исполнилось 70 лет известному исследователю в области социально-экономической географии и региональной экономики, заслуженному деятелю науки РСФСР, заслуженному деятелю науки Республики Коми, лауреату Государственной премии Республики Коми в области экономики, заместителю председателя Коми научного цен-

тра УрО РАН по научно-организационным вопросам, директору Института социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми НЦ УрО РАН, члену-корреспонденту РАН, доктору географических наук, профессору **Виталию Николаевичу Лаженцеву**.

С именем В.Н. Лаженцева связано формирование новых направлений исследований, основанных на синтезе географических, экономических и энергетических знаний для теоретического обоснования размещения производительных сил и комплексного социально-экономического развития регионов. На основе принципов регулирования рыночной экономики им обоснованы новые методологические подходы к изучению структуры, функционирования и развития территориально-хозяйственных систем. Он раскрыл содержание категорий «территориальное развитие», «территориальное хозяйство», «региональная собственность», «хозяйственный механизм» и ввел их в экономико-географический анализ. В.Н. Лаженцев впервые представил опыт использования банковской статистики как интегрального информационного источника изучения межрегиональных стоимостных отношений. Он предложил схему организации регулирования территориального развития, основанную на технологии перевода теоретических знаний в экономическую практику; внес значительный вклад в организацию исследований в рамках междисциплинарных проектов по северной тематике. Ученый рассматривает Север как специфический объект науки и государственной региональной политики. В его работах показано разнообразие северных территорий с точки зрения возможностей и ограничений их освоения и обживания, положения в системе экономического федерализма и межрегиональной интеграции.

При непосредственном участии В.Н. Лаженцева разработана методология взаимоувязки

географических, природно-ресурсных и этнических характеристик северности, с одной стороны, и регионального управления, с другой; определено содержание научно-технического и инновационного развития топливно-энергетического, минерально-сырьевого и лесопромышленного комплексов Европейского Северо-Востока России. Его научные труды являются составной частью ряда программ фундаментальных исследований Президиума Российской академии наук и ее Уральского отделения. Их результаты используются при формировании и реализации региональной (северной) политики и конкретных национальных проектов в рамках сотрудничества с профильными комитетами Совета Федерации и Государственной Думы Федерального собрания Российской Федерации, федеральными министерствами, Советом по изучению производительных сил Минэкономразвития Российской Федерации и Российской академии наук. Под его научным руководством ведется стратегическое планирование развития экономики Республики Коми, разработка схем территориального планирования и программ хозяйственной деятельности.

В 1995 г. В.Н. Лаженцев возглавил Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми НЦ УрО РАН, которым бессменно руководит и по настоящее время. В этот период им была проведена большая организационная работа по укреплению и расширению социально-экономических исследований на Европейском Северо-Востоке. В частности, в 1999 г. проведено объединение института с отделом энергетики, входящим в состав Президиума Коми НЦ УрО РАН, что позволило значительно расширить спектр решаемых научных вопросов и самое главное – повысить качество исследований.

Виталий Николаевич выполняет большую научно-организационную работу. Он член Научного совета РАН по вопросам регионального развития, Объединенного совета по экономическим наукам УрО РАН, Ученого совета Института проблем региональной экономики РАН (Санкт-Петербург), коллегий министерств экономического развития и промышленности и энергетики Республики Коми, Экономического совета Республики Коми, председатель Коми отделения Русского географического общества. Передает свой опыт и знания молодежи – читает курс лекций по региональной экономике и территориальному управлению в Сыктывкарском государственном университете, осуществляет научное руководство аспирантами и соискателями института.

Виталий Николаевич Лаженцев не только широко известный в стране и за ее пределами ученый, хороший педагог, наставник и руководитель, общественный деятель, но и человек большого личного обаяния. Беззаветная преданность науке, принципиальность в решении тех

или иных научных проблем, трудолюбие – вот та основа, на которой сформировался уникальный исследователь, известный экономист и географ – Виталий Николаевич Лаженцев.

редколлегия

РАИСА ГРИГОРЬЕВНА ОВОДОВА



17 сентября 2010 г. отметила свой юбилей ведущий научный сотрудник кандидат химических наук Института физиологии Коми НЦ УрО РАН **Раиса Григорьевна Оводова**.

Раиса Григорьевна внесла существенный вклад в становление и развитие физико-химической биологии в Республике Коми и на Дальнем Востоке. Ею изу-

чены строение и свойства зостерана, уникального физиологически активного пектина морских трав. Она явилась одним из инициаторов широкого применения зостерана в здравоохранении для лечения язвенной болезни и детских диспепсий. На основе синезеленых водорослей был предложен новый иммуноадъювант, который значительно усиливает действие вакцин против различных болезней. Адъювант получил применение в нашей стране и за рубежом.

Р.Г. Оводова выявила способность морских организмов продуцировать активные биогликан-иммуномодуляторы, которые препятствуют возникновению злокачественных новообразований. С целью их изучения она приняла участие в пяти морских экспедициях в тропические районы Мирового океана и была активным участником выполнения совместной советско-кубинской программы исследования физиологически активных веществ морских беспозвоночных Карибского бассейна. В результате ею был предложен иммуностимулятор митилан для профилактики и лечения вирусных инфекций и онкозаболеваний.

С декабря 1994 г. Р.Г. Оводова перешла на работу в Институт физиологии Коми НЦ УрО РАН. Ее научная деятельность посвящена изучению строения и свойств пектиновых полисахаридов. Раиса Григорьевна провела обширный скрининг растений, широко распространенных в Республике Коми, на содержание в них пектиновых полисахаридов, существенно дополнила сведения о растительных ресурсах республики для их рационального использования в интересах человека.

Р.Г.Оводовой опубликовано в ведущих отечественных и международных журналах более 200 научных работ, получено 30 патентов и авторских свидетельств на изобретения.

Раиса Григорьевна успешно внедряет результаты научных исследований в практику. Ею разработана технология получения высококачественного мармелада и других кондитерских изделий из пектина морских трав. Было организовано их производство на ряде кондитерских фабрик страны. При непосредственном участии ученого разработана рецептура активных биокремов на основе митилана, которые способствуют оздоровлению кожи, ее омоложению, удалению различных повреждений. Производство этих биокремов было налажено ею на целом ряде предприятий страны, включая фабрику «Свобода» и парфюмерную фирму «Линда» (г. Москва).

В 1964 г. Раиса Григорьевна Оводова вошла в число организаторов Тихоокеанского института биоорганической химии ДВО РАН (г.Владивосток). В Сыктывкаре была одним из инициаторов создания отдела молекулярной иммунологии и биотехнологии в Институте физиологии Коми НЦ.

Раиса Григорьевна с большим желанием передает свое экспериментальное мастерство молодежи. Под ее непосредственным руководством выполнено пять кандидатских диссертаций, защищено большое число дипломных и курсовых работ студентами Сыктывкарского госуниверситета. Многие сотрудники отдела заслуженно считают ее своим учителем.

Р.Г.Оводова не только крупный ученый, блестящий экспериментатор, но отзывчивый и добрейший человек, гостеприимная хозяйка, любящая жена, мать и бабушка. Она обладает огромным обаянием и жизнелюбием, которым заражает всех окружающих. Богатый жизненный опыт, талант ученого и организатора, умение мыслить на перспективу стали залогом огромного уважения, которым она пользуется в институте.

Хочется пожелать Раисе Григорьевне долгого здоровья, долгих лет активной жизни на благо нашей отечественной и мировой науки.

редколлегия

НИКОЛАЙ ДЕНИСОВИЧ ЦХАДАЯ



20 октября 2010 г. исполнилось 60 лет доктору технических наук, профессору, ректору Ухтинского государственного технического университета **Николаю Денисовичу Цхадая**.

Николай Денисович родился в пос. Нижний Доманик Коми АССР. Его профессиональная судьба стала продолжением истории педагогической династии Цхадая: отец будущего ректора УГТУ был директором школы, дед – директором гимназии.

После окончания школы Н.Д. Цхадая работал на нефтешахте Ярегского нефтешахтного управления, затем учился в Ухтинском индустриальном институте (УИИ) по специальности «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов», получил квалификацию инженера-механика. Институт был для него не только местом учебы, но и школой личностного роста. Он работал заместителем секретаря комитета ВЛКСМ УИИ, председателем профкома, длительное время руководил студенческими строительными отрядами. В 1984 г. закончил аспирантуру Московского института нефтехимической и газовой промышленности им. И. М. Губкина. С 1984 г. Николай Денисович работает в Ухтинском индустриальном институте (Ухтинском государственном техническом университете) в различных должностях: старшего лаборанта, ассистента, старшего преподавателя, доцента, проректора по внешнеэкономическим связям и социальным вопросам, с июня 1997 г. и по настоящее время – ректора института (университета) и заведующего кафедрой промышленной безопасности и охраны окружающей среды.

В 1986 г. Н.Д. Цхадая защитил кандидатскую диссертацию по теме «Исследование условий труда в нефтяной шахте при термощелочном методе разработки пласта», в 1999 г. – докторскую диссертацию «Комплексная оценка воздействия нефтяных шахт на окружающую среду и условия труда». В 2000 г. ему присвоено ученое звание профессора. Основным направлением научной деятельности Н.Д. Цхадая является системная оптимизация условий труда на подземных предприятиях горной промышленности и охрана экосистем, обеспечение безопасности термошахтной технологии добычи высоковязкой нефти. В ряду его основных научно-технических достижений – разработка новых направлений промышленной безопасности: системного подхода к обеспечению безопасности в нефтяных шахтах, методологии комплексной оценки воздействия нефтяных шахт на окружающую среду, конструкций многоканальных трубопроводов из неметаллических материалов для обеспечения экологической безопасности трубопроводной системы нефтяных шахт.

Значительный вклад ученый внес в разработку одной из важнейших проблем современной нефтяной науки, особенно актуальной для ме-

сторождений с аномально высокой вязкостью нефти, – проблемы увеличения нефтеотдачи пластов. Опыт термошахтной разработки Ярегского месторождения показал, что нефтеотдача пластов с высоковязкой нефтью может значительно превышать нефтеотдачу пластов легкой нефти. В научных трудах Н.Д. Цхадая отражены вопросы термошахтной разработки, бурения подземных скважин, автоматизации технологических процессов и безопасности работ в нефтяных шахтах, обосновываются основные положения комплексного экологического мониторинга загрязнения окружающей среды при разработке месторождений углеводородного сырья на примере месторождений Тимано-Печорской провинции.

Н.Д. Цхадая является руководителем научно-педагогической школы «Повышение безопасности жизнедеятельности в условиях Европейского Севера». Он автор около 190 научных и учебно-методических работ, в том числе 10 монографий, 10 учебников и учебных пособий, обладатель 19 патентов на изобретения.

Эффективная административная деятельность Николая Денисовича способствовала тому, что в 1999 г. Ухтинский индустриальный институт под его руководством получил статус университета. Благодаря организаторскому таланту ректора и его нацеленности на перспективу в университете сложилась полноценная непрерывная многоуровневая система подготовки специалистов по 22 специальностям, 8 направлениям бакалавриата и магистерской подготовки, по 8 программам послевузовского образования. Ректор лично провел большую работу по открытию филиалов УГТУ в городах Усинске и Воркуте.

В составе вуза девять факультетов, 33 кафедры, два филиала, институт физической культуры, технический колледж, факультет довузовской подготовки, институт повышения квалификации, ряд региональных учебно-методических и инновационных центров. В университете действуют аспирантура, три докторских диссертационных совета, ведут исследования 12 научно-педагогических школ. Университет является крупным центром информационных технологий, активным участником формирования единого информационно-образовательного пространства нефтегазовых вузов России. На базе УГТУ организовано Коми региональное отделение РАЕН, которое объединяет научно-техническую элиту региона. При университете также создано отделение Академии промышленной экологии.

По инициативе и при непосредственном участии Н.Д. Цхадая в Ухте близится к завершению структурное становление университетского комплекса «Ухтинский государственный технический университет» – крупнейшего в республике учебно-научно-инновационного и культурно-воспитательного центра.

Авторитет и инициатива ректора УГТУ – весомые факторы активного сотрудничества университета с такими гигантами отечественной экономики, как «ЛУКОЙЛ», «Газпром», «Транснефть», «Роснефть», «Зарубежнефть», эффек-

тивного взаимодействия с академическими институтами и их отделениями: Коми НЦ УрО РАН, Коми республиканское отделение РАЕН, Академия промышленной экологии.

Одним из показателей престижа выпускников УГТУ являются результаты опроса руководителей крупных республиканских предприятий, большинство из которых ориентируют своих работников на получение высшего образования именно в УГТУ.

Компетентность, целеустремленность и энергия Н.Д. Цхадая были по достоинству оценены вузовской республиканской общественностью: в марте 2004 г. он был избран председателем Совета ректоров вузов Республики Коми, а в 2009 г. переизбран на этот пост.

Н.Д. Цхадая – почетный работник газовой промышленности РФ; заслуженный работник Республики Коми; действительный член Академии промышленной экологии РФ; действительный член Российской академии естественных наук; председатель Коми регионального отделения

РАЕН; заместитель председателя экспертного совета ВАК; член межведомственного координационного совета по науке при Правительстве РК; член комиссии по премиям РК в области науки, экономики, образования, культуры, искусства, литературы и журналистики.

Заслуги Н.Д. Цхадая отмечены медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» 2-й степени; медалью ордена святителя Иннокентия Московского от Русской православной церкви Московского патриархии; лауреат премии Правительства РФ.

Коллектив университета поздравляет своего ректора с юбилеем и желает ему столь же вдохновенного продолжения, новых профессиональных побед, крепкого здоровья и личного счастья.

Редколлегия журнала присоединяется к поздравлениям, желает новых творческих успехов и выражает надежду на продолжение тесного сотрудничества.

редколлегия

АНАТОЛИЙ АФАНАСЬЕВИЧ КЛИМЕНКОВ



1 ноября 2010 г. отметил свой юбилей заместитель председателя Коми НЦ УрО РАН, заслуженный работник Республики Коми **Анатолий Афанасьевич Клименков**.

Уроженец Смоленской области здесь, на северной земле Коми, Анатолий Афанасьевич нашел достойное применение своим знаниям и трудолюбию. После оконча-

ния Коми государственного педагогического института работал учителем математики в средней школе, а возвратившись со службы в рядах Советской Армии, многие годы трудился в партийных и государственных органах Республики Коми. Секретарь комитета ВЛКСМ Коми транспортного управления, второй секретарь Сыктывкарского горкома ВЛКСМ, первый секретарь Сыктывкарского горкома ВЛКСМ, заведующий отделом пропаганды и агитации Сыктывкарского горкома КПСС, слушатель Ленинградской высшей партийной школы, инструктор отдела организационно-партийной работы Коми обкома КПСС, заведующий постоянно действующими курсами повышения квалификации партийных и советских кадров, директор хозрасчетного учебно-методического центра Совета Коми республиканской федерации профсоюзных организаций, а с 1992 г. и по настоящее время – заместитель председателя Коми научного центра УрО РАН по общим вопросам.

А.А.Клименков внес важный вклад в развитие Республики Коми, академической науки в Уральском регионе России. При его непосредственном участии за последние 15 лет принципиально изменилась материально-техническая база фундаментальной науки на европейском Северо-

Востоке страны. Сформированы новые научные подразделения, для них построены соответствующие здания, они оснащены современным оборудованием. Выполнена большая работа по поддержанию и обновлению основных фондов, наращиванию федеральной собственности. Коми республика – один из немногих регионов, где в 1990 – 2000-е гг. вводились в строй вновь построенные здания для науки, в чем несомненная заслуга Анатолия Афанасьевича. В результате, в последние годы создана новая экспериментальная база для обеспечения научных исследований в области инновационной технологии в растениеводстве и животноводстве в условиях Севера, внедрения продвинутых методов получения лекарственных препаратов из природного сырья, получения новых видов высокоэффективных удобрений, широко используемых в настоящее время в сельском хозяйстве Республики Коми, Кировской и Архангельской областях, изучения адаптации человека в условиях высоких широт.

Совместно со специалистами Уральского отделения РАН и других научных центров Российской Федерации А.А.Клименков проделал большую работу в сфере юридического обеспечения деятельности академических учреждений, созданию современной системы управления земельно-имущественным комплексом Коми научного центра Уральского отделения РАН.

А.А.Клименков уделяет большое внимание решению социальных вопросов. Под его руководством увеличены объемы жилищного строительства, сформирована развитая система медицинского обслуживания, оснащенная новейшим оборудованием, позволившая оказывать медицинские услуги не только сотрудникам центра, но и членам их семей.

Анатолий Афанасьевич осуществляет активную работу по координации деятельности на-

учных учреждений на европейском Севере страны и в Уральском отделении РАН, оказанию содействия в выполнении совместных проектов с высшими учебными заведениями городов Архангельска, Вологды, Кирова, Екатеринбурга, Перми и др. Оказывает содействие в организации и проведении многочисленных международных, российских и региональных научных конференций.

А.А.Клименков – вдумчивый руководитель-хозяйственник, обладающий огромным трудолюбием и ответственностью. Он занимает активную жизненную позицию, в Республике Коми известен как общественный деятель, принципа-

лен, требователен. Много внимания уделяет подбору и воспитанию кадров.

А.А.Клименков награжден Почетной грамотой Администрации г.Сыктывкара (1994г.), Республики Коми (1999г.), в 2006 г. ему присвоено почетное звание «Заслуженный работник Республики Коми».

Искренне поздравляем А.А.Клименкова с юбилейной датой и желаем новых трудовых успехов, доброго здоровья и большого личного счастья!

редколлегия

ДМИТРИЙ НИКОЛАЕВИЧ ШМАКОВ



8 ноября 2010 г. исполнилось 70 лет лауреату Государственной премии Российской Федерации, заслуженному деятелю науки Российской Федерации, заслуженному работнику Республики Коми, заместителю директора Института физиологии Коми НЦ УрО РАН, доктору биологических наук, профессору **Дмитрию Николаевичу Шмакову**.

Д.Н.Шмаков внес значительный вклад в создание теоретических основ формирования кардиоэлектрического поля, в разработку новых электрофизиологических методов исследования, в подготовку научных кадров.

Ученым сформированы новые направления в электрофизиологии сердца – хронотопография интрамурального распространения возбуждения в сердце позвоночных животных, гетерогенность реполяризации миокарда, эволюция сократительной и насосной функции сердца. Им установлены фундаментальные закономерности структурно-функциональной организации возбуждения интрамуральных слоев сердца у рыб, амфибий, рептилий, птиц и млекопитающих. Экспериментально доказано, что в процессе филогенетического развития у позвоночных животных сформировались несколько способов охвата возбуждением желудочков сердца, в частности, были впервые в мировой практике открыты два типа активации миокарда. Сформулирована и практически обоснована концепция, согласно которой электрофизиологически информативными являются все без исключения слои сердца: эндокардиальные, интрамуральные и эпикардиальные. В результате этого в электрическом поле на поверхности тела отображается электрическая активность всей толщи миокарда. Установлены фундаментальные механизмы реполяризации миокарда. Под руководством Дмитрия Николаевича были созданы и проверены математические модели активации миокарда и формирования кардиоэлектрического поля у животных на разных уровнях эволюционного развития.

Результаты фундаментальных исследований ученого явились основой для создания новых методов идентификации функционального состояния сердца и приборов для физиологических и клинических исследований. Они внедрены в работу ряда лечебно-профилактических учреждений Республики Коми. При его участии разработана 128-канальная электрокардиотопографическая система, заложены основы формирования компьютерной базы данных кардиоэлектрических полей человека в норме и при нарушениях сердечного ритма и проводимости. Совместно с клиницистами Д.Н.Шмаковым были предложены и апробированы неинвазивные методы прогнозирования риска развития жизнеугрожающих аритмий сердца. Дмитрий Николаевич автор более 262 научных работ в области электрофизиологии сердца.

Д.Н.Шмаков ведет большую организационную и педагогическую работу. С 1995 г. он является заместителем директора по научным вопросам Института физиологии Коми НЦ УрО РАН, руководителем научных направлений по всестороннему изучению сердечной деятельности, а также курирует все темы научно-исследовательской работы института. Под его руководством подготовлено 14 кандидатских и четыре докторских диссертаций. Им создана лаборатория физиологии сердца и работоспособный коллектив ученых. Д.Н.Шмаков был организатором ряда международных, всероссийских и региональных научных конференций и совещаний по актуальным вопросам физиологии и кардиологии. Он член международного общества по электромагнетизму (International Society of Electromagnetism), международного общества по электрокардиологии (International Society of Electrocardiology), нескольких международных научных обществ. В течение многих лет Д.Н.Шмаков активно работает в составе Президиума Коми НЦ УрО РАН, Государственной аттестационной комиссии Сыктывкарского университета. Заместитель председателя Диссертационного совета, действующего при Институте физиологии Коми НЦ УрО РАН.

Дмитрий Николаевич полон сил и в настоящее время ведет активную научную и научно-организационную деятельность.

редколлегия

ИГОРЬ ЛЮБОМИРОВИЧ ЖЕРЕБЦОВ



24 ноября исполнилось 50 лет лауреату Государственной премии Республики Коми, премии Правительства Республики Коми в области науки, заслуженному работнику Республики Коми, заместителю директора Института языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН по научным вопросам, доктору исторических наук **Игорю Любо-**

мировичу Жеребцову.

Игорь Любомирович является одним из авторитетнейших ученых-гуманитариев Республики Коми. Главное направление его научных исследований – историческая демография. И.Л.Жеребцов – один из основоположников широкомасштабных исследований по исторической демографии на европейском Севере России. Именно с его трудами связано становление исторической демографии как особого направления научных исследований в Республике Коми. В исследованиях ученого поставлена и проанализирована проблема воздействия естественно-географических условий, в частности, климата и его изменений на демографические процессы, и степени этого влияния на различных этапах истории. Изучив историко-демографическое развитие обширного и многонационального северо-восточного региона европейской России за почти тысячелетний период, ученый убедительно доказал несомненную связь между происходившими в демографических процессах переменами и изменениями климата, сформулировал концептуальные основы подхода к анализу климатических изменений как важного фактора истории народонаселения, предложил в рамках теории демографических циклов рассматривать именно изменения климата как фактор, определяющий эти циклы. Проведенное им сравнительное исследование историко-демографического развития всех финно-угорских народов показало весьма существенную (а на отдельных этапах – ключевую) роль климатического фактора в демографической истории венгров, эстонцев, коми и других финно-угров; в частности, формирование коми народа стало следствием потепления климата (климатического оптимума) и переселения части финно-пермских народов на Север. И.Л.Жеребцов пришел к выводу, что активные миграции выходцев из европейской России в Приуралье и далее за Урал, имевшие огромное значение в освоении и закреплении в составе Российского государства Сибири и Дальнего Востока, стали следствием климатических сдвигов (климатического минимума), неблагоприятные последствия которых вынудили значительную часть населения Московского государства оставлять старожильческие районы и уходить на колонизировавшиеся территории. В работах И.Л.Жеребцова показано, что процесс освоения Сибири и Даль-

него Востока носил интернациональный по составу первопроходцев характер – наряду с русскими, активнейшую роль в колонизации зауральских земель изначально играли финские народы, и в частности, коми-зыряне и коми-пермяки.

Весьма важным и перспективным представляется используемый И.Л.Жеребцовым комплексный междисциплинарный подход к исследованию историко-демографических проблем, при котором традиционные методы анализа исторических источников органично дополняются методами смежных наук – антропониимики, диалектологии, фольклористики, что позволяет получать дополнительные, весьма значимые в научном отношении результаты.

Помимо историко-демографических проблем Игорь Любомирович внес основополагающий вклад в другие проблемы истории региона. Ученым была прослежена история административно-территориального деления европейского Севера России, предложена новая концепция политической истории Европейского Северо-Востока периода революций и гражданской войны, выявлены основные этапы становления и развития гуманитарной науки в Коми.

Ученым опубликовано в России, Финляндии, Великобритании, Венгрии и Эстонии около 400 научных работ, в том числе 40 монографий, энциклопедических трудов, научно-популярных книг и учебных пособий, более 30 других отдельных изданий, статей в отечественных и зарубежных научных сборниках и журналах.

В 2001 г. И.Л.Жеребцов занял пост заместителя директора Института языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН по науке и с тех пор ведет большую научно-организационную работу. Он является членом Президиума Коми научного центра УрО РАН, организатором ряда международных и всероссийских конференций и симпозиумов, среди которых получившие высокие оценки специалистов I и II Всероссийские конференции по исторической демографии.

И.Л.Жеребцов принимает активное участие в проведении республиканских олимпиад и научно-практических конференций студентов и школьников по истории, участвует в работе Государственной аттестационной комиссии на финно-угорском факультете Сыктывкарского государственного университета. Его труды широко применяются в практике преподавателями вузов и средних учебных заведений.

Игорь Любомирович уделяет большое внимание пропаганде и популяризации научных знаний. Ученый опубликовал большое количество научно-популярных работ, а также более 200 краеведческих статей и заметок в местной печати. Научно-популярные работы И.Л.Жеребцова неизменно вызывают огромный интерес не только отечественных и зарубежных историков, но и широкой общественности, не только благодаря разнообразию содержащегося в них материала, но и, в немалой степени, благодаря таланту популяризатора, умению увлекательно и доступно

рассказывать о самых разных страницах истории нашей республики, коми народа. Он является редактором и составителем ряда научно-популярных книг и альманахов, использующихся в культурно-просветительской деятельности.

Общественная деятельность Игоря Любомировича Жеребцова широко известна. Как член правления Фонда «Покаяние», общественной редколлегии Коми республиканского мартиролога «Покаяние», он играет видную роль в подготовке этого издания, посвященного истории политических репрессий и не имеющего аналогов в России как по широте представленных материалов, так и по глубине их научного анализа.

И.Л.Жеребцов является членом редколлегии журнала «Известия Коми научного центра УрО РАН», членом правления международного общества историков «Финно-угрика» и Российского комитета финно-угорских историков, председателем Ученого совета Национального музея Республики Коми, одним из учредителей и заместителем председателя культурно-просветитель-

ской общественной организации «Сыктывкар», активно ведущей культурно-просветительскую работу среди горожан, Игорь Любомирович является одним из руководителей «Общества изучения Коми края», объединяющего краеведов республики для совместной деятельности по изучению прошлого родного края.

И.Л.Жеребцов не только крупный ученый, активный общественный деятель, но человек бесконечного обаяния, готовый всегда прийти на выручку. Он одинаково добро и уважительно относится и к маститым ученым и к начинающим краоведам любителям, делающим первые шаги на научном поприще. Сотрудники Института языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН и редколлегия журнала «Известия Коми научного центра УрО РАН» от всей души поздравляют Игоря Любомировича Жеребцова с юбилеем и желают счастья и продолжения плодотворной творческой деятельности.

редколлегия



17 ноября 2010 г. на 67-м году жизни скоропостижно скончался заслуженный деятель науки Коми АССР, заслуженный эколог России, директор Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН

АНАТОЛИЙ ИВАНОВИЧ ТАСКАЕВ

В расцвете творческих сил безвременно оборвалась жизнь Анатолия Ивановича – одного из ведущих специалистов в области радиоэкологии, крупного ученого, талантливого организатора комплексных радиоэкологических исследований в зоне аварии на Чернобыльской АЭС и на территории Республики Коми, непревзойденного руководителя крупнейшего академического института биологического профиля на европейском Северо-Востоке.

В Институт биологии Анатолий Иванович пришел в 1968 г. после окончания физического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Здесь, в стенах института, он прошел все ступени профессиональной карьеры: от младшего научного сотрудника до директора института. Уже в первые годы работы в лаборатории радиохимических и радиофизических исследований проявились такие качества личности А.И.Таскаева, как инициативность, надежность, принципиальность, умение тщательно спланировать эксперимент, организовать коллектив на его выполнение. Именно эти качества впоследствии позволили А.И.Таскаеву по поручению Академии наук СССР развернуть широкомасштабные исследования в 30-километровой зоне радиоактивного заражения после страшной аварии на ЧАЭС, которые проводила под его руководством группа сотрудников Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

Многолетнее стационарное изучение влияния радиоактивного загрязнения на флору и фауну позволило дать квалифицированные рекомендации для улучшения радиационной обстановки в зоне аварии на ЧАЭС. Специалисты, работавшие в Чернобыле, проявили настоящий героизм. При сборе необходимого фактического материала им приходилось неоднократно посещать участки, где радиационный фон был существенно повышен, что не могло не сказаться на состоянии здоровья. В этой ситуации Анатолий Иванович как руководитель проявил лучшие человеческие качества. Он часто брал на себя самую трудную и опасную часть работы.

В 1988 г. научный коллектив единогласно избрал А.И.Таскаева директором Института биологии. Все эти годы он успешно совмещал сложные обязанности заведующего отделом радиоэкологии и руководителя Института биологии. Под руководством Анатолия Ивановича в институте активно развернулись работы не только по изучению радиоэкологических ситуаций, но и разработке методологических основ мониторинга и экспертной оценке воздействия техногенных загрязнений на окружающую среду. Проверялись на практике новые методы рекультивации нарушенных территорий, в том числе и загрязненных нефтью. Расширились исследования процессов возобновления лесов в условиях Севера. Началось планомерное изучение биологического разнообразия наземных и водных экосистем с оценкой последствий воздействия человека на фауну и флору. В 1995 г. Институт биологии одним из первых активно включился в разработку мероприятий по ликвидации крупной аварии на нефтепроводе в бассейне р. Колва.

В сложных экономических условиях Анатолий Иванович сумел не только сохранить, но и значительно укрепить научный и технический потенциал Института биологии. За время его работы на посту директора был создан совет по защите докторских диссертаций, открыта докторантура по специальностям «ботаника», «экология» и «почвоведение». По его инициативе основаны лаборатории беспозвоночных животных, биохимии и биотехнологии, биомониторинга (г.Киров), отделы экологии животных, компьютерных систем, технологий и моделирования. Вторую жизнь получили Ляльский лесозоологический стационар, гербарий (SYKO), ботанический сад, коллекционный фонд которого непрерывно пополняется новыми видами, формами и сортами полезных растений. В институте создан Научный музей, в коллекционных фондах которого наряду с типичными представителями фауны республики представлены редкие виды. Непрерывно укреплялась материально-техническая база, необходимая для проведения качественных, квалифицированных аналитических работ. Одним из первых в стране Институт биологии был оснащен новейшей вы-

числительной техникой, созданы локальные электронные сети, постоянно обновлялось и модернизировалось стационарное научное оборудование и полевые передвижные лаборатории.

Под руководством А.И. Таскаева Институт биологии добился серьезных успехов в регионе по развитию международной кооперации и интеграции в международные исследовательские программы и проекты. Отличительной чертой последних лет оказался рост крупных и социально-ориентированных международных проектов Европейской комиссии с участием института. Существенно расширилось сотрудничество института с отечественными и международными научно-исследовательскими учреждениями и ВУЗами. Анатолий Иванович всегда уделял особое внимание сохранению и приумножению научного потенциала, поиску и подготовке будущих ученых. Это и многолетняя поддержка талантливых студентов в форме стипендий Института биологии, привлечение их к участию в полевых экспедициях, организация базовой кафедры экологии и многое другое.

А.И. Таскаев вел большую научно-организационную работу. В 2006 г. он был избран заместителем председателя Коми НЦ УрО РАН по научно-организационным вопросам. Анатолий Иванович являлся членом Научного совета по радиационной биологии РАН, Объединенного ученого совета по биологическим наукам Уральского отделения РАН, Международной академии наук по экологической безопасности, Международного союза радиоэкологов, заместителем главного редактора журнала «Теоретическая и прикладная экология», членом редколлегии журнала «Радиационная биология. Радиоэкология». Входил в состав ряда правительственных комиссий и координационных советов Республики Коми, в том числе Комиссии по естественным и производительным силам Республики Коми, Межведомственного координационного совета по науке при Главе Республики Коми, коллегии министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми.

А.И.Таскаев автор и соавтор 431 научной работы, в том числе 23 монографий и четырех патентов на изобретения. Высокая результативность комплексных научных исследований и личное активное участие А.И.Таскаева в работах по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС отмечены медалью «За трудовую доблесть» (1989 г.), орденом Мужества (1996 г.), премией Правительства Российской Федерации в области науки и техники (1996 г.), Премией им. Н.В. Тимофеева-Ресовского (2007 г.). В 2008 г. ему была присуждена премия Правительства Российской Федерации в области науки и техники, в 2000 г. – Государственная премия Республики Коми в области науки. Он награжден медалью «За охрану природы России» III (2000 г.) и II степени (2004 г.). В 2005 г. ему присвоено Почетное звание «Заслуженный эколог Российской Федерации».

В нашей памяти А.И.Таскаев останется как образец душевной щедрости, таланта, трудолюбия, как общественный деятель и выдающийся ученый, ратовавший за развитие фундаментальной науки и образования. Мы глубоко скорбим об этом замечательном человеке, труженике, гражданине и разделяем горечь невосполнимой утраты со всеми, кто знал Анатолия Ивановича.

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 подписуемые подписи.

Во введении (заголовком не выделяется) в максимально лаконичной форме должны быть изложены цель, существо и новизна рассматриваемой задачи с обязательным кратким анализом данных наиболее важных и близких по смыслу работ других авторов. Однако введение не должно быть обзором литературы. В разделе «Материал и методы» должны быть четко и кратко описаны методы и объекты исследования. Единицы измерения следует приводить в Международной системе СИ. Подробно описываются только оригинальные методы исследования, в других случаях указывают только суть метода и дают обязательно ссылку на источник заимствования, а в случае модификации – указывают, в чем конкретно она заключается.

При первом упоминании терминов, неоднократно используемых в статье (однако не в заголовке статьи и не в аннотации), необходимо давать их полное наименование, и сокращение в скобках, в последующем применяя только сокращение. Сокращение проводить по ключевым буквам слов в русском написании. Все используемые, включая общепринятые, аббревиатуры должны быть расшифрованы при первом упоминании. Все названия видов флоры и фауны при первом упоминании в тексте обязательно даются на латыни с указанием авторов.

В разделе «Результаты и обсуждение» полученные данные приводят либо в табличной форме, либо на рисунках, без дублирования одной формы другой, и краткого описания результатов с обсуждением в сопоставлении с данными литературы.

Таблицы должны быть составлены в соответствии с принятым стандартом, без включения в них легко вычисляемых величин. Все результаты измерений должны быть обработаны и оценены с применением методов вариационной статистики. Таблицы нумеруются по мере упоминания в статье, каждой дается тематический заголовок, и размещаются на отдельной странице. Таблицы призваны иллюстрировать текстовый материал, поэтому описывать их содержание в тексте не следует. Ширина таблицы должна быть либо 90 мм (на одну колонку), либо 185 мм (на две колонки). Текст в таблице

набирается шрифтом Times New Roman, кегль 9-10, через два интервала. Сокращение слов в шапке таблиц не допускается. Пустые графы в таблицах не допускаются. Они должны быть заменены условными знаками, которые объясняются в примечании. Единицы измерения даются через запятую, а не в скобках: масса, г. Если таблица в статье одна, то ее порядковый номер не ставится и слово «Таблица» не пишется.

Рисунки представляются пригодными для непосредственного воспроизведения, пояснения к ним выносятся в подрисуночные подписи (за исключением кратких цифровых или буквенных обозначений), отдельные фрагменты обозначаются арабскими цифрами или буквами русского алфавита, которые расшифровываются в подрисуночных подписях. На рисунках, выполненных на компьютере, линии должны быть яркими (4-5 рix).

Ширина рисунков должна быть либо 90 мм, либо 185 мм, а высота – не более 240 мм. Шрифт буквенных и цифровых обозначений на рисунках – Times New Roman, кегль –9-10. На рисунках следует использовать разные типы штриховок с размером шага, допускающим уменьшение, а не оттенки заливки серого и черного цветов. Каждый рисунок должен быть выполнен на отдельной странице. На обратной стороне рисунка простым карандашом или ручкой указывается фамилия первого автора статьи и номер рисунка.

Карты должны быть выполнены на географической основе ГУГК (контурные или бланковые карты). Транскрипция географических названий должна соответствовать атласу последнего года издания.

Фотографии представляют нескрепленными на белой глянцевой бумаге в двух экземплярах (один из них чистый, без каких-либо надписей) в конверте. Желательно обрезать их до необходимого размера репродукции, чтобы они попадали в размеры страницы. На обратной стороне (на полях) фотографий простым карандашом указываются фамилии первого автора, название статьи, порядковый номер рисунка, его верх или низ. Подрисуночные подписи оформляются на отдельной странице. В подписях к микрофотографиям указываются увеличение объектива и окуляра, метод окраски.

Местоположение каждой таблицы, рисунка, карты, фотографии при первом упоминании их в тексте отмечается на полях рукописи в квадратных рамках простым карандашом.

Математические и химические обозначения и формулы печатаются или вписываются с соблюдением размеров прописных и строчных букв. Во избежание неясности прописные и строчные буквы, имеющие одинаковое начертание (с, k, j, p, u, v, w, x, y, ψ), следует подчеркнуть двумя черточками: прописные – снизу (S), а строчные – сверху (p). Необходимо тщательно вписывать такие буквы, как j («йот») и l («эль»). Греческие буквы обводятся кружком красного цвета. Знак суммы (Σ) красным не обводится. Название неясных букв желательно написать карандашом на полях (например, «эль», «кси», «дзета», «не эль», «и», «йот»).

Математические символы, которые набираются прямым, а не курсивным шрифтом, типа log, lim, max, min, sin, tg, Ri, Im, числа Релея (Re), Россби (Ro), Кибеля (Ki) и другие, а также химические символы, отмечаются снизу квадратной скобкой. Необходимо также дать расшифровку всех используемых в статье параметров, включая подстрочные и надстрочные индексы, а также всех аббревиатур (условные сокращения слов). Следует соблюдать единообразие терминов. Нумерация формул (только тех, на которые есть ссылка в тексте) дается в круглых скобках с правой стороны арабскими цифрами.

В тексте цитированную литературу приводить только цифрами в квадратных скобках. Список литературы должен быть представлен на отдельной странице и составлен в порядке упоминания источников в тексте в соответствии со следующими правилами описания. Журнальные публикации: фамилии и инициалы всех авторов, полное название статьи журнала, название журнала (в соответствии с рекомендованным ВИНТИ списком сокращений), год, том, выпуск (номер), страницы (первая и последняя). Книги: фамилии и инициалы всех авторов, полное название книги, инициалы и фамилии редакторов, город, год, страницы (если ссылка не на всю книгу) или число страниц в книге. Сборники: фамилия и инициалы авторов, полные названия статьи и сборника, первая и последние страницы. Если сборник содержит материалы конференций, необходимо указать их форму (труды, доклады, материалы) и название конференции. Диссертации: фамилия и инициалы автора, полное название диссертации, на соискание какой степени, каких наук, город, институт, в котором выполнена работа, год. Ссылки на авторефераты допускаются в исключительных случаях с указанием фамилии и инициалов автора, полного названия работы, места и года защиты, общего количества страниц. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Список литературы оформляется по нижеприведенным примерам (следует обратить особое внимание на знаки препинания):

1. Иванов И.И. Название статьи // Название журнала. 2005. Т.41. № 4. С. 18-26.
2. Петров П.П. Название книги. М.: Наука, 2007. Общее число страниц в книге (например, 180 с.) или конкретная страница (например, С. 75.).
3. Казаков К.К. Название диссертации: Дис. «...». канд. биол. наук. М.: Название института, 2002. 164 с.
4. Мартынюк З. П. Патент RU № 92963 на полезную модель "Фотограмметрическое средство измерений объемов круглых лесоматериалов при проведении погрузо-разгрузочных работ". Патенто-обладатель(и): Учреждение Российской академии наук Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН.

При наличии четырех авторов в списке литературы указываются все, а более четырех – только первые три, а далее пишется «и др.».

Для статей журналов, имеющих русскую и английскую версию, необходимо давать в списке литературы двойную ссылку (под одним номером), например:

1. *Иванов И.И., Петров П.П.* Название статьи // Название журнала. 2008. Т. 47. № 1. (8-18). *Ivanov I., Petrov P.* Article name // Magazine name. 2008. Т. 47. № 1. (4-15).

При несоблюдении этих перечисленных правил статья не рассматривается редакционной коллегией, а возвращается авторам на доработку.

Все статьи проходят рецензирование и в случае необходимости возвращаются авторам на доработку. Рецензирование статьи закрытое. Возможно повторное и параллельное рецензирование. Редакционная коллегия оставляет за собой право редактирования статьи. Статьи публикуются в порядке очередности, но при этом учитывается их тематика и актуальность. Редакционная коллегия сохраняет первоначальную дату поступления статьи, а, следовательно, и очередность публикации, при условии возвращения ее в редакционную 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 Ладаковой

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.

Научный журнал

ИЗВЕСТИЯ

Коми научного центра
Уральского отделения РАН

Вып.3

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 30.11.2010.
Формат бумаги 60x84¹/₈. Печать офсетная.
Усл.-печ.л. 14,75. Уч.-изд.л. 14,75. Тираж 300. Заказ № 43.

Информационно-издательский отдел
Коми научного центра УрО РАН.
167982, ГСП, г.Сыктывкар, ул.Первомайская, 48.